

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

IV. KÖTET 1. SZÁM

SZERKESZTI
HEVESI GYULA



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BUDAPEST, 1952

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
HEVESI GYULA

IV. KÖTET 1. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG : BUDAPEST, V., GÉZA-UTCA 2.
KIADÓHIVATAL : BUDAPEST, V., ALKOTMÁNY-UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratok a következő címre küldendők :

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest, V., Géza-u. 2.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzőt ötven különlenyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 20 forint, külföldi címre 30 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány-u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 04-878-111-48), külföldi megrendelések a «Kultúra» Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VIII., Rákóczi-út 5. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám : 45-790-057-50-032) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

Acta Technica

című idegennyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol, vagy francia nyelven jelennek meg lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül oroszul. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni :

Acta Technica szerkesztősége, Budapest, V., Géza-utca 2.

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Ajtay Zoltán</i> : Szénenergiagazdálkodásunk kritikai vizsgálata és szénbányászatunk komplex fejlesztésének irányelvei	1
H o z z á s z ó l á s o k : Zsigmond Béla	12
Zágon Pál	16
Müller László	18
Fekete Sándor	21
Spackeler G.	23
Hansági Imre	24
Boldizsár Tibor	25
<i>Krupár Géza</i> : Korszerű biztosítási módok a többtermelés szolgálatában.....	27
H o z z á s z ó l á s o k : Lukács Lajos.....	67
Vargha Béla	69
Stoll Lóránt	73
Hansági Imre	75
Boldizsár Tibor	76
Esztó Péter	77
Dzsida László	77
<i>Péczely Antal</i> : Tömegtermelés és a gépesített széntermelés újabb irányai.....	83
H o z z á s z ó l á s o k : Krupár Géza	94
Husz Nándor.....	98
Székely Lajos	101
Esztó Péter	103
Koschatzky László	104
<i>Spackeler G.</i> : Kőzetnyomás-kutatás	107
<i>Martiny Károly</i> : Liász-szeneink szérelésének legújabb eredményei	121
H o z z á s z ó l á s o k : Tarján Gusztáv.....	147
Szontágh Ferenc	150
Koncz István	152
Martiny Károly válasza	153



SZÉNENERGIAGAZDÁLKODÁSUNK KRITIKAI VIZSGÁLATA ÉS SZÉNBÁNYÁSZATUNK KOMPLEX FEJLESZTÉSÉNEK IRÁNYELVEI

AJTAY ZOLTÁN¹

Hazánk egyik legfontosabb energiahordozója az ásványi szén. Lényeges népgazdasági érdek fűződik tehát ahhoz, hogy az elkövetkezendő tervidőszakban tervgazdálkodásunk érdekeinek szemelőtt tartásával, helyes gazdasági politikai és műszaki megállapítások alapján építsük ki szénenergiagazdálkodásunk valamennyi ágazatát. A népgazdaság e területén kialakítandó elvi megállapítások irányvonalat szabnak szénbányászatunk további fejlesztésének, különös tekintettel a ma ismert szénvagyonunkra, annak földtani, bányaműszaki és minőségi adottságaira.

Bányagazdálkodásunk fejlesztési irányának helyes megválasztása fontos azért is, mert termelésünk fejlesztéséhez szükséges bányatelepítések helyesen kialakított gazdaságpolitikai elvek figyelembevételével igen lényeges gazdasági előnyöket adhatnak.

Az előbb elmondottak tervszerű végrehajtását szocialista iparunk példanélküli felfutása teszi szükségessé. Kritikai vizsgálat tárgyává kell tennünk éppen ezért, az ásványi szeneinkkel történő gazdálkodás kérdését. Hogy e kérdésekben tárgyi megállapításokra juthassunk, okozati összefüggésben kell megvizsgálunk:

1. szénvagyonunk geológiai korok szerinti alakulását a fűtőérték figyelembevételével,

2. széntermelésünk ténytárait, 1938—1951. évek közötti időben, szénfajták szerint csoportosítva,

3. szénbányászatunk elmúlt tervidőszakának beruházási indexszámait súly- és fűtőérték egységre vonatkoztatva, minőségi barnaszeneink termelésének tervezett felfutását 1952—1959. években,

4. ásványi szeneink komplex felhasználásának feladatait, figyelemmel fejlődő nehéziparunk szükségletére és

5. szénenergiagazdálkodásunk eddigi eredményeinek kritikai kiértékelését a termelési adatok, beruházási indexszámok és az ezekből leszűrt következtetések alapján, továbbá a szénenergiagazdálkodásunkban követendő irányelveket és második öt éves tervünk perspektíváját.

¹ Az akadémiai nagygyűlésen elhangzott előadás kivonatos szövege.

Az egész országra kiterjedő legújabb általános szénvagyonebecslést az 1948. december 31-i állapot szerint végeztette el az állami szénbányászat. A becslést a Bánya- és Energiaügyi Minisztérium Földtani főosztálya megbízásából, az egyes bányaterületekre kiküldött geológusok a közelmúltban kiegészítették, figyelemmel az időközben feltárt és kitermelt szénmennyiségekre. Az újabb összeállítás szénvagyonunkban lényeges eltérést nem mutat. A becslési adatokat gondos tanulmányozások alapján az Országos Tervhivatal részéről *Fekete Sándor* és *dr. Bogdán Béla* dolgozták fel. Ez az anyag a legújabb becslési adatokat is tartalmazza. Figyelemmel a korrekcióra, szénvagyonehelyzetünket egyes szénfajták szerint, a súlyszerinti, valamint a fűtőértékszerinti százalékos megoszlás feltüntetésével az alábbi táblázat adja:

A kitermelhető szénvagyone mennyiségi és minőségi százalékos megoszlása

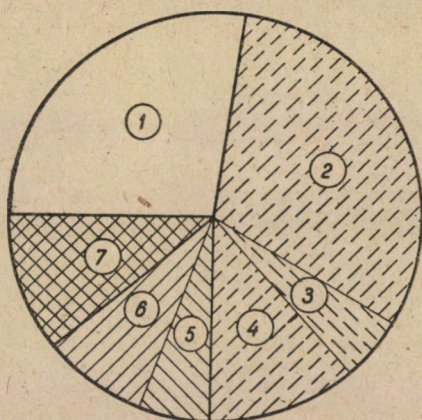
	Súly- %	Átl. fűtőérték kal/kg	Összfűtőérték %-a
1. Lignitek	27,4	1.940	16,0
2. Borsodi szénmedence	36,0	3.320	36,0
3. Salgótarjáni szénmedence	4,1	3.400	4,2
4. Középdunántúli szénmedence	9,5	3.560	10,2
5. Dorogi szénmedence	4,4	4.200	5,5
6. Tatabányai szénmedence	8,1	4.300	10,6
7. Liasz-szenek	10,5	5.500	17,5
Összesen	100,0	3.317	100,0

Összevonva

Lignitek	27,4	1.940	16,0
Barnaszének	49,6	3.380	50,4
Minőségi barnaszének	12,5	4.265	16,1
Liasz-szenek	10,5	5.500	17,5
Összesen	100,0	3.317	100,0

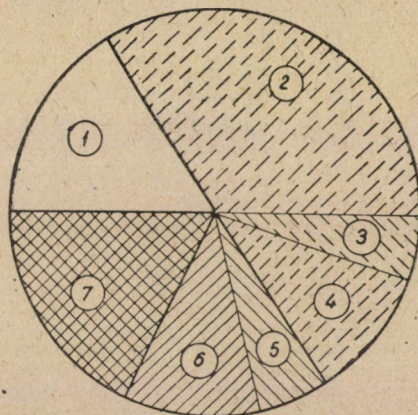
A számadatok szemléltetése céljából az értékeket kördiagrammban is összeállítottam. (1. és 2. számú ábrák).

Szénvagyoneunkkal kapcsolatban megemlítem azt az öröndetes körülményt, hogy az elkövetkezendő időben — főképpen a feketeszen, a minőségi és egyéb barnaszének területén — valószínűleg lényeges szénvagyonenövekedéssel számolhatunk. Csak a Mecsek északi részében, továbbmenően a Dunántúli Középhegységben eddigi kutatásaink alapján mutatkozó reális adatokra utalok. Növekedést várhatunk még a vasmegeyei és zalamegeyei ligniteknel is, habár ezek kalórikus értéke aránylag kis százalékban vesz részt szénvagyoneunk összességében.



1. 27.4% **LIGNITEK**
 2. 35.9% } **BARNA SZENEK**
 3. 4.1% }
 4. 9.5% }
 5. 4.4% } **MINŐSÉGI BARNA-SZÉN**
 6. 8.1% }
 7. 10.6% **LIASZ-SZENEK**

1. ábra



1. 16.0% **LIGNITEK**
 2. 30.0% } **BARNA SZENEK**
 3. 4.2% }
 4. 10.2% }
 5. 5.5% } **MINŐSÉGI BARNA-SZÉN**
 6. 10.6% }
 7. 17.5% **LIASZ-SZENEK**

2. ábra

2. Széntermelésünk alakulása az 1938—39—1946—1951. évek közötti időszakban, szénfajták szerint, azok súly- és fűtőérték százalékának feltűntetésével a következő volt :

Év	Liász-szenek	Minőségi-barnaszenek (dorogi—tatai szénmedence)	Egyéb barnaszenek	Lignitek	Összesen
	súly %	súly %	súly %	súly %	súly %
1938	11,1	39,0	43,8	6,1	100
1939	10,4	39,3	44,8	6,0	100
1946	11,4	36,5	47,3	4,8	100
1947	12,0	36,3	45,2	6,5	100
1948	11,7	37,2	45,0	6,1	100
1949	11,6	36,9	45,2	6,3	100
1950	10,6	35,9	45,8	7,7	100
1951	10,8	33,0	45,9	10,3	100

A minőségi megoszlást vizsgálva — bár az 1940—45. évi részletes adatok nem állnak rendelkezésre — megállapíthatjuk, hogy fekete szeneink és minőségi barnaszeneink százalékos részvétele a te melésben csökkenő irányzatot mutat, egyéb barnaszeneink csaknem állandó értékkel szerepelnek, lignit-szeneink pedig, 1938-al szemben, mintegy 70%-os emelkedést mutatnak.

Széntermelésünknek összfűtőértékre vonatkoztatott, szénfajták szerinti megoszlását, az 1938—39—1946—1951. években a következő táblázat mutatja :

Év	Liasz	Minőségi barna	Egyéb barna	Lignitek	Átl. fűtőérték kal/kg.
	s z e n e k				
1938.....	14,5%	44,7%	38,0%	2,8%	4.272
1939.....	13,7%	45,3%	38,3%	2,7%	4.249
1946.....	16,2%	40,4%	41,0%	2,4%	3.863
1947.....	16,8%	41,3%	38,8%	3,1%	3.960
1948.....	16,5%	42,3%	38,3%	2,9%	3.950
1949.....	16,1%	41,8%	39,1%	3,0%	3.993
1950.....	14,7%	41,3%	40,0%	4,0%	3.897
1951.....	15,3%	38,6%	40,6%	5,5%	3.805

Az egyes évek szénfajták szerinti fűtőérték százalékát vizsgálva, szembe-tűnően jelentkezik a liasz- és a minőségi barnaszének százalékos értékének csökkenő tendenciája, míg az egyéb barnaszének és lignitek fűtőértékszázalékai emelkedést mutatnak. Az átlagos fűtőérték (kal/kg) állandóan csökken. Ez az egyéb barnaszének és lignitszének fokozottabb termelésének következménye.

3. Szénbányászatunkban a héthónapos és a hároméves tervidőszak alatt, valamint az ötéves terv első évében eszközölt beruházások jelentős termelés-emelkedést eredményeztek. A termelés-emelkedést véve alapul, a beruházásoknak a súly- és a fűtőérték egységeire vonatkoztatott értékei a következők :

Fűtőérték	Eredményesség	
	kal/kg	Ft/mill. kal.
1500—2000	392,—	244,—
2000—2500	70,—	33,4
2500—3000	66,4	24,5
3000—3500	76,8	23,4
3500—4000	119,—	32,6
4000—4500	260,—	63,—
4500—5000	92,6	20,2
5000—5500	51,1	10,—
5500—6000	900,—	157,8
	104,2	28,—

A táblázat a fenti időszakban összesen beruházott értékek figyelembe-vételével állapítja meg az egy tonna, illetve egymillió kalóriára eső beruházások értékét. A kimutatásból szembe-tűnően kiválnak a lignitekre, illetve a liasz-szenekre kapott értékek.

A kapacitás fenntartására és növelésére fordított beruházásokat vizsgálva, viszont az egyes kalórialépcsőkben a következő képet kapjuk :

1946—1950. évek

Fűtőérték	Eredményesség		
	kal/kg	Ft/t	Ft/Mill. kal
1500—2000	—	—	—
2000—2500	45,1	21,4	21,4
2500—3000	22,1	8,0	8,0
3000—3500	52,9	16,1	16,1
3500—4000	35,1	9,6	9,6
4000—4500	260,0	63,—	63,—
4500—5000	71,5	15,6	15,6
5000—5500	51,1	10,0	10,0
5500—6000	224,0	39,1	39,1
	54,3	14,2	14,2

A fenti kimutatásból megállapíthatjuk, hogy a kapacitást növelő beruházások értékei a 4000—4500 és 5500—6000 kalóriás szeneinknél alakulnak legkedvezőtlegebbül. A többi kalórialépcsőben, de főképpen a minőségi barnaszén termelő üzemeknél, az értékek alakulása igen kedvező.

A következőkben — bár nem céloz részletesen kitérni egyes szeneink fűtőértékének és összetételének vizsgálatára, valamint az 5000 kal/kg-ra számított költség és ennek megfelelő kg-értékekre, — célszerűnek tartom, hogy hazai szeneink ezen adatairól is szemléltető képet adjak.

Széntípusaink jellemző adatainak átlagértéke = 100%

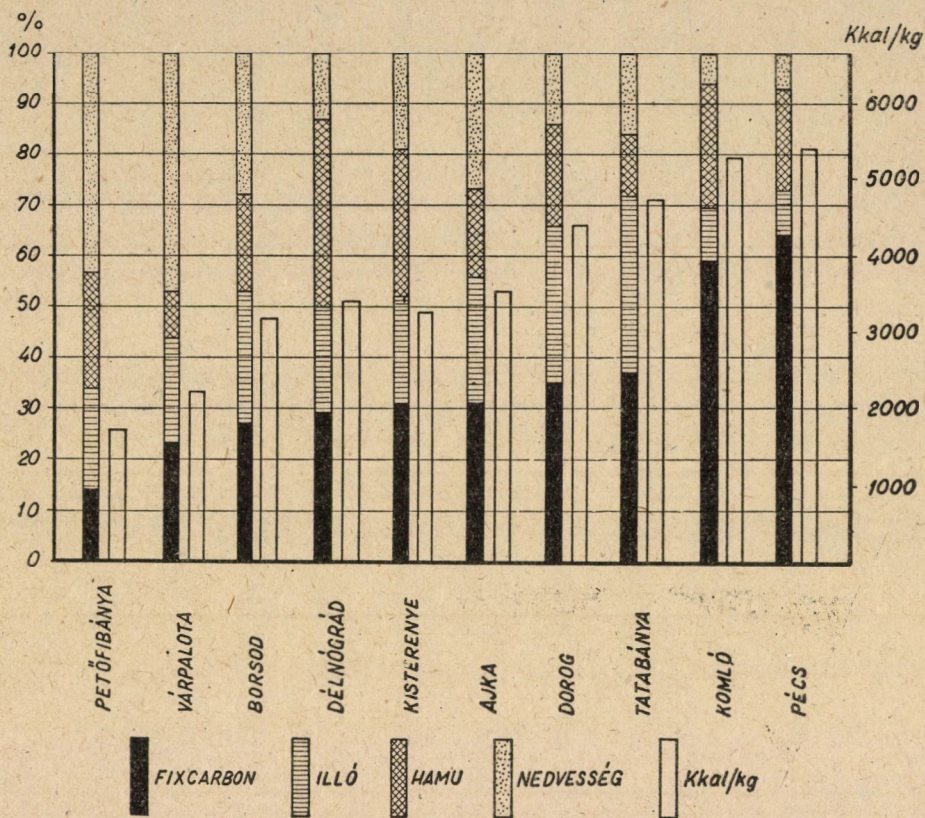
	Fűtőérték	Hamu %	Nedvesség %	Fix carbon %	Illó %	Fix carbon + illó = = éghető. %
1. Petőfibánya ..	1750	23	43	14	20	34
2. Várpalota ...	2200	9	47	23	21	44
3. Borsod	3200	19	28	27	26	53
4. Dél-Nógrád ...	3400	37	13	29	21	50
5. Kisterenye....	3250	29	19	39	22	52
6. Ajka	3550	17	27	31	25	56
7. Dorog	4350	20	14	35	31	66
8. Tatabánya....	4850	12	16	37	35	72
9. Komló	5300	24	6	59	11	70
10. MESZHART ..	5400	20	7	64	9	73

Tényleges szénfogyasztás és szénköltség 5000 kal.-nál

	kg szén/5000 kal.	fill./5000 kal.
1. Petőfibánya	2,86	24,6
2. Várpalota	2,27	12,3
3. Borsod	1,56	14,5
4. Dél-Nógrád	1,47	10,7
5. Kisterenye	1,54	16,9
6. Ajka	1,41	12,1
7. Dorog	1,15	11,3
8. Tatabánya	1,03	8,2
9. Komló	0,94	14,1
10. MESZHART	0,93	12,4

Az előbbi két táblázat anyagát diagrammban is ábrázolom. A 3. sz. diagramm szénmedencénként adja az egy kg szén fixcarbon, illó-, hamu-, nedvesség, szén százalékos tartalmát grafikus feltüntetés mellett. A 4. sz. diagramm szénfajtánként az 5000 kalóriára vonatkoztatott termelési költséget (fill) és az annak megfelelő súlyt mutatja.

Az első grafikon betekintést ad szeneinknek az összes éghetők szempontjából történő vizsgálatára, a második grafikon képet ad arról a súlyértékről,



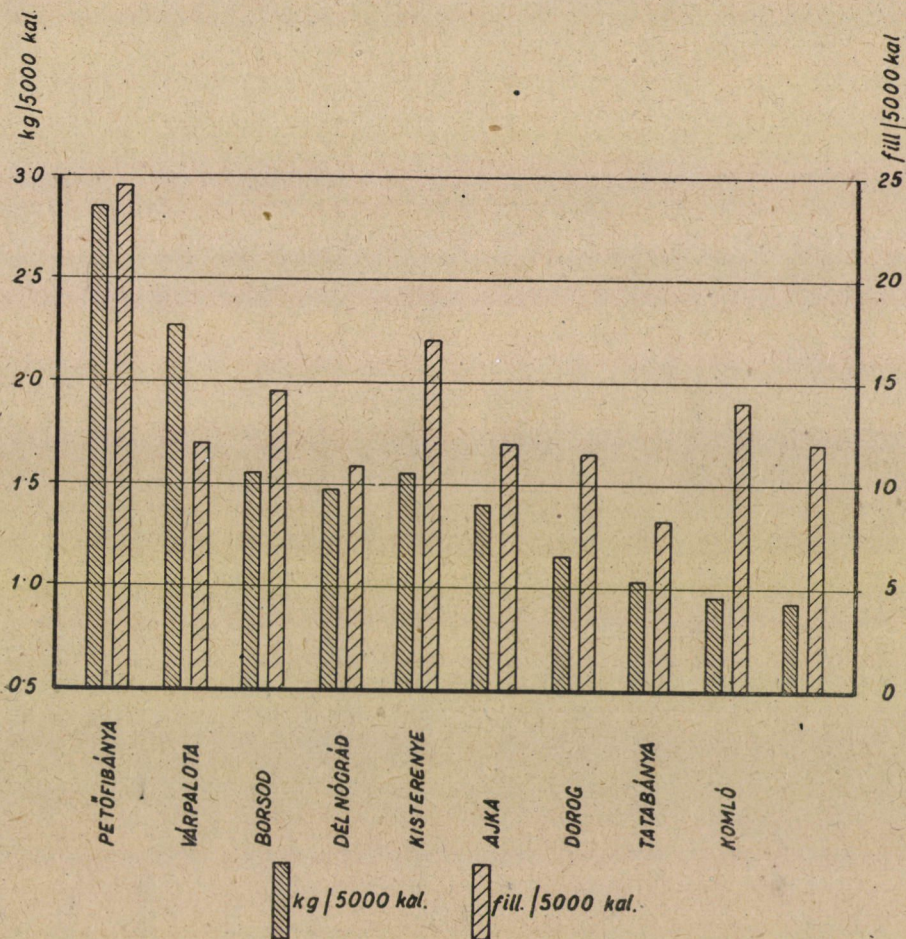
3. ábra

amely 5000 kalória termeléséhez szükséges és ugyanakkor megmutatja a szükséges termelési költséget is. Az elmondottak értelmében népgazdasági szempontból vizsgálat tárgyává kell tennünk beruházásainkat, termelési költségeinket és nem utolsó sorban széntermékeinknek felhasználási kérdését.

4. Első és második öt éves tervünk folyamán szeneink komplex felhasználása mind nagyobb és nagyobb mértékben lép előtérbe. Nehéziparunk legfontosabb alapenergiaforrások: a kohókoksza és generátorgáz, a háztartási koksza, a brikett és a gáz, jelentős mennyiségű barnaszénnek meg bányászatunktól.

Igen fontos érdek fűződik tehát ahhoz, hogy a feketeszénben és a minőségi barnaszénben jelentkező szükségletet nehéziparunk részére maradék nélkül biztosítsuk.

Az igen jelentős mennyiségű komplexszénfelhasználás szükségessé teszi, hogy energiagazdálkodási szempontjaink szem előtt tartásával a kokszzük-



4. ábra

séglet szénanyagát a legracionálisabb technikai eljárások alkalmazásával biztosítsuk. E körülmények megkívánják, hogy szénelőkészítő műveink e fogyasztóterületek részére közel állandó minőséget biztosítsanak. Az előbb említett gazdaságossági elv keresztülvitele energiagazdálkodásunk reális követelményeinek teljesítésével szoros összefüggésben van.

Szeneinknek koks-, illetve gázgyártásra történő felhasználásával kapcsolatosan meg kell említenem a felhasználásra kerülő gázok kéntelenítését, ami a vámkülföldről származó kén igen jelentős mennyiségét pótolhatja. A koksosításnál nyert egyéb termékek felhasználásával kapcsolatos feladatokra nem térek ki.

Teljesen nyitott területként említem meg szeneinknek kevert formában, koksosítással történő felhasználását. Ez irányban, ha eddig történtek is kezdő lépések, az előkészített komlói szénnel, mint legfontosabb koks alapanyagunkkal, nem végezték el azokat a keverési kísérleteket, amelyek gazdaságosabb felhasználását biztosítanák. Itt elsősorban a magas fűtőértékű, kátránydús foinai és az ugyancsak magas fűtőértékű paleocén szenekre gondolok.

Szeneink komplex felhasználásával kapcsolatosan felülvizsgálat alá kell vennünk a fogyasztó üzemek energiagazdálkodásának módját, mert racionalizálással itt is jelentős szénmegtakarítás érhető el.

Hazai viszonylatban még megoldatlan kérdés az elektródagyártás alapanyagának biztosítása amelyre, egyelőre, az olajleparlásnál nyert petrolkokszt szolgáltathat alapanyagot.

A szén komplex felhasználásával továbbiakban fel kell vetnem a műgrafit gyártásának hazai meghonosítását is, melyet ugyancsak komlói kokszból tudnánk biztosítani (Acheson-féle eljárás).

A szénelőgyártás meghonosítása is jelentős szénmennyiséget fog lekötni. A szénelőgyártás felfejlesztése szoros összefüggésben van szeneink komplex feldolgozásával.

5. Szénbányászatunk fejlődését vizsgálva, tárgyilagos kritikával megállapíthatjuk, hogy az eltelt tervidőszak alatt nem tudta követni iparunk növekvő szénigényét. Az 1951. évi tervet mennyiségi értékben csak 95,3%-ra teljesítette szénbányászatunk. Ez gyakorlatilag azt jelenti, hogy súlymérlegünkben 4,7%-kal, kalóriamérlegünkben pedig 5,2%-kal maradtunk le. *A folyó évi szénhelyzet népgazdaságunk felső vezetőségét a kérdés tárgyi megvizsgálására indította. Az eddigi megállapítások szükségessé tették, hogy szénigazdálkodásunk további irányvonalát szorosabb kapcsolatba hozzuk elsősorban a szénvagyonunk adta lehetőségekkel, ezenfelül pedig energiagazdálkodásunk gazdaságossági mutatószámaival.* (Beruházási indexszámok, önköltségalakulás.)

A következő tervidőszakra iránytadó elvi megállapítások lerögzítéséhez az előzőekben elmondottak tárgybeli adatokat szolgáltatnak. Szénigazdálkodásunk eddigi eredményeinek kiértékelését és a szénbányászatunkban követendő irányelveket az alábbiakban ismertetem.

A minőségi barnaszeneink fokozottabb igénybevételére vonatkozó első javaslatot 1949. márciusában, majd hasonló tárgyú javaslatát a Bánya- és Energiaügyi Minisztérium Szénbányászati főosztálya 1951. január 16-án készítette el az Országos Tervhivatal, illetve a Magyar Tudományos Akadémia Bányászati Bizottsága részére.

A főosztály f. évi április 5-én azonos szellemben készítette el »A magyar szénbányászat I. és II. ötéves tervidőszaka« tervfeladatairól szóló részletes tanulmányát, mely aknaüzemekig felbontva tartalmazza bányászatunk termelési tervelőirányzatait.

Az Országos Tervhivatal részéről *Fekete Sándor* és *dr. Bogdán Béla* elvtársak részletes, igen gondos feldolgozásában elkészítették a szénbányászat fejlesztéséről szóló tanulmányukat, mely részletes dokumentáció alapján kimerítően tárgyalja a szénvagyon, a széntermelés, a teljesítmény, az önköltség, a beruházás és a szénbányászat fejlesztésének kérdéseit.

A javaslatok és tanulmányok alapján felsorolom azokat a gazdaságpolitikai irányelveket, amelyek figyelembevételével — véleményem szerint — fejlődő nehéziparunk alapanyagát, a szenet, lehető legjobb minőségben és leggazdaságosabban, zavartalanul tudjuk biztosítani.

Szénbányászatunk vezetőségénél és ennek folytán a Párt- és kormányzati felső vezetőinknél is hosszú időn át a gyenge minőségű (lignit) szenek fokozottabb igénybevételén volt az irányelv a jóminőségű szénvagyonunkkal való takarékoskodás céljából. *E kérdés tárgyilagos vizsgálata világos képet adott arról, hogy jóminőségű barnaszeneink, továbbmenően pedig egyéb barnaszeneink fokozottabb igénybevétele nem veszélyezteti szénvagyonunk távolabbi célkitűzéseit s így népgazdaságunk első tervperiódusában meg kell valósítanunk a jobb minőségű szenek fokozottabb kitermelését.*

Az 1. és 2. számú diagrammok %-osan megmutatták a ma ismert leművelhető szénvagyonunk mennyiségi és minőségi megoszlását. Ha figyelembe vesszük az első és második ötéves terv termelési mennyiségeit, illetve e tervidőszak alatt kitermelésre kerülő minőségi barnaszénmennyiségeket, megállapíthatjuk, hogy az elkövetkezendő évtizedben minőségi barnaszeneink összfitűőértékének mennyisége, mely ma 16,1%, a lényegesen magasabb mennyiségi igénybevétel ellenére, alig 0,4%-kal fog csökkenni, egyéb szeneinkhez viszonyítva. Az egyéb szénfajtákra vonatkozóan nem szükséges számszerűleg is indokolnom a szénbányászatunk felfutása során kialakuló értékeket, mivel az előbb említett szénvagyonkimutatás azokra pontos képet ad.

Jóminőségű barnaszeneink fokozottabb kitermelését indokolja a beruházási értékek egy tonnára vonatkoztatott lényegesen kedvezőbb alakulása, amely kifejezésre jut az egymillió kalóriára vonatkoztatott értékeknél is. Ezt a megállapítást tehetjük a kapacitást növelő beruházásoknál elért eredményességre is. Az önköltségi tényezők vizsgálatánál ugyancsak lényegesen kedvezőbb értékeket kapunk, mind az 5000 kalóriás mennyiségre, mind az ennek megfelelő költségre. Ez jól látható a következő összehasonlításból.

Mátrai lignitnél.....	2,86 kg szén/5000 kal. mennyiségnél	24,6 fill. költséggel,
várpalotai lignitnél.....	2,27 kg szén/5000 kal. mennyiségnél	12,3 fill. költséggel,
dorogi minőségi barnaszénnél.....	1,15 kg szén/5000 kal. mennyiségnél	11,3 fill. költséggel,
tatai minőségi barnaszénnél.....	1,03 kg szén/5000 kal. mennyiségnél	8,2 fill. költséggel

kell számolnunk. Várpalota kedvezőnek látszó költségadatai a lignittelép felső-

padjának kedvezőbb művelési viszonyainak tulajdonítható. (A nehezebben fejthető alsó szénpadot egyelőre benthagyják.)

Az elmondottak igazolják megállapításaim helyességét. A jóminőségű s általában a barnaszéneknek fokozottabb felhasználása az ipari teljesítmények beruházásánál is igen lényeges költségmegtakarítást jelent. De az üzemvitelnél is állandó és lényeges költségmegtakarítás mutatkozik a lignitekkel szemben.

A következőkben tájékoztatást adok a telepítéseinknél követendő eljárásokról. Szénbányászatunknak jelenleg 93 termelő üze­me van, melyek kapacitás szerinti megoszlása a következő:

	1950	1951
0–10 vagon/nap.....	2	3
10–25 vagon/nap.....	27	12
25–50 vagon/nap.....	31	28
50–75 vagon/nap.....	17	16
75–100 vagon/vap.....	9	14
100– vagon/nap.....	7	20
	93	93

Ha a fenti számadatokat vizsgáljuk, láthatjuk az egyéves fejlődés irányát, mely kisüzemeinknek lehető megszüntetésével, esetleg felfejlesztésével, a közép- és nagyüzemek fokozott kifejlesztését célozza. Feladatunk tehát az, hogy a kis üzemegységeket legalább középüzemi szintre fejlesszük, a középüzemeket pedig nagyüzemi szintre. Ez lehetővé teszi a koncentrációt, amely végeredményben a nagyüzemi termelés megvalósításához vezet. (Széles homlokú, vagy csoportos pillérfejtés, gépi jóvesztés, gépi szállítás, elővájások, feltárások gépesítése stb.)

Szénbányászatunk feladata továbbmenően, a már eddig alkalmazott tervdokumentáción kívül, a Szovjetunió szénbányászatában kidolgozott tervkészítés módozatainak meghonosítása, mely magában foglalja nemcsak az új, hanem a meglévő bányáüzemek tervanyagát, beruházási, műszaki fejlesztési és létszámtervét is.

Előadásom anyagában igyekeztem képet adni szénbányászatunk termelési irányelveinek főbb célkitűzéseiről, kiemelve a minőségi barnaszének felhasználásának fontosságát. A szénbányászatunkra háruló feladat igen nagy. Szénbányászatunkban a létszám csökkenő tendenciát mutat, a cél tehát élesen rajzolódik ki előttünk, amikor a termelékenység növelését, a munkaszervezést, (ciklusos munkaszervezési mód stb.) a gépesítés fokozásával szándékozzuk megvalósítani. *Gazdasági vezetőink előtt tehát nem lehet közömbös az, hogy mily üzemi feltételek mellett, mennyi beruházással, hogyan alakul szénbányászatunk termelékenysége. Szocialista bányászatunk kiépítésénél, éppen a kezdeti időben, döntő súllyal érvényesül legfontosabb alapanyagunk termelésénél, a szénnél, termelésünk alakulása, de nem utolsósorban a minőség kérdése is.*

Szénbányászatunk vázolt helyzete tette szükségessé, hogy szénbányászatunk mennyiségi és fűtőértékmérlegében a következő tervidőszakban mutatkozó hiányt — mely új, reprezentatív üzemek bekapcsolásának eltolódásából ered — olyképpen hidaljuk át, hogy — a kapacitásnövelő műszaki intézkedésektől függetlenül — rövid élettartamú (három-hat esztendő), nagykapacitású, kismélységben dolgozó üzemeket létesítsünk. Ezzel lehetővé válik elsősorban a termelésben mutatkozó feszültségek levezetése és a további felfejlesztéssel kapcsolatos munkálatok zavartalan biztosítása. (Kutatási és telepítési munkálatok végzése.)

Előadásomban okozati összefüggések alapján tájékoztató képet igyekeztem adni szénbányászatunk helyzetéről és a fejlődés irányáról, melyet népgazdaságunk az ipar legfontosabb területén, a szénbányászatban megkíván.

A Párt, a Magyar Népköztársaság kormánya azt várja a szénbányászat vezetőitől, hogy olyan tervet készítsenek, amely figyelembe veszi fejlődő népgazdaságunk növekedésével járó nehézségeket, figyelembe veszi a mai feszült nemzetközi helyzetet és amely a lehetőségek figyelembe vételével, viszonylag legkisebb megterhelés mellett, maximális értékeket biztosít.

Úgy érzem, hogy az előadásomban vázolt irány figyelembe veszi azt az állapotot, amelyben népgazdaságunk van, de figyelembe veszi az elkövetkezendő két—három ötéves tervet is, tehát végső sorban azt az időszakot, ameddig népgazdaságunk erős, szocialista országgá válik. De figyelembe veszi a mai feszült nemzetközi helyzetet is, amit a mi országunk sem figyelhet közömbösen, hanem a lehető legnagyobb erőket koncentrálna állandó erősödésünkre. Azok a számok, amelyekkel célkitűzéseink és tervünk realitását bizonyítani igyekeztem, azt jelentik, hogy az elkövetkezendő 15—20 esztendőben hatalmas anyagi erők fognak felszabadulni a szénbányászat szakterületeiről népgazdaságunk egyéb iparágai számára, szemben az eddig követett széngazdaságpolitikai irányzattal, amely a fenti tényezőket nem vette figyelembe.

Befejezésül azt szeretném mondani, hogy ezzel a tervvel, ezekkel az elgondolásokkal a szénbányászat vezetői újabb csapást mértek az imperialista háborús uszítókra és még élesebben beállottak a béketábor harcosai közé.

HOZZÁSZÓLÁSOK

AJTAY ZOLTÁN: »Szénenergiagazdálkodásunk kritikai vizsgálata és szénbányászatunk komplex fejlesztésének irányelvei« című előadásához.

ZSIGMOND BÉLA hozzászólása.

Az elhangzott előadáshoz az alábbi három problémakörben kívánok hozzászólni. Az első kérdés a szénvagyon mennyiségi és minőségi megállapítása, a második a termelés problémája, a harmadik pedig az első kettő függvényében a szénminőség kérdése.

Ha vizsgálat tárgyává tesszük az eddigi perspektivikus energiagazdálkodási terveket, úgy látjuk, hogy a szénkérdés energiagazdálkodásunkban egyre döntőbb jelentőségűvé válik. Hazánk energiahordozókban viszonylag szegény ország. Sem olaj-, sem tőzeg-, sem földgázvagyonunk nem olyan mennyiségű, hogy arra jelentős energiaipart telepíthetnénk. Vízierőink, még teljes felhasználás esetén is, csak csekély hányadát fedeznék az ország energiaszükségletének. A szélerő kérdés országos viszonylatban számba sem jöhet. Új erdőgazdálkodási politikánk, valamint az erőkitermelésnél az egyre fokozottabb mértékben való szerfakihozatal, tűzifatermelésünket állandóan visszaszorítja, úgyhogy a tűzfának, mint energiahordozónak a jelentősége és mennyisége évről-évre csökken, annak ellenére, hogy abszolút mennyiségben emelkedik.

A szén fontossága tehát, az erőteljes iparosítási politika mellett, állandóan nő. Ennek az úgyszólván egyedüli energiabázisnak a kiépítése tehát döntő jelentőségű az energiagazdálkodás szempontjából. Mondhatjuk, hogy hazánk egyedüli energiabázisa tehát a szén. Ezt különben az alábbi számszerű adatok is bizonyítják.

1950-ben, energiamérlegünkben a szén az összenergiatermelés 86,5%-a volt. 1954-ben ez az arányszám 90%-ra emelkedik föl és azt a II. ötéves terv végére is megtartja. 1959. évben ez az arány azonban csak akkor marad így meg, ha az ásványolaj és termékei szükségletünket teljes mértékben fedezni tudják. Ezt viszont az olajbányászat csak új lelőhelyek feltárással tudja teljesíteni. Ellenkező esetben olajtermelésünk a szükségleteket csak 35—40%-ban fogja kielégíteni és a hiányzó olajmennyiséget vagy a szén hidrogénezése útján, vagy import útján kell biztosítani. Ez utóbbi lehetőség valószínűsége igen korlátolt, tehát rá kell térnünk a szénből való olaj- és benzinyártásra. Ebben az esetben a szén részesedése még nagyobb lesz az energiamérlegben, ami egyben azt is jelenti, hogy még több szenet kell termelnünk.

E tények előrebocsátása után vizsgáljuk meg tárgyilagosan, melyek azok a kérdések, amelyeket az energiagazdálkodásnak meg kell oldania. hogy saját perspektivikus tervét elkészítse, másrészt közölhesse a bányászat felé minőségi és mennyiségi kívánalmait.

Hazai szénvagyonunk kérdéseit vizsgálva, a következőket kell megállapítanunk. A szénbányászat részéről állandóan változó és egymástól eltérő adatokat kapunk hazai szénvagyonunkra vonatkozóan. Egy évvel ezelőtt a lignitvagyon még 38%-os részesedéssel szerepelt a hazai szénmennyiségi kimutatásokban. A legutóbb *Bogdán* és *Fekete* kartársak által készített tanulmány ettől eltérő adatokat állapított meg nemcsak a lignitvagyonra, hanem az egyéb szénvagyonra vonatkozóan is. *Ajtay* kartárs az elhangzott előadásában ismét újabb szénvagyonadatokat közölt, sőt bejelentette azt is, hogy a feketeszén és minő-

ségi barnaszén vonalán hamarosan változások várhatók, mégpedig úgy, hogy e szénvagyonunk mennyiségileg növekedni fog.

Miután energetikai berendezéseink, amelyeket most állítanak fel, vagy vesznek tervezés alá, 30—40 éves üzemidőre épülnek, feltétlenül tudnunk kell, hogy a berendezéseket milyen szénminőségre tervezzük és építsük. A tervezés, az építési anyagmennyiség, az anyagminőség és a beruházási költség szempontjából az sem közömbös, hogy lignitre, vagy minőségi barnaszénre kell-e a berendezéseket tervezni, illetve létesíteni. Teljesen más feltételeket kell kielégíteni akkor, ha biztosítani tudjuk a berendezés üzemeltetésének teljes időtartamára az állandó és egyenletes minőségi szén, vagy évről-évre változó szénminőséggel kell számolni. Nem is szólva arról, hogy egy bizonyos határértéken túlmenően, a berendezést más szénfajttával üzemeltetni nem is lehet.

Jól tudjuk, hogy hazánk szénvagyona nem egyenletes minőségű szénből tevődik össze. Sőt még egy-egy szénmedencén belül, de még egy-egy települési helyen belül is, állandóan változó minőségű szénfajtákkal kell számolnunk. Azt is jól tudjuk, hogy a bányászat, mint őstermelői iparág, csak azt tudja kitermelni, ami a föld mélyében van. Ez azt jelenti, hogy termelési vonalon mindenkor változó minőségekkel kell számolnunk. Az energiagazdálkodás célja azonban éppen az, hogy egyenletes minőséget biztosítson az energetikai berendezések számára. Ezt a kérdést azonban csak a későbbiek folyamán fogom részletezni. Most ezzel kapcsolatban csak arra kívánok rámutatni, hogy a perspektivikus tervek elkészítéséhez biztos bázisra van szükség. Népgazdaságunk számára nem közömbös, hogy mikor és milyen összegeket ad ki, valamint az sem, hogy hányszor kell a tervet átdolgozni, vagy esetleg hatalmas energetikai berendezéseket átépíteni. Az első és legfontosabb feladat tehát az, hogy a bányászat tisztázza a szénvagyon mennyiségi és minőségi kérdését úgy, hogy a mostani, valamint az elkövetkezendő öt éves tervekben megépülő energetikai berendezések (kazánok, kemencék, gázfejlesztő berendezések, kokszolók stb.) számára biztos adatok álljanak rendelkezésre, mind a tervezés, mind pedig a kivitelezés vonalán.

A szénvagyon pontos ismeretében megvan a lehetőség arra is, hogy a szénfajták kitermelési sorrendjét megállapítsuk és irányt szabjunk a bányászati terveknek. Jelenleg, amikor a népgazdaság erőteljes erőfeszítéseket tesz arra, hogy a legszigorúbb takarékosági elv szemelött tartásával gazdálkodjon a nép vagyonával és csak azokat a beruházásokat eszközölje, amelyek szükségesek a perspektivikus fejlesztési terv szempontjából, lényeges és döntő kérdés, hogy egy felesleges fillért se ruházzunk be, ha erre perspektivikusan szükség nincsen. Vonatkozik ez természetesen nemcsak az energetikai, de a bányászati beruházásokra is. Ez annál inkább is fontos, mert sem a bányászati, sem az energetikai berendezések beruházási problémáit önmagukban helyesen felmérni nem lehet. A két kérdés szorosan összefügg egymással és csak a két szektor beruházásainak komplex vizsgálata adhatja meg a helyes képet.

A kérdéseket mindenkor csak az egész népgazdaság, mint egység szempontjából lehet helyes módon eldönteni. Ehhez viszont teljes mértékben szükség van arra, hogy szénvagyonunkat pontosan felmérjük. A szénvagyon felmérése döntő módon befolyásolja energiagazdálkodásunk perspektivikus terveit és az energetikai, valamint a bányászati berendezések beruházásait.

A másik kérdés, amire rá kell mutatnom, a szénminőség kérdése. Ez szorosan összefügg az előadásban említett azon problémával, hogy az energiagazdálkodás helyes megszervezésével és a fogyasztás racionalizálásával jelentős szén megtakarítás érhető el. A megállapítás helyes és igaz. Meg kell azonban néznünk

azokat az előfeltételeket, amelyek mellett az energiagazdálkodás ezeket a feladatokat teljesíteni tudja.

Az első ilyen előfeltétel az energiagazdálkodási szervezet megfelelő kiépítése. Bár a Minisztertanács vonatkozó határozata a szervezetet létrehozta, az ma még nem került teljes egészében felállításra. Ez tehát az egyik hiányosság.

A másik hiányosság az, hogy az energetikai berendezések megtervezése a legutóbbi időkig olyan különféle intézmények kezében volt, amelyek egymás között, de különösen a bányászattal, a felmerült kérdéseket nem tárgyalták meg, így tehát koordinátlanságok fordultak elő.

A harmadik nehézség abban áll, hogy berendezéseink nagyrésztben elavultak, műszerrel felszerelve nincsenek és ami a legsúlyosabb, nem a mostani szénfajtákra épültek.

Végül, de nem utolsósorban, zavarja a racionalizálást, mégpedig az olyan racionalizálást, amely beruházás nélkül csupán rendszabályokkal megoldható lenne, az, hogy az üzemek sem a kellő mennyiségű, sem a kellő minőségű szénfajtát nem kapják meg. A kisteljesítményű, szétszórt bányauzemek, különösen, ha tervüket nem teljesítik, vagy hónapról-hónapra változó módon teljesítik, csaknem lehetlenné teszik a racionális széngazdálkodást és ezen keresztül a racionális energiagazdálkodást. Azokon a hibákon, amiket először soroltam fel, az energiagazdálkodás állandóan javít, viszont a szénminőség és a szénmennyiség kérdésén egyedül csak a bányászat tud segíteni.

Ha megvizsgáljuk hazai szénfajtáink fűtőértékváltozását, a következőket kell megállapítanunk: szénfajtáink fűtőértéke hónapról-hónapra erősen változik. A változás olyan erőteljes, hogy egyik hónapról a másikra nem ritka az 1000 kcal. fűtőértékugrás sem. Az általam felvett fűtőérték-diagrammok, amelyek a Bányászati Főosztály MEO-csoportja által hivatalosan közreadott havi fűtőértékadatokat tüntetik fel, világosan mutatják, hogy szénfajtáink fűtőértékváltozása igen erős ingadozásokat mutat. Ez megengedhetetlen állapot, mert helyesen és jól tüzelni csak akkor lehet, ha egyenletes minőségű tüzelőanyagot kap a berendezés.

A másik kérdés: a mennyiség kérdése. A bányászat tervnemtjesítése ugyancsak súlyos zavarokat okoz az energiagazdálkodásban. A széngazdálkodás nem tud tervszerű elosztást végezni, a hónapközi törlések és változtatások lehetlenné teszik a tervszerű szétosztást és ami a legfontosabb, a rajonszerinti elosztást. Így egy-egy berendezés nemcsak hónapról-hónapra, hanem sokszor hétről-hétre, vagy napról-napra változó minőségű szenet kap, sőt igen gyakran egészen más medencéből származó szénfajtát. Minden szénfajtánál ki kell kísérletezni azokat a tüzelési, vagy egyéb felhasználási módokat, amelyek mellett legjobb hatásfokkal használhatók fel. Egy-egy új szénfajtával való kísérletezés néha egy hónapig is eltart. Állandóan változó minőség kiutalása viszont lehetlenné teszi egy-egy szénfajta felhasználási módjának helyes kidolgozását és így állandóan csökkenő hatásfokkal használják fel a szenet. Ezeknek következménye, hogy az üzemek egyre nagyobb és nagyobb szénmennyiséget igényelnek. Teljesen helytelen helyzet alakul így ki.

Tudomásunk van arról, hogy a bányászat a jövőben olyan telepeket is le fog fejteni, amelyek még az eddigienél is gyengébb és változóbb minőségűek. Fel kell tehát hívnom a figyelmet arra, hogy az ország energiaszükségletét a bányászat csak úgy fogja tudni kielégíteni, ha minőségi szenet tud az ipar rendelkezésére bocsátani.

Ehhez pedig az szükséges, hogy a bányászat a nagyobb kapacitású bányák fejlesztését irányozza elő és már előre gondoskodjék a helyes szénelőkészítési eljárásokról az egységes szénminőség biztosítása érdekében. Minden % meddő feleslegesen terheli energiamérlegünket és a felhasználás vonalán sokszoros káros hatással jelentkezik. A felhasználás vonalán ugyanis a meddő fuvarozása főlegesen tüzelőanyag és költség-többlettel jár, a kazánházban és az egyéb berendezésekben pedig súlyos hatásfokleromlást eredményez. A népgazdaságnak tehát sokkal többbe kerül, mintha a bányászat fejlesztésével kapcsolatosan megfelelő szénelőkészítésről gondoskodna.

Hazai szénfajtáink nagy nedvességtartalma, porlékonyága, mállékony-sága, valamint magas hamutartalma feltétlenül indokolttá teszi a legmodernebb szénelőkészítési és szénművelési eljárások bevezetését. A Szovjetunióban pl. céltudatos munkával odáig fejlesztették a szénművelési eljárásokat, hogy az ipar, különösen gyengébb minőségű barnaszéneket csak nemesített formában kap felhasználásra. A jó osztályozás, a mosás, a szérelés, a kötőanyag nélküli brikettezés mind olyan problémák, amelyeket a bányászatnak a népgazdaság, de saját érdekében is a legsürgősebben meg kell oldania. Hogy mit jelent a gyakorlatban a változó szénminőségek kiutalása, azt a tüzeléstechnikai brigádok legújabb vizsgálatai bizonyították be. Vannak üzemek, amelyeknél tavasszal, amikor még viszonylag jobb ellátás volt és a szenet rendszeresen egy helyről kapták, 8—10—12%-os széndioxidtartalmú volt a füstgáz, ugyanakkor salakéghető 4—6—8% volt. Ezzel szemben az őszi felülvizsgálatoknál ugyanezek a helyeken a széndioxidtartalom a füstgázokban 2—3%-ra csökkent, a salakéghető pedig 20—24%-ra emelkedett. Hogy a szénfogyasztás szempontjából ez mit jelent, azt, úgy hiszem, nem kell bővebben magyaráznom.

Ezek után még csak egy kérdésre kell rámutatnom. A szénbányászatnak meg kell tanulnia kalóriában gondolkodni és kalóriában tervezni.

Ha széntermelésünk 10 év alatti felfutását egy diagrammban rajzoljuk föl és ugyanakkor az átlagfűtőértékek alapján elkészítjük a kalóriatermelés felfutási diagramját is, azt látjuk, hogy az utóbbi állandóan alatta marad a mennyiségi emelkedéseknek, sőt évről-évre jobban eltávolodik attól. A kalória olló a két ötéves terv folyamán egyre jobban szétnyílik. Pedig arra kell törekednünk, hogy a minőségi termelés lépést tartson a mennyiségi termeléssel.

Az iparnak nem tonnára, hanem kalóriára van szüksége. De az sem mindegy, hogy a kalóriát milyen formában kapja. Matematikailag 2 kg 2500 kalória fűtőértékű szén azonos, 1 kg 5000 kalóriás szénrel, azonban tüzeléstechnikailag nem. Az ipari szükségletek felmérésénél az energiagazdálkodás részletesen fel fogja mérni 10 éves perspektívában a mennyiségi és minőségi igényeket és a bányászatnak, ehhez kell alkalmazkodnia. Az energetikai berendezésekben jelenleg még vannak tartalékok és ez a kérdés egy pár hónapig talán még elodázható. De már a tartalékok végére értünk és néhány hónap múlva nem lesz lehetőségünk tartalékok bevetésére a mennyiségi és minőségi hiányok kiküszöbölése céljából.

A bányászatnak úgy kell termelését megszerveznie, hogy a medencéken belül vállalatokra, vállalatokon belül üzemszerekre kell minőségi előírásokat adnia, amely minőségi előírások kötelező erejűek legyenek. A minőségi ellenőrzés feladata, hogy a bányák termelését a fokozott minőség felé vigye és ne engedjen kimenni egyetlen olyan vagon szenet sem, amely nem felel meg az előírásoknak.

Szakítani kell azzal a politikával, hogy a fogyasztók, a termelés érdekében türelmesek és mindent átvesznek. Ezzel a bányászat csak önmagát csapja be és ugyanakkor a népgazdaságot megkárosítja. Véleményem szerint a minőség-ellenőrzés kérdését függetleníteni kell a bányászattól, hogy kellő súllyal léphessen fel a bányászattal szemben.

Még röviden reflektálni kívánok a szenek komplex felhasználásának problémájára. Nálunk ez a kérdés még teljesen új, azonban már foglalkozunk vele. Messzire vezetne az, ha felsorolnám azokat a energokémiai, energotechnikai, energometallurgiai komplexeljárásokat, amelyeket a Szovjetunió kifejlesztett. Ezek az eljárások lehetővé teszik, hogy a szénben lévő energiát 90, sőt 95%-ban használjuk ki.

Nálunk is felismerték azonban egy páran a probléma fontosságát. Most tettünk javaslatot arra, hogy a megfelelő Kutató Intézetek e témakörrel foglalkozzanak és ültessék át ez eljárásokat a hazai viszonyokra. Ez valóban olyan kérdés, amely a bányászatnak a mennyiségi és minőségi kérdésekben egyaránt segíteni tud, de csak abban az esetben, ha a bányászat a fentebb elmondottakat teljesíti.

Hozzászólásom célja az volt, hogy a bányászatot tájékoztassam az energiagazdálkodás legégetőbb, legsürgősebben megoldandó problémáiról. Biztos vagyok benne, hogy a kérdések őszinte feltárása elő fogja segíteni az energiagazdálkodás és a bányászat együttműködését és megteremtjük azokat a feltételeket, amelyek öt éves tervünk és a szocializmus építésének megvalósításához szükségesek.

ZÁGON PÁL hozzászólása.

Szénenergiagazdálkodásunk egyik alapvető követelménye, hogy a bányászat a különböző tüzelőberendezésekben jó hatásfokkal eltüzelhető szenet bocsásson a fogyasztó rendelkezésére. E téren jelenleg komoly nehézségekkel küzdünk, mert a rendelkezésünkre álló szenek minősége nem mindenben felel meg adott tüzelőberendezéseink kívánalmainak. Mint az elhangzott előadásból kitűnik, az elkövetkező években, minőségi szeneink mennyiségének jelentős emelkedése ellenére, az országos fűtőérték-átlag emelkedésére nem számíthatunk. A globális széntermeléshez képest ugyanis minőségi szeneink mennyisége viszonylag csökkenni fog.

Rohamosan fejlődő iparunk gőzszükséglete azonban egyre nagyobb mértékben emelkedik s a fokozódó mennyiségű gőzt az elkövetkező néhány évben legnagyobb részét *meglévő* kazánjainkban kell előállítanunk. Ezeknek a kazánoknak túlnyomórésze a jelenleg rendelkezésünkre bocsátott szeneknél jobb minőségű szenek felhasználására épült. Tehát rostélyfelületük a fűtőfelülethez képest viszonylag kicsiny. E viszonylag kis rostélyfelületet — különösen gyengébb minőségű szenek felhasználása esetén — erősen meg kell terhelnünk, hogy a kazánok megfelelő gőzteljesítményét biztosítsuk. Ipartelepeink legtöbb kazánjának a rostélyja azonban máris túlterhelt, ami nemcsak a kazánok hatásfokának a visszaesését vonja maga után, de — s ez a nagyobb baj — a kazánok *teljesítményének* további fokozását gátolja. A túlterhelés fokozatosan oly méren tűvé válik, hogy kazánjaink rostélyfelületét iparunk további fejlődésében egyik legszűkebb keresztmetszetnek kell tekintnünk. Ez a tény parancsolóan írja elő oly lehetőségek megteremtését, amelyek révén a kazánhatárfok és a rostélyterhelés egyidejű emelése válik lehetővé.

Egyik ilyen lehetőség a rostélyra vitt szenek portartalmának bizonyos határok közötti korlátozása.

Az ötéves tevé folyamán már jelentékeny számban épülnek *porszéntüzelésű kazánok*, melyek — mint az elnevezésükből is kitűnik — a porszén-, vagy nagy portartalmú daraszén gazdaságos eltüzelését teszik lehetővé. Meglévő, vagy ezután épülő *rostélytüzelésű kazánjaink* azonban túlzottan magas portartalmú daraszéneket gazdaságosan felhasználni nem tudnak, sőt a magas portartalom éppen a rostélyterhelést csökkenti le, amelyet pedig — mint említettem — a jövőben fokozott mértékben kell emelnünk.

A Bányászati Kutató Intézettel együttműködve, a közel egy év óta folyó tüzelési kísérlet sorozatok számszerű eredményei alapján beigazoltuk, hogy a daraszének portartalmát csökkentve, mind a kazánok hatásfokát, mind azok teljesítményét jelentős mértékben lehet emelni. A hatásfok emelése szénmegtakarítást eredményez. A teljesítmény emelése pedig iparunk további zavartalan fejlődésének egyik szűk keresztmetszetét bővíti ki.

A továbbiakban néhány szóval ismertetni fogom a kísérleti eredményeket. Ezek alapján javasoljuk a daraszének portartalmának a bányák osztályozóin történő csökkentését, ami azt jelenti, hogy a bányák ne a természetes hullásból származó, hanem bizonyos mértékig csökkentett portartalmú daraszénre állítsanak elő. A portalanítás mértékére vonatkozóan előzetesen minden szénfajtánál meg kell határozni azt a maximális portartalmat, amelynél a szóbanforgó szén még elfogadható hatásfok mellett tüzelhető el s amelynél a kazán még kielégítő teljesítményt ad. Javaslatunk szerint tehát a bányák ne állítsanak elő természetes hullás szerinti dara- és portalanított daraszéneket, hanem csak egyféle daraterméket, melynek portartalma azonban ne haladja meg azt a mértéket, amelynél a kielégítő hatásfok elérhető. A megfelelő rostélyterhelés továbbá biztosítaná a kazánról való maximális gőzfelvétel lehetőségét.

A kísérletek során vizsgálat alá vont daraszénfélések eredeti portartalma 35—55% között változott. A részleges portalanítás során a portartalmat 20—30%-ra csökkentettük. Ezzel egyrészt sikerült a kazánok hatásfokát oly mértékben emelnünk, hogy az 4—25%-os szénmegtakarítást eredményez, másrészt a kazánok teljesítménye részleges portalanítás következtében 20—75%-al emelkedett.

Felmerült a kérdés, vajon a por részleges elvonása esetén nem következne-e be daraszénhiány? Erre vonatkozóan a következőket említem meg:

Olyan szeneknél, amelyeknek a pora alacsony fűtőértékű, a helyesen megállapított porcsökkentés jelentős hatásfokemelkedést eredményez. A kazán hatásfokemelkedéséből származó szénmegtakarítás teljes mértékben fedezi a porlevonás következtében előállott szénmennyiség csökkenését. A visszamaradó por tehát ezeknél, mint megtakarított szénmennyiség jelentkezik, mely megfelelő berendezéseken (pl. tégláégető kemence, porszéntüzelésű kazán) még felhasználható. A felsőnyárádi daraszén eredetileg 35%-nyi 0,5 mm-es portartalmát például 21%-ra csökkentve, a hatásfokemelkedésből 8,2%-os szénmegtakarítás adódott s a kazán teljesítménye 47%-al volt növelhető. A szénmegtakarítás ez esetben teljes mértékben fedezte a portalanítás következtében előállott szénmennyiségkiesést, vagyis a kevesebb, de kisebb portartalmú szénnél ugyanannyi gőzt állíthatunk elő, mintha a nagyobb portartalmú összes daraszénen rávittük volna a rostélyra. Ezenkívül azonban a rostély nagyobb terhelhetősége révén a kazán teljesítményét közel 50%-kal sikerült emelnünk.

Az eredeti daraszén fűtőértéke 2230 kalória, a belőle részben eltávolított 0—5 mm-es por fűtőértéke 1970 kalória volt.

Olyan szeneknél, amelyeknek pora a daraszénnel közel azonos minőségű, a hatásfokemelkedésből származó szénmegtakarítás csak részben pótolja a porlevonás okozta szénmennyiségcsökkenést. A hiányzó mennyiséget azonban előteremthetjük a következőképpen. Azokat a fogyasztókat, akik porszenet igényelnek ugyan, de akiket porszén hiányában jelenleg daraszénnel látunk el, a jövőben a darából eltávolított porszénrel kielégítjük, viszont az így felszabaduló daraszén rostélytüzelés céljára használható fel. A hatásfokemelkedésből származó szénmegtakarítás ez esetben oly formában jelentkezik, hogy a daraszén pótlása után *többletpormennyiség* marad vissza, mely szénnyereségnek tekinthető. Ez a porszén — jó minősége következtében — nemcsak ipartelepeink arra alkalmas tüzelőberendezéseire, hanem még briketkezésre is felhasználható. Az eredetileg 44% portartalmú kisterenyei daraszén portartalmát például 20%-ra csökkentve, a hatásfokemelkedés révén 4%-os szénmegtakarítást érhetünk el, mely csak 81%-ra fedezte ugyan a porcsökkentés következtében előállott szénmennyiségkiesést, a kazán teljesítménye azonban a kevésbé poros szén felhasználása következtében 42%-al emelhető volt. A daraszénnel azonos minőségű portöbbletből pedig kiváló minőségű brikett állítható elő.

Azt látjuk tehát, hogy a javasolt porlevonás megvalósítása esetén daraszénhiány nem következne be, sőt a tüzelésnél jelentkező hatásfokjavulás következtében jelentős mennyiségű szénportöbblet állna rendelkezésünkre. Ez a szénmegtakarítás bányáink jelenlegi termelését véve alapul, megközelítő számítás szerint évente 200—240.000 tonna szénmennyiséget jelentene.

Ennél még fontosabb eredménynek tekinthetjük azonban azt a tényt, hogy a részben portalanított daraszénnel való tüzelés mellett a kazánok teljesítményének jelentős emelkedése érhető el, ami iparunk jelenlegi kazánállományát tekintve, fel nem mérhető előnyökkel jár. A legkülönbözőbb iparágak többtermelése válik ugyanis lehetővé, az üzemek kazántelepeinek bővítése nélkül.

Az elmondottak alapján kérem az illetékeseket, hogy a felvetett problémával, jelentőségéhez mérten foglalkozzanak.

MÜLLER LÁSZLÓ hozzászólása.

A nagy érdeklődéssel várt előadás igen alapos és kiterjedő előmunkálatoknak eredményeit foglalja össze. Rámutat szénbányászatunk és szénenergia-gazdálkodásunk felfejlesztésének azon irányelveire, amelyek tervgazdálkodásunk érdekeinek figyelembe vételével a szénbányászat tervelőirányzatának teljesítését fogják lehetővé tenni. A széntermelésünkben mutatkozó emelkedés máris az ismertett irányelvek gyakorlati alkalmazásának köszönhető. Ez a tény már önmagában igazolja az előadás energiagazdálkodási, gazdaságpolitikai és műszaki elgondolásainak, valamint javaslatainak helyességét.

Hogy a szén legfontosabb energiahordozónk és mint ilyen tervelőirányzataink teljesíthetőségének nélkülözhetetlen alapanyaga és hogy a szénnel való legmesszebbmenő takarékoság elengedhetetlen feltétele energiagazdálkodásunknak, ez állandóan — szinte közhelyként — hangoztatott, mindannyiunk által ismert alapigazság. Sajnos, a gyakorlatban igen sok kívánnivaló tapasztalható az említett alapigazságokkal ellentétes szénenergia-gazdálkodásnál. Épp ezért hozzászólásomban a racionális szénenergia-gazdálkodásnál figyelembe

veendő szempontok részletesebb vizsgálatával kívánom az elhangzott előadást kiegészíteni.

Az ásványi szén tudvalevően nagyon is korlátolt mennyiségben áll rendelkezésünkre. Szénvagyonunk nem kifogyhatatlan. Készleteinken belül szeneink meghatározott, adott minőségekben található, mégpedig minőségüktől és mennyiségüktől általában független előfordulási körülmények között. E természeti adottságok bányászati vonalon szűk korlátokat szabnak a mennyiségi és főleg a minőségi termelési kívánalmakkal szemben. Nem sovinizmus tehát, ha a racionális szénenergiagazdálkodás helyes alapelveinek biztosítására, a fogyasztók fokozottabb mértékű alkalmazkodását kell megkívánni, amit a felhasználás igen sokféle technikai megoldása lehetővé is tesz.

Amikor racionális szénenergiagazdálkodásunkról beszélünk — legáltalánosanabban kifejezve — a szénnek, illetve a szénben vegyileg kötött hőenergiának olyan hasznosítására gondolunk, amelynél a lehetséges legkisebb felhasználással biztosítjuk az elérhető legnagyobb teljesítményt.

Ez az általános meghatározás azonban nem egyértelmű, mert a hasznosítás mértékének számszerű megállapításánál többféle mértékegységet is lehet alkalmazni. A tőkés gazdálkodásban a tőkés például, a racionális energiagazdálkodási szempontokra való tekintet nélkül, egyedül csak az elérhető legnagyobb haszonnal számol. Az ő mértékegysége tehát kizárólag a pénz, amely mértékegységnek előjele rendszerint pozitív, de kivételes esetekben negatív is lehet. A mérnök és a technikus ezzel szemben kalóriában gondolkodik és határfokban állapítja meg a hasznosítás mértékét: A határfok viszont mindig pozitív és mindig egynél kisebb, dimenzió nélküli szám. A legjobb határfok elérésére, természetesen, a gazdaságosságot is figyelembe veszik. A szocialista gazdálkodásban csakis ez utóbbi elvek érvényesíthetők s ezek az elvek, mint említettük, a mérnök és a technikus gondolkodásmódjával és munkájával megegyeznek.

Szocialista gazdálkodásunkban a helyes szénenergiagazdálkodásnál az elmondottakon kívül különösen figyelembe veendő, hogy a szén kitermelése a legnagyobb földalatti fizikai munkát igényli. A bányamunkánál sohasem lehet — a legnagyobb áldozatok meghozása esetén sem — olyan munkafeltételeket és körülményeket teremteni, mint a külszíni munkánál, vagy az ipari üzemben. Főleg ez az oka annak, hogy a bányászutánpótlás és a bányászlétszám biztosítása terén világviszonylatban krízis van, mely jelenség alól országunk sem kivétel.

Az elmondottak alapján tehát azt a következtetést kell levonnunk, hogy minden elpazarolt tüzelőanyag és rossz határfokkal felhasznált szén nemcsak pótolhatatlan veszteséget jelent a közösség számára, de jelenti a földalatti, nehéz viszonyok között dolgozó bányászaink munkájának megsemmisítését is. Ezért szociális és etikai szempontból megengedhetetlen a szénenergiának meg nem felelő határfokkal és nem a legmesszebbemenő takarékosággal való felhasználása. Mindannyiunk erkölcsi kötelessége tehát bányásztársainkkal, a közösséggel és a szocializmust építő országunkkal szemben, hogy legfontosabb energia-hordozónkkal, a szénnel a leggondosabban és legtakarékosabban gazdálkodjunk.

A racionális szénenergiagazdálkodásnál figyelemmel kell lenni arra is, hogy az erős ütemben fejlődő gépesített termelés és a termelést megkönnyítő műszaki újítások egy részének — mint például a millszekundoros robbantásnak — bevezetése a szénminőség romlásával jár. A folyton növekvő termelésnél pedig a népgazdasági és racionális műszaki okok miatt, a mindjobban kifogyó jobb szénminőségek mellett elkerülhetetlenül a gyengébb szénminőségeket is

ki kell termelni. A szénminőségeknek állandó csökkenésével, mint maradandó tényezővel kell tehát számolni.

Az elmondottakból az is megállapítható, hogy a helyes szénenergiagazdálkodás nehéz feladatát a bányászat egyedül megoldani nem képes. A cél elérésére az összes szénfogyasztók, valamint a szénelosztó szervek a jelenleginél sokkal racionálisabb szénfelhasználását biztosító munkájára különösen szükség van. Mindhárom érdekelt szektornál még igen sok fejlődési lehetőség van és igen sok az elvégezhető és elvégzendő teendő.

Nézzük röviden, melyek az elvégzendő teendők.

A szénbányászatnál a fogyasztók indokolt igényeinek lehetőség szerinti kielégítését kell elérni. Ez a követelmény azonban csak a fogyasztók kívánalmainak ismeretében teljesíthető. Csak ez adatok birtokában tudjuk a megfelelő mennyiségi és minőségi termelést biztosítani. A gyakorlatban, sajnos, ez az igen fontos energiagazdálkodási elv sokszor nem érvényesíthető. Jellemző példaként megemlíthetem, hogy egyik új nagy célerőművünk üzembehelyezése után két évvel sem tudta még a kívánalmainak megfelelő minőségi követelményeket a széntermelő bányavállalatokkal közölni. Ennek a követelményei természetesen az erőmű gazdaságosságára és végeredményben a helyes energiagazdálkodásra kedvezőtlenül hatnak.

A széntermelő vállalatok feladata a fogyasztók részére egyenletes, előre megállapított szénminőségek szállítása. Ennek elérésére a szénbányászat bevezeti, illetve a feltárt szénvagyon előzetes minőségi vizsgálata alapján kis részben már meg is valósította a minőségi tervek készítését. E tervek előre pontosan meghatározott, egyenletes minőségű szénfélésegek termelésére adnak lehetőséget.

Minőségi vonalon tennivalónk van még szeneink osztályozása terén is. Osztályozóink nagyrésze elavult és túlterhelt. Ezek a berendezések nem tudják kielégíteni a minőségi és szemcseösszetételi követelményeket. Újonnan épülő osztályozóink ezen a téren majd lényeges javulást hoznak, az igényes szénfogyasztók magasabb követelményei, valamint a legracionálisabb szénenergiagazdálkodás feltételei azonban csak az előadó által is megemlített mechanikus osztályozás bevezetésével lesznek teljesíthetők.

Zágon Pál, gyakorlati kísérleteinek eredményeit ismertetve, kiemelte a magas portartalmú apró szenek eltüzelésénél mutatkozó jelentős hatásfokromlást, ami egyúttal a szükségesnél nagyobb szénfelhasználást jelent. A bányászatnak megoldásra váró feladata tehát addig is, amíg az új osztályozók felépülnek, meglévő osztályozóinak átalakításával portalanított daraszének előállítására.

A szénfogyasztók ma még igen alacsony átlagos hatásfokkal használják fel szeneiket. Amíg az új, gazdaságosan dolgozó üzemek fokozatosan megépülnek, a meglévő berendezések megfelelő átalakítása és a műszerek segítségével történő jobb ellenőrzés feltétlenül szükséges.

Az energiamegtakarítást jelentő számos lehetőség közül megemlítem a helyes tárolás kérdését. A helytelen tárolásnál ugyanis igen sok szén megy veszendőbe.

Meg kell említenem azt is, hogy az újonnan épülő kazánokat a mainál szélesebb minőségi skálára kell tervezni. Hogy e tekintetben a tőkés országokban mi a helyzet, arra két példát hozhatok fel. Egy nyugatnémetországi nagy erőmű építése a háború után fejeződött be. A kazánokat eredetileg 8% hamutartalmú-7000 kalóriás szénre tervezték. Üzembehelyezésük után a legkülönbözőbb nagy,

ságban 8—40% hamutartalmú, 12—24%-os változó illótartalmú, 4300—7200 kcal-ás változó fűtőértékű, különböző minőségű szenekkel kellett kazánjaikat üzemben tartani. Hasonló szénellátást biztosít a Marschall-terv Ausztriában is, ahol a szénminőségek igen nagy határok között ingadoznak. A rendelkezésre álló barnaszénük fűtőértéke 1580 és 5300, kőszénüké pedig 4870 és 7660 kcal/kg között ingadozik. Ez indokolja kazánjaik igen széles minőségi sávra történő tervezését.

A jelentős szénfogyasztó üzemek gazdaságosságának emelésére a nagymennyiségben jelentkező salakok hasznosítását és ipari feldolgozását kell még megoldani.

A szenek racionális felhasználását végül igen nagymértékben könnyítheti meg, vagy akadályozhatja a szén elosztása. A helyes szénelosztás érdekében minél előbb el kell érni a műszakilag ellenőrzött és a felhasználó berendezéseit figyelembe vevő szénelosztást, a tervszerűnek nem mondható mechanikus elosztás helyett. Itt kell kitérni Zsigmond Béla megelőző felszólalásának arra a kijelentésére, hogy 2 kg 2500 kalóriás szén nem egyenértékű 1 kg 5000 kalóriás szénrel. A felszólalónak igaza van abban az esetben, ha a szén elosztása nem a tüzelőberendezés műszaki adottságainak figyelembe vételével történik, mert ilyen esetben a megfordított eset is fennáll, amikor 1 kg 5000 kalóriás szén nem egyenértékű 2 kg 2500 kalóriás szénrel. Ha azonban a szénelosztás az elmondottak figyelembevételével történik és minden szenet a neki megfelelő tüzelőberendezésben használnak fel, úgy a példákban említett szénfélések matematikailag és tüzeléstechnikailag is egyenértékűek.

A szénelosztás racionalizálása, az előzőek figyelembe vétele mellett, aránylag egyszerű eszközökkel, jóformán jobb szervezéssel is megoldható. Szükségesnek tartom, hogy minden jelentős és igényes szénfogyasztó részére célbányát jelöljenek ki. Ennek előnye abban fog megmutatkozni, hogy a szénfelhasználó üzem állandóan azonos minőségű szenet fog eltüzelni és így kétségtelenül jobb hatásfokot fog elérni.

Hozzászólásomban a helyesebb energiagazdálkodási lehetőségekre igyekeztem rávilágítani. Az ily módon elérhető megtakarított szénmennyiségek az előadó elgondolásai szerinti bányászati felfejlesztéssel együtt szolgálják majd országos tervelőirányzataink teljesítését.

FEKETE SÁNDOR hozzászólása.

Felemelt ötéves tervünk iparunk oly gyorsütemű fejlődését eredményezi, amely hazai elmaradt szénbányászatunk felé igen komoly termelési követelményeket támaszt. Ezért szükséges, hogy iparunk alapját képező szénbányászatunk helyes fejlesztésének irányvonalát a tervben megjelölt cél elérése érdekében a Magyar Tudományos Akadémia Bányászati bizottsága tisztázza. Szükségesnek tartom ezt annál is inkább, mert a fejlesztés során esetleg elkövetett véletlen tévedések súlyos zavarokat okozhatnak népgazdaságunknak. Ajtay Zoltán elvtársunk előadása e szempontból feltétlenül időszerű. Az általa előadottakat tervünk szénbányászati feszítettsége miatt nemcsak általános érdeklődéssel kíséri bányaműszaki értelmiségünk, hanem oly biztos támpontot, határozott irányítást keres benne, amely közös, nagy feladatunk eredményes teljesítését lehetővé teszi.

Országos szénvagyonunk részletes tárgyalásában, előadó a sorok között ismertette, hogy 1948. és 1951. évek között az mintegy 18%-al emelkedett. Az emelkedés a borsodi és liász szénmedencékre vonatkozik. Hasonló emelkedést tart valószínűnek *Ajtay* elvtárs a közeli években a minőségi barnaszénben is. Az országos szénvagyonadatokat figyelemmel kísérve, mindenesetre bátran állíthatjuk, hogy szénvagyonunk kedvezőtlen települési viszonyaink ellenére sem képezi bányászatunk fejlődésének gátját. Ugyanakkor joggal fordulhatunk a fejlesztés során szénvagyonunk olyan része felé, amely népgazdaságunk igényeinek kielégítése szempontjából a legkedvezőbb és a leggazdaságosabb.

Összes bányauzemeink 1950. évi termelési, termelékenységi és önköltségi eredményeit részletes vizsgálat tárgyává tettük annak megállapítására, hogy népgazdaságunk szempontjából — kizárólag a bányászat gazdaságosságával számolva — mely bányauzemeink adják a millió kalóriára vonatkozó legkedvezőbb önköltségi eredményeket. A vizsgálat során arra az elvi megállapításra jutottunk, hogy a hőmennyiség egységére, a millió kalóriára vonatkozó önköltség hazai viszonyaink között elősorban a települési viszonyok függvénye. Erősen függ ezenfelül a kapacitás kihasználásától és a gépesítés mértékétől is. A kedvező településű, jól gépesített és közel a kapacitáson dolgozó tatabányai üzemek önköltsége a legkedvezőbb. A tatabányai önköltséget megközelítik az oroszlányi üzemek s a különbség ezeknek gyengébb kapacitású kihasználásából adódik. A továbbiakban a sorrend a következő: Felsőnyárad, Ménkes, Gátibánya, Kossuth-táró, Kisgyón, dorogi II. és X. akna, ajkai Jolán-akna és Felső-Csinger, Rudolf-telep, Somsálybánya, Forgács-lejtősakna, Margit-táró stb. Az országos átlag körül a szénminőségtől függetlenül helyezkednek el nagyobb bányauzemeink e sorban, amelyben Kurityán, Ormospuszta, a MESZHART-üzemek és Várpalota közvetlen egymás mellett foglalnak helyet. E vizsgálat eredményeképpen megállapítottuk, hogy jobbminőségű szénelőfordulásaink nagyobb mélysége, esetleges vízveszélye és egyéb művelési nehézsége a jobb minőség adta előnyt a millió kalória önköltségében kiegyenlíti. Ezen üzemeink csak kivételesen kedvező települési viszonyok mellett, fejlett gépesítés és szervezés, kedvező kapacitáskihasználás esetén adnak az országos átlagnál lényegesen jobb kalóriaönköltséget.

A fentiekből következik, hogy szénbányászatunk fejlesztése érdekében a főfeladat meglévő és fejlesztésre érdemes bányauzemeink kapacitásának növelése és a kapacitáskihasználás emelése. 50—60 vagon napi széntermelés alatti üzemeinket minél előbb legalább erre a nivóra kell felfejleszteni, vagy ahol a fejlesztésre mód nincs, művelésüket tervszerűen és fokozatosan meg kell szüntetni. Vonatkozik ez elsősorban a salgótarjáni és borsodi kis üzemekre, amelyeknél az üzemkoncentráció, a művelési mód helyes megválasztása és a gépesítésnek a jelenlegi országos nivóra való emelése szénbányászatunk termelését és teljesítményeit lényegesen növelni fogja. Meg kell itt említenem a sajoszentpéteri 3, kazincvölgyi 2, rudolftelepi 3, ormospusztai 5, kurityáni 3, sajkóközi 2 és edelényi 2 kisüzemet, amelyeknél a teljesítmények növelése érdekében a helyenként már több éve helyesen megkezdett üzemkoncentrációk mielőbbi keresztülvitele szénbányászatunk fejlesztésének szerves része. Széntermelésünk mai állapotában meglévő üzemeink fejlesztése egyben létszámkérdést is jelent, de termelési tervünk teljesítése is ezt jelenti. Ezért szénbányászatunk munkaerő kérdését mindenképpen meg kell oldanunk. Véleményem szerint nem szénbányáink száma a kevés, hanem a létszámhiány miatt azok kapacitáskihasználása gyenge. Különösen így van ez a borsodi medencében, eltérően a dunán-

túli üzemektől, ahol a kapacitáskihasználás a legtöbb esetben lényegesen jobb.

Meglévő bányauzemeink fejlesztésénél legfontosabb műszaki problémák : 1. a hazai mellékközetekre való tekintettel minimális nyitott vágathosszat igénylő és koncentrált telepítést biztosító, gépesítésre alkalmas fejtésmódok mielőbbi üzemenkénti kidolgozása és bevezetése ; 2. az új fejtésmódok kiszolgálására alkalmas nagyteljesítményű munkahelyi szállítóberendezések bevezetése ; 3. a nagyteljesítményű földalatti és külszíni szállítás üzembiztos megoldása.

E problémáknak a következő egy-két éven belül valamennyi hazai bányauzemünknel szükséges megoldása szénbányászatunk továbbfejlesztésének nélkülözhetetlen előfeltétele. Az e munkával párhuzamosan végzett, a jövesztés és a rakodás gépesítésére vonatkozó kísérletek csak e műszaki és munkaszervezési előfeltételek után vezethetnek eredményre.

Iparunk növekvő szénigénye valamennyi bányauzemünknek a termelésbe való fokozott bekapcsolását tette szükségessé. Az elmúlt évek során széntermelésünk átlagos fűtőértékének csökkenése ily módon termelésünk növekedésének természetes következménye lett. A 4000 kalória alatti szénminőséget termelő 61 bányauzemünk termelésének további növelése országos széntermelésünk fűtőértékének további csökkenését fogja eredményezni. Országos szénvagyonunk átlagos fűtőértéke 3723 kalória. A módosított Ajtay-féle 10 éves tervtanulmány szerint az 1951. évi széntermelésünkben előirányzott 3853 kalóriás átlagos fűtőértékkel szemben széntermelésünk átlagos fűtőértéke 1959. évig bezárólag 3710 kalória lesz. A tanulmány a létesítendő új bányauzemek nagyobb részét helyesen a jobb minőségű tatabányai, dorogi, tatabányakörnyéki, közép-dunántúli, liász és egercsehi szénterületekre helyezi. Az új üzemeknek teljes kapacitásra való felfejlődése után széntermelésünk minősége ismét javulni fog. Iparunk szénellátása, illetve termelési tervünk teljesítése meglévő üzemeink fejlesztése nélkül azonban meg nem oldható, ami széntermelésünk fűtőértékének csekély mértékű leromlását, időlegesen elkerülhetlenné teszi. Hozzájárul ehhez az is, hogy a legjobb szénminőséget termelő liász-medencében lévő bányauzemeink — különös nehézségeik miatt — egyéb bányáink fejlődésének ütemét követni nem képesek, ezért az ottani bányaviszonyok között a széntermelés százalékos növekedése lassúbb.

Összefoglalva az elhangzottakat, szénbányászatunk fejlesztése vizsgálataink szerint két részből tevődik össze : a közeljövő fejlődésének érdekében a meglévő bányauzemeinket észszerű üzemkoncentráció, gépesítés és kapacitáskihasználás növelésével nagyüzemekké kell felfejleszteni, új nagyüzemeink telepítésénél pedig szénvagyonunknak azt a részét kell igénybe venni, amelynél az előzetes fűrészi adatok és eddigi tapasztalataink szerint a települési viszonyok a legkedvezőbbek és ezek alapján a várható teljesítmények és önköltségek a legjobbak.

SPACKELLER freiberger professzornak, a Német Demokratikus Köztársaság küldöttségének tagjának hozzászólása.

Az elhangzott előadásból és a hozzászólásokból megállapítottam, hogy Magyarországon is ugyanazon nehézségek állanak fenn, mint a Német Demokratikus Köztársaságban. Megemlítem, hogy nálunk még nehezebbek a szénviszonyok, mert a feketeszéntermelés csökkenőben van. Az eddigi köszön-

fogyasztók kénytelenek átállni a barnaszén fogyasztására. Nagyüzemszerűvé kellett tenni a barnaszénbányászatot annyira, hogy napi 20 ezer tonnára lehessen azt fejleszteni. Ebből egy másik probléma is adódott. Jelenlegi barnaszeneinknek csak 2000—2200 kg kalória fűtőértéke van s így nem bírják el a szállítást meleg úton való szárítás nélkül.

A fogyasztók eddig barnaszénbrikettre voltak beállítva. De ha most az új, nagy létesítmények megépülnek is, akkor sem tudnak egyszerre nagy külfejtéseket és brikettgyárakat létesíteni. Tehát a nagyfogyasztók, a különböző gyárak és iparüzemek kénytelenek lesznek megelégedni a 2000 kcal/kg-os nyersszénnel. Ennek pedig az a következménye, hogy aki szenet akar kapni, annak át kell térnie tüzelőeszközei módosítására.

Az előttem szólók rámutattak arra is, hogy az alapszükséglet biztosítása céljából esetleg szükségessé válik az olajnak szénből való előállítás. Tehát egy olyan iparág, amely a szenet nemcsak mint tüzelőanyagot, hanem egyben mint vegyi alapanyagot is felhasználja. Ehhez olyan szenek kellene, amelyekben kátrány és benzín is van. Egy másik nagyfogyasztó lesz majd a kohó, melynek kokszsükségletét a barnaszénből előállított kokszból kell fedezni. De a kokszt csak akkor használható, ha kénmentes és alacsony hamutartalmú. Tehát ezt biztosítani kell. Ebből adódik, hogy az erőművek annyit és azt kapják, amit a vegyipar már nem tud felhasználni. Ez kényszerítő körülmény, mely ellen felszólamlásnak helye nincs. A felhasználás tehát szorosan összefügg az energiagazdálkodással. Az erőművek csak olyan szenet fognak kapni, amelynek fűtőértéke csak kb. 2000 kgcálória. Az erőműveknek feltétlenül fel kell készülniök a magas hamutartalmú és kis fűtőértékű szénre. Természetesen ez nem jelenti azt, hogy az üzemek ne igyekezzenek minden fogyasztónak egyenletes minőségű szenet szállítani. Ezeket a szempontokat gondoltam felemlíteni abban a meggyőződésben, hogy az egész világ széngazdálkodása is ezt az utat kénytelen követni.

HANSÁGI IMRE hozzászólása.

Ajtay Zoltán előadása alapján nyilvánvaló, hogy hazai szénféleseink felhasználása tekintetében a feketeszen körül vita nem merülhet fel. Teljes feketeszentermelésünk ugyanis a Sztálin-vasmű kokszellátására fog szolgálni.

Vita tárgyát képezheti azonban az, hogy helyes volt-e a múltban és helyesen tervezzük-e a jövőre vonatkozóan lignit-, barnaszén- és minőségi barnaszéntermelésünket, illetve felhasználásukat.

Mint a termelés felfutásából látjuk, hogy bár lignittermelésünk viszonylagos növekedése nagyobb mértékű a minőségi barnaszéntermelés emelkedésénél, az országos széntermelésben mégis legkisebb arányban vesz részt. Hiszen alatta marad a feketeszentermelésnek is.

Melyek tehát azok a tárgyi okok és akadályok, amelyek nem tették lehetővé, hogy minőségi barnaszéntermelésünket az eddigieknél fokozottabb mértékben emeljük, valamint azt, hogy a jövőben még nagyobb mértékű emelkedést irányozzunk elő.

A tata-dorogi szénmedencékkel szemben fiatalkorú barnaszeneink, valamint lignitjeink terén kétségtelen előny az, hogy viszonylag *kisebb mélységben települtek*. Így ezeken a területeken nagyobb bányászati átlag feleannyi idő alatt létesíthető, mint a tata-dorogi szénmedencékben.

Minőségi barnaszeneink, beruházásokban ki sem fejezhető módon, hátrányos helyzetbe kerülnek amiatt is, hogy a legtöbb üzem *karsztvízveszéllyel* küzd és egy-egy nagyobb karsztvízbetörés a teljes beruházási munkát megsemmisülését is eredményezheti.

A mélység felé haladva, a *metántartalom* is nagymértékben emelkedik, ezért minőségi barnaszénttermelésünknek még az eddiginél is nagyobb mértékű metán- és szénporveszélyt kell leküzdenie.

A termelési költség tekintetében összehasonlító adatok rendelkezésünkre még nem állhatnak. Tervgazdálkodásunk óta telepített első nagy lignitbányaüzem ugyanis teljes kifejlődését még nem érte el, tehát jelenlegi termelési költsége még nem mérvadó. Ezzel szemben viszont a várpalotai lignitbánya évtizedeken keresztül az ország legalacsonyabb termelési önköltségével dolgozó bányaüzem volt. A fenti adatok ellenére, miként *Ajtay* kartárs előadásából láttuk, a lignitbányászat forintban kifejezett tonnánkénti termelési költsége mintegy 32—44%-kal elmarad minőségi barnaszént termelő üzeink mögött.

Véleményem szerint a jövőben a termelési tervek elkészítésénél nem azt kell nézni, hogy lignitre, barnaszénre, vagy pedig minőségi barnaszénre telepítünk-e üzemeket, hanem döntő mértékben csak azt a szempontot kell figyelembe venni, hogy melyik szénmedencére építjük fel a kérdéses energiatermelő, vagy bármilyen más szénfelhasználó üzemet.

Tény az, hogy az első és második ötéves tervünkben nem áll hosszú idő rendelkezésünkre ahhoz, hogy az üzemek létesítésével három-ötévig várakozhassunk. Körülbelül ennyi időre van ugyanis szükség ahhoz, hogy a tata-dorogi, vagy éppen a pécsi szénmedencében egy új üzem elkészülhessen. Ennél jóval rövidebb idő alatt kell az új üzemeket létesíteni. Erre azonban csak fiatalabb korú barnaszeneink és lignitjeink nyújtanak lehetőséget.

Fontos szempontnak tartom ezenkívül még azt is, hogy szeneinknek vegyi alapanyagként való felhasználása érdekében, különösen műbenzin-gyártás céljaira, egyes szénterületeinket már most foglaljuk le. Ne érhesen bennünket később az a vád, hogy hasznos vegyi alapanyagokat szolgáltató szénféléseinket kisebb gazdaságot jelentő kazántüzelés céljaira használtuk fel.

BOLDIZSÁR TIBOR hozzászólása

Az előadó igen logikus gondolatmenettel és élvezetes összeállítással tárgyalta szénenergiagazdálkodásunk és szénbányászatunk fejlesztésének irányelveit. Előadásában közölt táblázatok összeállítása igen szemléltető és alkalmas arra, hogy megmutassa a fejlődés vonalát, amit szénbányászatunknak az elkövetkezendő években követnie kell. Az előadás lényegét abban látom, hogy számszerű adatokkal igazolja azt a megállapítást, hogy a jöminőségű szének termelésének növelésével lehet viszonylag a legjobb eredményt elérni és egyes lignit előfordulásaink e tekintetben kedvezőtlen képet nyújtanak.

Szeretnék ezzel kapcsolatban egy megjegyzést is tenni. A Bányászati Akadémiai Bizottság megbízásából a Bányászati Kutató Intézet vezetésével egy bizottság foglalkozott szénbányászatunk 7 hónapos, hároméves, és első ötéves tervével, valamint a tízéves terv bírálatával. Ennek a bizottságnak én is tagja voltam és az adatok gyűjtésével hozzájárultam a jelentés elkészítéséhez. A bizottság jelentése annakidején nem váltott ki túlzott helyeslést, sőt éles kritikai megjegyzéseket is hallottunk a bizottság jelentésével kapcsolatban. Most *Ajtay* kartárs előadásának meghallgatása után elégtétellel állapítom meg,

hogy az előadásnak megállapításai és következtetései teljesen egyeznek a bizottság jelentésével. Azt vártam, hogy az előadás után a bírálókat, mint a Bányászati Kutató Intézet jelentését, ezt az előadást is részleteiben fel fogják boncolni és kimutatják annak hiányosságait. Ez bizonyára jó alkalom lett volna a Bányászati Kutató Intézet kebelében alakult bizottság munkájának nyilvános megvitatására. Ezzel szemben a hozzászólók véleményéből mindannyian levontuk azt a következtetést, hogy az előadásban foglaltak helyesek.

Mindezeket összefoglalva elégtétellel állapítom meg, hogy a Bányászati Kutató Intézet úgynevezett Alapszén-Bizottsága által készített munka nem volt hiábavaló és megállapításait ma a bányászati szakértők nagy többsége helyesli.

KORSZERŰ BIZTOSÍTÁSI MÓDOK A TÖBBTERMELÉS SZOLGÁLATÁBAN

KRUPÁR GÉZA

Iparosodásunk lendülete és hatalmas fejlődése a széntermelés olyan fokozott ütemű növelését követeli meg, amire szénbányászatunk történetében példa nem volt. A többtermelés adottságai szénbányászatunkban megvannak. Szerényebb szénvagyonunk és mostoha települési viszonyaink ugyan nem teszik könnyűszerrel lehetővé azokat a megoldásokat, amelyek a nagy széntermelő országokban rendelkezésre állnak. Rendkívül változó települési adottságaink és szénelőfordulásaink sokfélesége ugyanis a termelés hirtelen emelését nehezíti, ezért tanulmányoznunk kell azokat a korszerű, hazai viszonylatban is megvalósítható módszereket, eszközöket és berendezéseket, amelyek segítségével a kívánt többtermelés kellő időben való elérését biztosíthatjuk.

A magas fejlettségi fokon álló bányatechnika nagy lehetőségeket nyújt a fenti cél elérésére. A kedvezőbb külföldi települési viszonyok között kiváló berendezések, megoldások nálunk nem mindenben alkalmazhatók, illetve adottságainknak megfelelően átdolgozandók. Nagyüzemek létesítését, nagy kapacitású gépesített fejtmódok alkalmazását, kis területre összpontosított fejtesi rendszerek bevezetését, szénbányászatunkban is meg kell valósítani. Ezt a megoldást kívánja munkaerő tartalékunk kötött volta is. De megköveteli ezt a szociális fejlődés, a fizikai dolgozók védelme és munkájuk megkönnyítése.

A munkakönnyítés részben a jelenleg már felesleges munkálatok kikapcsolásával, részben pedig a szükséges munka könnyebb, eredményesebb elvégzésével oldható meg.

Ezt a gondolatot szolgálja a teljesítményrontó és javító tényezők kedvező megváltoztatása. Adott termelési mennyiség, valamint a számbavehető létszámkeret mellett e két tényezővel szorosan összefüggő összteljesítmény is meghatározott, ennek megfelelően a megoldandó feladat, a teljesítmények növelésének mértéke is, konkrétan adott.

Az összteljesítmény növelése a gépesítés figyelembevételével nagy általánosságban kétféle módon oldható meg:

1. a teljesítményrontó tényezők csökkentésével,
2. a produktív teljesítmény növelésével.

A teljesítményrontó tényezők csökkentését úgy érhetjük el, hogy az improduktív munkák szükségességét a legkisebb mértékre szorítjuk le. Tehát olyan művelési módokat vezetünk be, amelyeknél a legkevesebb mellékmunkára van szükség.

A szelő-teljesítmények növelésénél fentebbiekhez hasonlóan elsősorban a mellékmunkák mennyiségének csökkentésére kell törekednünk. A felszabaduló műszakok termelési munkára fordíthatók. A közvetlen produktív munkák könnyítését és eredményességének növelését az élenjáró nagy széntermelő államok, elsősorban a Szovjetunió eredményeinek szintjéig kell emelni.

Mind az improduktív, mindpedig a széntermelő munkák könnyítését, gyorsabb elvégzését a minél tökéletesebb és teljesebb gépesítés teszi lehetővé. A bányászati munkák elvégzéséhez, de különösen a gépesített megoldáshoz meg kell teremtenünk az akadálymentes tömegtermelés munkafeltételeit. Ennek egyik legfontosabb eszköze a korszerű bányabiztosítás, amely a munkafeltételek biztosításán kívül a munkaterek állékonyságának megóvását, a különböző nyomásjelenségek ellensúlyozását és kiküszöbölését szolgálja.

A korszerű biztosítások elvi osztályozása és alkalmazási területük

A technika jelenlegi fejlettsége mellett olyan biztosító szerkezeteket és berendezéseket kell alkalmaznunk, amelyek a bányaterek szükséges élettartamú fenntartásához, a gazdaságosság keretén belül a legmegfelelőbbek, a fellépő terheléseket teljes biztonsággal felfogják, azok káros hatásait megfelelő engedékenységgel ellensúlyozzák és kiküszöbölik. Ezenfelül beépítésük egyszerű és rendeltetésük időtartamának megfelelő legyen. További követelmény, hogy a jövesztési munkálatokkal kapcsolatos közetmozgások irányítását és levezetését lehetővé tegyék és gyakori áthelyezésük esetén be- és kiépítésük gépesíthető legyen.

A külföldön kiválóan bevált és fejlődésnek indult biztosítási módok, valamint azok szerkezetei, nagy általánosságban az alábbiak szerint osztályozhatók:

1. *Hosszú élettartamú vágatok, bányaterek merev biztosítása.* Ilyenek a különböző kivitelű falazatok, merev acélbiztosító-szerkezetek, vasbeton ácsolati elemek, főtéfelfüggesztés, torkretezés, stb. E megoldásoknál bizonyos mérvű engedékenység is lehetséges.

2. *Nagyobb engedékenységet biztosító berendezések.* Ezek a rugalmas és plasztikus alakváltozásokkal kapcsolatos közetmozgásokat lehetővé teszik anélkül, hogy a bányaterek használatában bármi fennakadás, üzemzavar történne. Ebbe a csoportba tartoznak az engedékeny acéltámok, különböző megoldású acélívek, fatuskókból készült falazatok, valamint a fabiztosításnak vasszerkezetekkel való kombinációi; továbbá a fabiztosítás egyszerűbb megoldásai, engedékenységet lehetővé tevő megoldásai.

3. *Rövid élettartamú, állandóan vándorló munkahelyek biztosító berendezései.* Ezek biztosítják a folyamatos, vagy rövid szakaszokban történő átépítés és az újra való felhasználás lehetőségét. Gépesített megoldásuk a korszerű bányászati további fejlődésének elengedhetetlen feltétele.

E biztosítások eszközei a korszerű, nagy teherbírású és a teherbírásuknak megfelelő terhelést rövid időn belül felvevő, nagy előfeszültséggel beépíthető acéltámok, csuklós süvegek, vándorpajzsok, acélszekrények, valamint a tudunkkal még meg nem oldott, teljes gépesítésű vándorbiztosítások.

A közvetlen fedőt alátámasztó biztosító szerkezeteket fejtéseknél a különféle tömedékelési eljárások egészítik ki. Ezek különösen a kőzetrétegek mozgásának irányítását, a magasabb fedőrétegek süllyesztését szolgálják.

A fával való biztosítást, amely hazai viszonyaink között még első helyen áll, a legszűkebb keretek közé kell szorítani, mert amellettt hogy hazánk fában szegény, a gazdaságos széntermelést nem biztosítja olyan mértékben, mint a sokszor átépíthető acél- és fémbiztosítóberendezések. Ezenfelül még az egyéb ipari célra felhasználható faanyag, vagy a kalorikus értéket képviselő tüzelőanyag bányába való tömeges bevitel egyáltalán nem kívánatos. Tanulmányunkban ezért a fabiztosítással nem foglalkozunk, vagy legfeljebb csak a korszerű biztosításokkal kapcsolatban szükséges mértékben.

A korszerű bányabiztosítási módoknak mindenkor legszorosabban kell alkalmazkodniuk a fellépő nyomásviszonyokhoz. Ennek megfelelően végleges, merev biztosítást csak ott alkalmazunk, ahol a statikai egyensúlyi állapot megvan, vagy a kőzetréteg-mozgások lefolyása után annak új kialakulása már megtörtént, vagy pedig a biztosítás teherbírása a várható terhelésnél nagyobb. A kőzetmozgások tartamára megfelelő engedékenységet biztosító berendezéseket kell alkalmazni olyan kivitelben, hogy ez idő alatt átépítésükre lehetőleg ne legyen szükség, javításuk pedig a legkisebb munkát igényelje.

A hosszú időtartamú, kisebb-nagyobb elmozdulások felfogására, ellen-súlyozására szintén engedékeny biztosító-berendezéseket kell alkalmazni. Nagyobb vágatszelvény-szűkülés mellett a térszükségletet azáltal lehet biztosítani, hogy az eredeti vágatszelvényt nagyobb kőzetmozgásoknak, nyomásoknak kitett helyeken a szükségnek megfelelő mértékben megnöveljük.

A korszerű fejtési biztosításoknál arra kell törekedni, hogy a munkatérben lehetőleg a fejtés előtti feszültségi állapotok maradjanak meg, sőt, különösen igen kedvezőtlen nyomásviszonyok mellett, azok megjavítására kell törekedni.

A fenti követelmények teljesítéséhez ismernünk kell a különböző kőzetnyomásokat és kőzetmozgásokat.

A kőzetrétegekben uralkodó elsődleges feszültség a föléjük települt rétegösszlet gravitációs terhelésének, térfogatsúlyának a függvénye. A feszültségek kialakulására a különböző kőzetrétegek települési és fizikai tényezői rendkívül nagy kihatással vannak. De hatással vannak a különböző geológiai és kémiai

folyamatok is. Az egyes kőzetrétegek zárt térbeni helyzete a föld mélyében mindaddig egyensúlyi helyzetet biztosít, amíg a zárt teret valamely művelet, vagy geológiai erőhatás meg nem bontja. Az egyensúlyi helyzet megbontása után mozgások lépnek fel. A mozgások következtében pedig különböző irányú és nagyságú terhelések lépnek fel, melyeknek hatását képezik a bányaterekben fellépő különböző nyomások.

A bányaterek nyitásánál az első elmozdulást rendszerint a kőzetrétegek rugalmas alakváltozása okozza, amely szoros összefüggésben áll a környező rétegek települési és fizikai tényezőivel, valamint a kőzetekben uralkodó primérfeszültségekkel. A primérfeszültségekkel egyenlő szilárdságú kőzetrétegekben a rugalmas alakváltozást, különösen képlékeny tulajdonságú kőzetrétegekben, a plasztikus, majd a törési szilárdságon felül fokozódó terhelésnél, a belső szerkezet összefüggésének megszűnésével együttjáró, szétmorzsolódó deformáció követi.

Az említett alakváltozások következtében a vágatkörüli kőzetrétegekben repedések, lazulások keletkeznek, amelyek a kőzetrétegek belseje felé csökkennek, majd teljesen megszűnnek. A megszűnés hatásán az elváltozást szenvedő kőzetrétegekben új egyensúlyi helyzet alakul ki. Az új egyensúlyi helyzet kialakulását egyrészt a változatlan kőzetrétegekben lévő feszültségek kiegyenlítődése, másrészt pedig az elmozdult kőzetrészecskék belső súrlódási ellenállása és egymásközi kiékelődése eredményezi. A leírt elváltozási folyamat következtében alakul ki a földalatti vágatok környékén a lazulási zóna, amely a létesített vágatot terheli mindaddig, amíg valamely más bányabeli művelet távhatása ezt az egyensúlyi helyzetet meg nem bontja és új terheléssel a vágatot igénybe nem veszi.

A vágatra ható különböző terhelések, jóllehet azok eredeti oka a hegynyomás, nemcsak a vágat főtéje és oldalai irányában jelentkeznek, hanem annak talpán is. Ebből következik, hogy a lazulási zóna a vágatot minden irányban körülveszi. A vágatra ható nyomások abban az irányban lesznek a legnagyobbak, ahol a közvetlen, vagy a közel települt mellékközetek teherbírása a legkisebb. Ezt a tényt igazolja a vágatoktól kisebb-nagyobb távolságban települt plasztikus, vagy kisebb szilárdságú, ridegebb kőzetrétegek felszabaduló tangenciális feszültségeinek a vágatra való távhatása, ennek következtében a vágatok összetöredezése és a közvetlen mellékközeteknek a vágatba való benyomódása, mint pl. a talpduzzadás, főtebetüremkedés, vízbetörés, intenzívebb gázfejlődés, gázkitörés.

A röviden elmondottak igazolják különböző kőzetrétegviszonyok mellett a keletkező lazulási magnak különböző irányú és nagyságú kiterjedését, térfogatát és ennek következtében az egyes vágatokra ható nyomások különböző nagyságrendjét, kialakulási idejét, továbbá ezzel összefüggésben a nyomások időtartamát, vagyis az új megnyugvási helyzet kialakulásához szükséges időt. Ezek ismerete határozza meg a biztosítás módját, a megválasztandó biztosító

szerkezeteket. Megállapításukhoz azonban tudnunk kell, hogy az egyes bányaterekben milyen mélységben és hol várhatjuk a legkedvezőtlenebb vagy a legjobb nyomásviszonyokat.

A várható, különböző nagyságrendű vágatigénybevételre vonatkozólag ismeretes, hogy a legkedvezőtlenebb igénybevételek azokban a kőzetrétegekben várhatók, ahol a feltárt közvetlen, vagy a közelben lévő kőzetrétegek törési szilárdsága kisebb, mint a hegynyomás által előidézett feszültség. Ezeken a helyeken a folyós kőzetek konzisztencia-változása az eredetinel nagyobb terhelések előidézője lehet. Így esetekben teljesen zárt falazatú, csak a nehezen

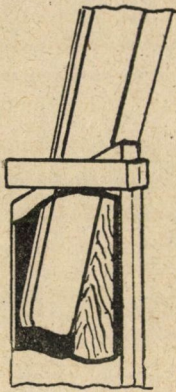


1. ábra. Moll-féle megoldás nagyfokú engedékenység biztosítására

Lényege az, hogy a Moll-ívek sarui alá helyezett, félfából álló talpgerendát törmelékre helyezik. Az egyes ívek vezetését az eléjük helyezett és a vágattalpba süllyesztett sínek végzik, amelyek között a törmelék magasságában gömbfákkal bélelik, hogy ily módon a törmelékét szekrényezzék. A saruk alsó részéhez erősített nyúlványok a harmadik feszkére támaszkodnak, hogy süllyedésnél az egymás fölé helyezett feszkéket e helyen széttolják minek következtében ott rés keletkezik, amelyen a fölös anyag kipereg. A süllyedés mértékének megfelelően lenyomódó alsó feszkék a vezetősín alján lévő nyíláson eltávolíthatók. A törmelék tömörödése a feszkék és a vezetősín között súrlódó erőt létesít, ami azután a terhelésnek megfelelő egyenletes süllyedést biztosítja. A talpgerendának a törmelékfalra való lesüllyedése után a vezető sínek eltávolíthatók. Nagynyomású bányáinkban, pl. a liasz-bányászásban famegtakarítást jelenthet e megoldás alkalmazása.

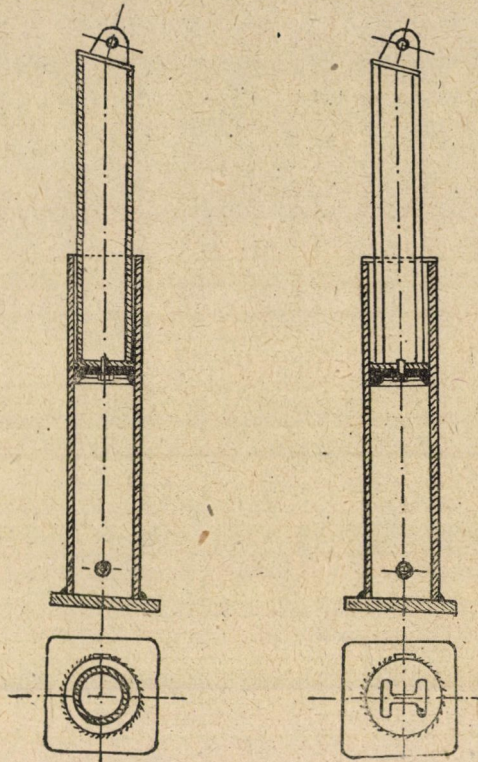
leküzdhető, vagy kedvezőbb feszültségi állapotokat előidéző alakváltozásnak megfelelő engedékenységi biztosítási módot kell alkalmazni. Pl. vízdús, folyós kőzetrétegeknél, száraz, kohézió nélküli homokoknál.

Az első alakváltozás kiegyensúlyozását a falazat mögött képlékeny homokos anyagból álló döngöléssel lehet elérni. A homok tömörödése ugyanis a kőzetrétegek hatalmas nyomásával együttjáró alakváltozását és a kőzetrétegekben



2. ábra. Usspurwies-féle engedékeny biztosítás

E megoldási módnál I tartókból készített ívek alsó szár részét szekrény-szerűen kiképzett tokba helyezik. Az engedékenységet részben a belső oldalon elhelyezett faék, részben pedig a szár vég és a tok közötti súrlódás szabályozza. Előnye, hogy oldalirányú nyomással szemben is engedékenységet biztosít



3. ábra. Wiemann-féle engedékeny támasz

Moll- és egyéb ívek alátámasztására készült, a jelenlegi fatámok és szekrények helyett. Lényege, hogy a dugattyú-szerűen mozgó felső részt befogadó csőbe plasztikus anyagot helyeznek, mely a tám összenyomódásakor fék gyanánt szolgál. A cső alsó részén lévő lyukkal, melyen keresztül a képlékeny anyag kipréselődik, az engedékenység szabályozható

uralkodó feszültségek csökkenését lehetővé teszi, az anyag kifolyását pedig a zárt falazattal együttesen megátolja.

Képlékeny és kisebb szilárdságú, ridegebb kőzetrétegek esetén, amelyeknél a nyomás kifejlődésének időtartama hosszú, engedékeny biztosítást kell alkalmazni (1., 2. és 3. ábra). Természetesen engedékeny biztosítás esetén a kitérésí szelvényt a szükséges vágatszélvélynél nagyobbra méretezzük, hogy ezáltal a

vágat rendeltetésének megfelelő szelvényméret az elmozdulási folyamatok alatt és azok megszűnése után is meglegyen.

Előfordul olyan eset is, különösen a hazai mostohább viszonyok mellett, hogy a nagymérvű elmozdulásokat sem nagyobb szelvény kiképzésével, sem pedig a jelenleg rendelkezésre álló biztosító-szerkezetekkel gazdaságosan leküzdeni nem lehet. Ebben az esetben más biztosítási módhoz kell folyamodni. Ilyen eset pl. képlékeny agyagrétegeknél fordul elő, melyeknek kinyomódása, elmozdulása nagy távolságra (35—40, sőt 70 m) terjed.

Ilyen közetekben, vagy azok környékén hajtott vágatoknál legcélravezetőbb a lassú folyamatú mozgások meggyorsítása. A közetrétegek hirtelenebb összetöredezésével rövid idő alatt új egyensúlyi helyzetet alakítunk ki olyan módon, hogy abban már a létesítendő vágat bent legyen. Igaz ugyan, hogy ezáltal a vágatot esetleg többszörösen igen erősen igénybevéve deformáljuk, összeroncsooljuk, azonban a megnyugvás időtényezőjét a minimumra csökkentjük, a vágat későbbi állékonyságát pedig biztosítjuk. A vágat környékén ugyanis ezáltal hegnyomást felfogó védőöv alakul ki, mely a távolabbi, folyton kisebb terheléseket jórészt felfogja és azoknak hatását csökkentett mértékben közvetíti a vágatra.

Ilyen esetben engedékeny biztosítást és a hirtelen ható dinamikai terheléseket lefékező tömedékfalat kell alkalmazni. Képlékeny közetrétegek környékén, vagy igen kis szilárdságú, esetleg folyós széntelepekben a vágat kétoldalán a közetréteg vastagságától és dőlésétől függően 4—8 m szélesen a telepet kifejttjük és a kifejttet üreget betömedékeljük. Magát a vágatot engedékeny szerkezetekkel biztosítjuk, oldalait pedig, közepes vastagságú széntelepek esetén, a mellékközetek települési és fizikai tényezőitől függő távolságban elhelyezett meddőanyaggal kitöltött papillékkal és a széntelep-vastagság másfél-kétszeresét kitevő szélességű, tömören épített, száraz falazattal védjük. A száraz falazat mögötti részt betömedékeljük, vagy beomlasztjuk. Duzzadó agyagfekűnél a vágat talpára ható fajlagos nyomást ezáltal csökkentjük. Ennek következtében a duzzadás intenzitása erősen lecsökken, sőt a legtöbb esetben alig észrevehető, minimális értékre redukálódik.

Igen érdekes példát olvashatunk ezzel kapcsolatban a külföldi szaklapokban. A talpduzzadás intenzitását azáltal csökkentik, hogy a széntelepben a vágattal kétoldalán 1—1 csákánynyél hosszának megfelelő mély rést készítenek, majd azt apró szénnel betömedékelik. Ez az eljárás állítólag eredményes.

A vágatok állékonyságának biztosítása érdekében, duzzadó fekűnél határ felé haladó fejtésmód és fejtési rendszer a legmegfelelőbb, mert ezzel a talpduzzadást megszüntetjük, ha a vágatot a víz kedvezőtlen hatásától is megvédjük. E megoldással mind a teljesítmények, mind pedig a termelés jelentősen emelkedik.

Új bányaterek létesítésénél a legkedvezőbb viszonyok ott lesznek, ahol a lazulási mag a legkisebb és kialakulása a legkedvezőbb. Tehát ahol a közvetlen

és a közelben települt kőzetrétegek törési szilárdsága nagyobb azok primérfeszültségénél. Ebben az esetben csak kisebb-nagyobb közettömbleválások lehetségesek. Különösebb, tartósabb nyomásjelenségek nem lépnek fel, hacsak azokat valamely szomszédos bányaművelet távhatása elő nem idézi. Ilyen kőzetrétegekben a biztosítás az üzemi viszonyoknak megfelelően elmaradhat, esetleg torkrétezésre szorítkozhat. A szükséges biztosítás mindjárt végleges kivitelben készülhet, a vágat élettartamának megfelelő megoldással, teljesen merev kivitelben: pl. falazattal, acélívekkel, betonból készült elemekkel stb. A biztosítás megválasztásánál természetesen figyelemmel kell lenni a vágatok környékén létesítendő esetleges bányaműveletek időpontjára és azok távhatására is.

A lértak alapján a lazulási mag kialakulása, így a nyomásviszonyok is, a vágatok körül mind időben, mind pedig térben, rendkívül változó nagyságrenddel, mindenkor a kőzetrétegek települési és fizikai tényezőitől függnék.

Fejtések nyomásviszonyai és a nyomások leküzdésének különféle módjai

A vágatok környékén bizonyos idő múltán kialakul a nyugalmi helyzet, ami a vágatok állékonyságát bizonyos időre biztosítja. Más az eset a fejtéseknél és azok környékén a fejtést kísérő folyosókban. Itt nagy közettömegeket mozgatunk meg és a lefejtett területet, vagy legalábbis annak legnagyobb részét sorsára hagyjuk. A fejtési munkatér ugyanis, naponként rendszerint többméteres sebességgel, állandóan vándorol, a fejtési szélesség pedig, különösen a korszerű fejtésmódoknál és fejtési rendszereknél a legtöbb esetben igen nagy. Természetesen az elmozdulások és azzal kapcsolatos nyomások hasonlóképpen nagymérvűek. Ezért a fejtéseknél a legfontosabb feladat az, hogy a közetmozgások lefolyását, nagyságát irányítsuk és a települési viszonyoknak megfelelően a felhagyott lefejtett területen vezessük le.

A fejtések nyomásviszonyaira vonatkozó elméletek nagy általánosságban 3 csoportba oszthatók, úgymint:

1. boltozat-,
2. lemez- és
3. feszültség-hullám-elmélet.

A három elmélet lényegileg ugyanaz, illetőleg az utóbbiak — véleményem szerint — levezethetők a boltozat-elméletből, mert hiszen annak integráns részét képezik. A lemez-elmélet tulajdonképpen a boltozaton belüli kőzetrétegek egyes részeire terjed ki és az azokra ható terhelést a fődémlemezek igénybevételehez hasonlóan tartja. A feszültség-hullám-elmélet pedig az egyes behajló rétegekben a boltozat áthárított nyomásának a távhatására, valamint a feszültség-hullámok vándorlására és kiterjedésére ad képet. Ez utóbbiak kiterjedését pontos mérésekből kiértékelhetjük.

A fejtési pásztában, a terhelés és a mozgások szempontjából három oldalfelületet állandónak, vagy legalábbis közel állandónak vehetünk. A negyedik oldalfelület azonban kisebb-nagyobb sebességgel állandóan előre vándorol és vele együtt a fellépő nyomások is. A fejtési fronthomlok képezi a vándorló felületet; a fejtés támadóvágata a kiinduló és bizonyos idő múltán egyensúlyba került oldalfelületet, míg a kísérő-vágatokkal lehatárolt, lefejtett részre eső oldalfelületek, ugyanilyen értelemben a másik két, bizonyos idő után nyugalmi-nak vehető oldalfelületet alkotják.

A fejtési tér alapját képező közvetlen fekközvet elmozdulása a munkatérben és annak közvetlen környékén érvényesül a legintenzívebben. Az elmozdulás nagysága a közvetlen és a közeli mélységben települt közetrétegek szilárdsági tényezőinek a függvénye. A fejtés fekkürétegei veszik át ugyanis a fejtési üreg feletti, alátámasztásuktól megfosztott főterétegek áthárított terhelését. Ennek megfelelően elmozdulásuk, alakváltozásuk módja és nagysága az áthárított felületre eső feszültségek függvénye. A zárt térbeni állapot ugyanis megszűnt, tehát a kiegyensúlyozó feszültségek igen nagymértékben lecsökkentek. A közvetlen fekkürétegeknek tehát a fejtési üreg és a vágatok felé kiterjedési lehetőségük van; mozgásukkal a kísérővágatoknak a fejtéshez közel lévő részét terhelik, szűkítik, ami káros jelenséggé jelentkezik. De csökkentik a lefejtett területre eső üreg magasságát is, mert a tömedéket a fedü felé emelik. Viszont a fekkünek a fedü felé való konvergenciája folytán az új nyugalmi helyzet kialakításával, a fejtési üreg eltüntetésével hasznos hatást fejtenek ki. A szén kinyomódásának elősegítésével pedig a jövesztési munkát könnyítik, ha a fővállapok megfelelően nyitottak.

A fejtési fronttal együtt vándorló nyomás — távhatásánál fogva — a fejtés kísérő vágataiban is a nyomásvándorlás jelenségét hozza létre. A vándorló nyomás a fejtési munkatér előtti vágatrészt állandóan erősen igénybe veszi, legtöbbször összetöri, vagy legalábbis deformálja. A jelenségek a fejtés előtti vágatrészekben a fejtéssel együtt és állandó távolságban vándorolnak. A vándorló nyomás állandó távolsága adja a fejtéssel kapcsolatos nyomás távhatását, ami a legtöbb esetben könnyen lemérhető. A távolsági kiterjedés az egyes jól látható deformációkból kiértékelhető. Így pl. agyagos fekkünel a távhatás intenzívebb talpduzzadásban jelentkezik, amelynek mértéke a fejtés front-homlokánál igen tekintélyes, majd onnan szemmel látható határig, a nyomás-változással arányosan csökken.

A fejtésekben és a fejtések környékén fellépő közetrétegmozgásokat szabályozni lehet, sőt kell is, mert ez képezi tulajdonképpen az egész fejtési technika alapját. A közetréteg-mozgások irányítása, levezetése teszi lehetővé a nagyfejtések telepítését, azok rendszerének a kialakítását, gépesítését, valamint az egyes fejtések helyes irányának a megállapítását. A fejtésre ható nyomások, illetve az azokkal kapcsolatos közetmozgások nagyságrendje, térbeni és időbeni lefolyása, a fejtési üreg közvetlen biztosításától és a felhagyott üreg

eltüntetésének módjától függ. A legfontosabb feladat tehát, hogy a biztosítási móddal közel állandó jellegű, de a fejtési munkateret nem veszélyeztető, hanem a munkálatokat elősegítő nyomásjelenségeket idézzünk elő. Ennek egyik módja, hogy a főtértegeket fokozatosan és a fronthomlok előhaladásával párhuzamosan lesüllyesztjük. Ebben az esetben a fejtési üreget idegen meddő-kőzettel, vagy tömedékvágból helyben termelt meddőanyaggal részben, vagy teljesen betömedékeljük, vagy pedig a főtét tömedéket pótló fapillérekkel süllyesztjük.

Folyamatos főtésüllyesztést idéz elő a fejkőzetnek a fejtésbe való kinyomódása, azoknak a közvetlen főtével való érintkezése. Ekkor azonban az elmozdulás mind mélységben, mind síkbeli kiterjedésben nagyobb területre terjed ki. A megnyugvás időtartama ennek következtében jelentősen megnő, mivel a fejtést kitöltő, felemelkedő fejkőzetek folyamatosan csökkenő utánpótlása nagyobb területre kiterjedő távhatás mellett, hosszabb idő alatt következik be.

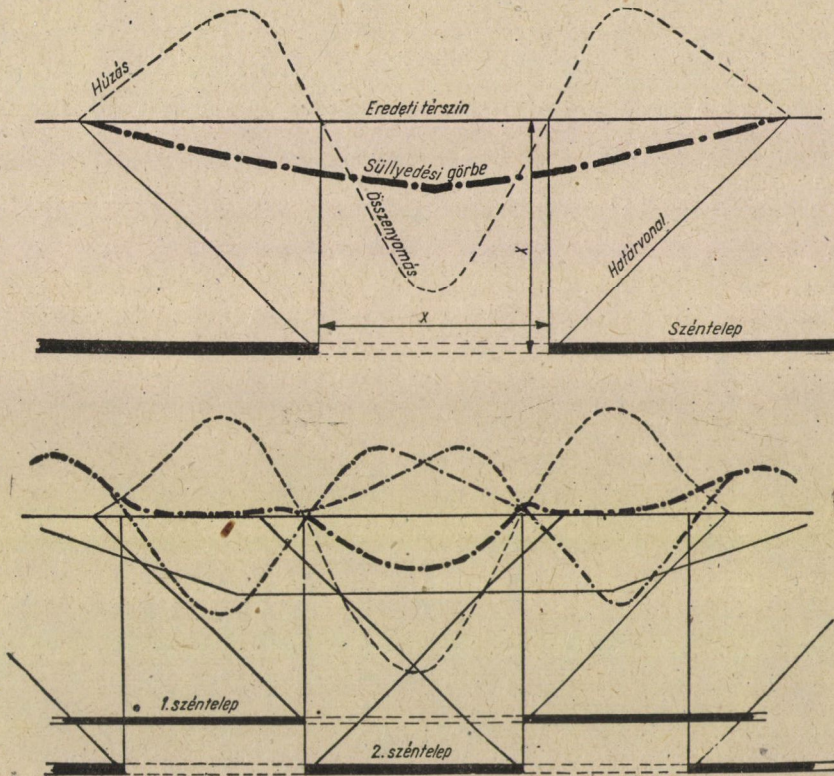
A másik megoldásnál, az omlasztásos tömedékelési módnál, a közvetlen fedőrétegek egy részének elmozdulását hirtelen idézzük elő. A leomló tömegek mennyiségét és az általuk megtett út nagyságát pedig vastag telepeknél a fejtési magassággal és az egyszerre beomlasztandó terület nagyságával szabályozzuk. Középvastag és vékony telepeknél a fejtési magasság adott, mivel az rendszerint a telepvastagsággal egyenlő, így az elmozduló kőzetrétegek tömegének szabályozását csak az egyszerre beomlasztott terület nagyságának változtatásával lehet szabályozni. A közvetlen biztosítóberendezések, a fejtési ácsolatok, pajzsok és az egyenes omlasztási vonalat szabályozó egyéb megoldások, vándorszekrények, sorácsolat, támfacsoport stb. a kőzetmozgás irányítására igen lényeges hatással vannak.

A különböző kőzetmozgás-irányítási módok a széntelep vastagságától és a mellékkőzetek tulajdonságaitól függnek. Ezenfelül a külszín védelme is iránytadó. Igaz ugyan, hogy a külszín védelmét, változó deformációját, különösen többszeletes fejtésmódoknál, az egyes szeletek időrendbeli és távolságbeli eltolásával bizonyos mértékig szabályozni lehet (4. és 5. ábra).

A külszíni műtárgyak megóvását bármely tömedékelési mód esetében úgy lehet a legtökéletesebben megoldani, ha a fejtéseket a megvédendő műtárgyak alatt kezdjük és onnan haladunk az indifferens területek határai felé. Ez vonatkozik egyúttal a megvédendő bányabeli műveletekre és bányaterekre is. Ezáltal ugyanis a fejtési nyomások távhatását, az egyes feszültség-hullámokat a megvédendő területről indifferens területek felé irányítjuk. A törési és határszögek ugyanis a földalatti mélységektől függően, nagyobb távolságban alakulnak ki, illetve a veszélyes repedések kialakulása a fejtési sebesség nagyságától, valamint a fedőrétegek települési és fizikai tulajdonságaitól függően csak később, a fejtés megszűnésekor, a közömbös területen történik. A lefejtett megvédendő terület alatt a süllyedés ilyen módon egyenletes és fokozatosan csökkenő lesz,

úgyhogy a megvédendő épületek, vagy egyéb tárgyak süllyedése olyan lassú folyamatban történik, hogy az építmények nem rongálódnak meg. Ilyen módon több akna védőpillérét sikerült teljesen lefejteti anélkül, hogy az aknában káros deformációk, vagy az akna üzemében bármi fennakadás történt volna.

Omlasztásos tömedékelési módoknál legfontosabb követelmény, hogy a közvetlen fedőt képező kőzetrétegek olyan magasságban legyenek omlasztathatók, amelynél a leomló kőzetrétegek lazulásukkal mind a fejtési, mind az



4. ábra. A külszín deformációja fejtések következtében :

- a) egy telep fejtésénél;
- b) két telepnek egymást bizonyos távolságban követő fejtésénél a húzott és nyomott részek összegeződése. (Webster nyomán.)

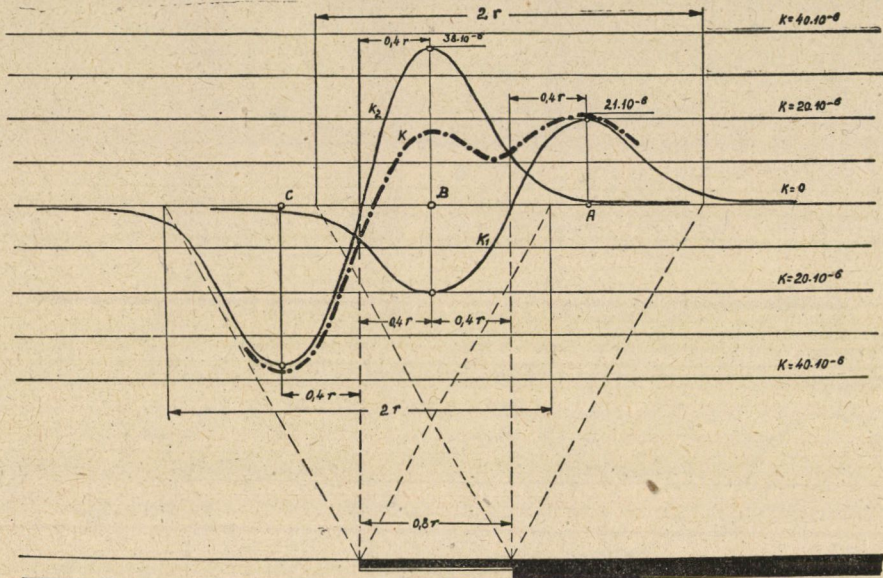
omlasztással keletkező üreget teljesen kitöltik. További követelmény, hogy az állva maradó igen szilárd és vastag kőzetrétegek alatt megfelelő vastagságban omlékony kőzetrétegek legyenek. Ilyen feltételek mellett ugyanis a periódikus nyomásoknak romboló hatásuk nem lesz és a fejtés állékonyságát nem veszélyeztetik.

Nagy általánosságban azt mondhatjuk, hogy a kőzetmozgások irányításának módja elsősorban a közvetlen mellékkőzetek települési és fizikai tényezői-

vel van szoros összefüggésben. A víz-, gáz- és tűzveszély ugyancsak döntően kihat a tömedékeléses biztosítási mód megválasztására.

Az összes bányászati munkálatoknál, különösen pedig a fejtésmódok kiválasztásánál, továbbá az egyes bányaterek biztosításánál legfontosabb követelmény a kőzetmozgások és azok következtében fellépő nyomások legteljesebb ismerete, a törvényszerűségek megismerése.

A különböző lazulási zónák fedüben és feküben való kiterjedésére, vándorlására, továbbá a fejtési előhaladási sebességgel kapcsolatos nagyságára a Labasse-



5. ábra. A külszín deformációja többszeletes fejtés esetén

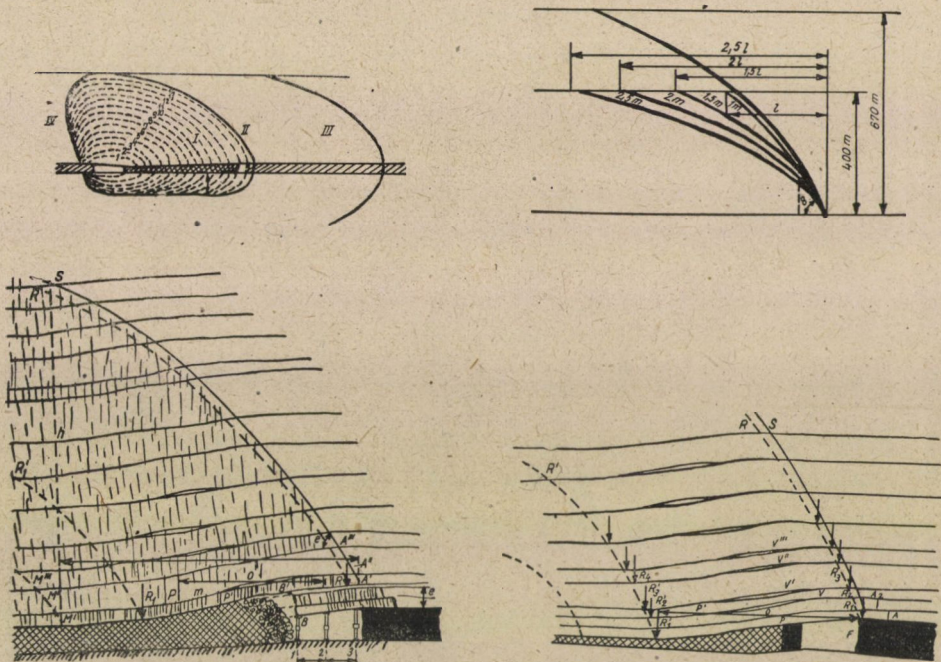
A húzott és nyomott részek összegeződése, egymást bizonyos távolságban követő szeletfejtések esetén. (Knothe szerint. Pzreglad Gorniczy 1951. év, 10. szám.)

féle elmélet mutat rá (6. ábra). *Patteisky* elmélete a fedüben és feküben való közvetlen fejtési lazulást egyenlőnek veszi fel és a gázlecsapolással, valamint a kinyert gáz százalékos változásával kapcsolatban a lazulási övek nagyobb mélységben és nagyobb magasságban történő távhatására is rámutat. *Dr. Spackeler* számos tanulmányában, amelyekre a szovjet irodalom is utal, a fejtések körüli nyomásjelenségeket és ennek következtében keletkező különböző nagyságú gázfejlődést a boltozatelméletre és a feszültség hullámok kialakulására vezeti vissza.

Az igen kiváló magyar nyomáselméletek, mint a *Griegercsik*-, az *Esztó*- és a *Dr. Janicsék*-féle, olyan alapelméleteket adnak a bányászatnak, amelyek továbbfejlesztve lehetővé fogják tenni a gazdaságilag is olyan fontos kérdés mielőbbi megoldását.

A fejtésekkel és egyéb bányaterekkel kapcsolatos mozgásjelenségek, nyomások, különösen a nyomásvándorlás, a távhatás ismerete a korszerű biztosításokkal kapcsolatban elengedhetetlen feltétel, mert csak ilyen módon lehet megfelelő biztosító-berendezéseket megfelelő helyre és kellő időben beépíteni.

Az elterjedt nyomásméletek a fejtés távhatásának általánosan használható meghatározására módot nem adnak, annak csak az alapelveit nyújtják. A Dr Janicssek-féle nyomásmélet gyakorlatilag a legjobban közelíti meg a



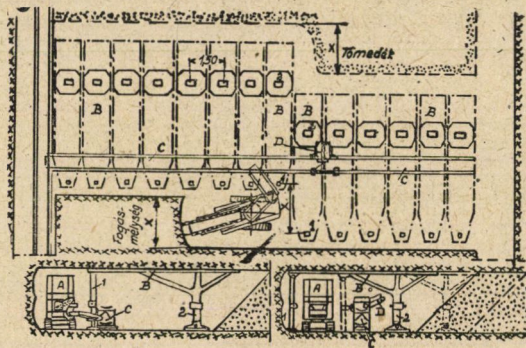
6. ábra. A kőzetmozgás lefolyása Labasse elmélete szerint

- a) A frontfejtés előrehaladásával kapcsolatosan kialakuló és nagyobbodó lazulási zóna:
- I. fellazult rész, a legkisebb feszültségű zóna;
 - II. a legnagyobb feszültségű zóna;
 - III. a távhatás zónája;
 - IV. a megnyugodott rész öve.
- b) A lazulási zóna kialakulása a napi frontsebesség függvényében.
- c) A megnyugodott és fellazult övek kialakulása omlasztásos frontfejtésnél.
- d) A megnyugodott és fellazult övek kialakulása teljes tömedékelésű frontfejtésnél. (Bramat és Kuhn nyomán.)

valósággot abban az esetben, ha annak a homogén kőzetrétegekre vonatkozó megállapításait csak az egyes kőzetrétegekre alkalmazzuk. Az egyes kőzetrétegekben kialakuló lazulási felületeket határoló burkoló felület adja meg a nyugalmi helyzetben maradó kőzetrétegeösszletnek a határfelületét és különböző mélységben a helyzetét. Ennek ismerete, különösen a korszerű bányaművelésnél, döntő jelentőségű.

A fejtések korszerű biztosítóberendezései

Szénbányászatunkban a mellékközet-viszonyok általában kedvezőtlenek, mert a közvetlen fedőrétegek szilárdsága alacsony; ugyanúgy legtöbb esetben a közvetlen fekü teherbírása is. Korszerű biztosítóberendezéseknél e tényt kell legelsősorban figyelembevenni, különösen azon cél érdekében, hogy fejtéseinket tömegtermelésre alkalmassá tegyük. Összpontosított telepítésű nagyfejtések rendszerénél a fedőterhelések általában nagyok, az egyes kőzetrétegek igénybevétele ugyancsak igen jelentős. Ezeknél a fejtés állékonyságának a biztosítása elsőrendű fontosságú. A folyamatos és tömeges elszállítást biztosító munkamenet elengedhetetlen. Ezért a korszerű biztosító berendezések közül olyanokat kell kiválasztanunk, amelyek a fenti feltételeket kielégítve, a gépi jövesztést és egyéb mechanikus mellékmunkálatokat lehetővé teszik, azonfelül a legcsekélyebb fafelhasználást igénylik, szerkezetük pedig egyszerű és olcsó.



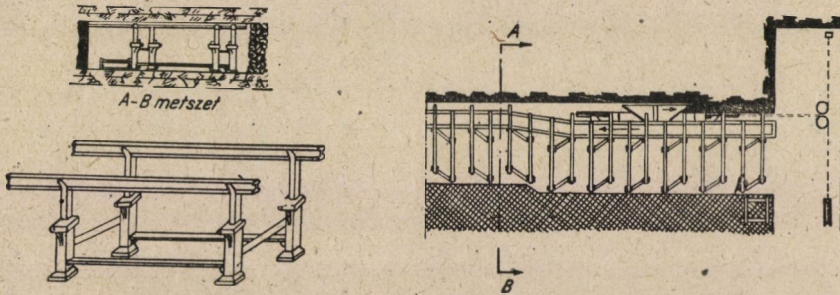
7. ábra. Thor-féle biztosítás

Külföldön kétféle közvetlen fejtés-biztosító szerkezet terjedt el. Ezek közül az egyik a Szovjetunióban kifejlesztett és elterjedt pajzsos biztosítás, a másik pedig főképpen a nyugati államokban használatos acéltám- és csuklós süvegbiztosítás. Mindkét biztosító-berendezés különféle megoldásai a folyamatos biztosítás megoldását célozzák. A vándorpajzsos típusok emellett a gépesített megoldásra is nagy igyekezettel törekuszenek. A mechanikusan előremozgatható biztosítási rendszerek szerkesztése, sőt már a kikísérletezése is folyamatban van. Ezekre azonban ezidőszert közelebbi adataink nincsenek.

A vándorpajzsos biztosítást legelőször az $55-70^\circ$ közötti szabályos kifejlődésű meredek telepekben alkalmazták, Csikanál professzor elgondolása alapján, talppásztás művelési móddal. Majd a Szovjet Tudományos Intézet, a »VUGI« dolgozott ki hasonló elven alapuló pajzsos védelem alatt történő fejtésmódot, amelynél, ugyancsak vastag telepekben, az előrehaladás alulról felfelé, főtépasztásterüen történik. A kedvező eredményeken felbuzdulva a pajzsos

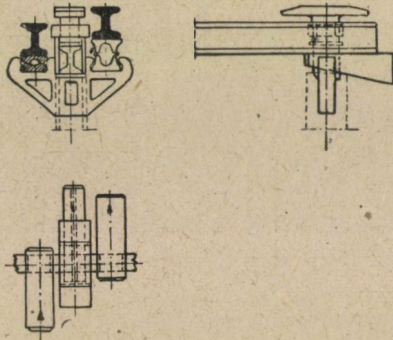
jövesztési módokat tovább fejlesztették és eredményesen vezették be a félmeredek, valamint a közepes dőlésű, sőt a szintes telepeken is. Az utóbbi megoldásoknál a védőpajzsokat egyéb támasztószervezetekkel kombinálják, hogy a biztosítószervezetek előremozgatása lehetségessé váljék.

A folyamatos biztosítás megoldására a nyugati államokban is különféle megoldásra törekedtek, amelyek közül megemlíjtük a Thor-féle elgondolást.



8: ábra. Westfalia Lünen—Grimberg vándorbiztosítás szényyalus frontfejtésben
A biztosító szerkezetpárok csapásirányban (a fronthomlokra merőlegesen) mereven vannak kapcsolva, míg dőlésirányban csuklósan. Az előtolás felváltva fél-szerkezetrészenként — a szállítóberendezés előretolásának megfelelően — 0,3, majd 0,6 m.

Ennél a biztosító-szerkezet előrehúzzható, könyöktámokkal védett, nagyterjedelmű, hidraulikusan működtetett oszlopon nyugvó felületből áll, amelynek kihúzott szerkezeti része még külön támmal alátámasztható (7. ábra). E biztosítóberendezéseket, a védőpajzsokhoz hasonlóan, szorosan egymás mellett építik be. Előrevontatásuk csoportonként szakaszosan történik.



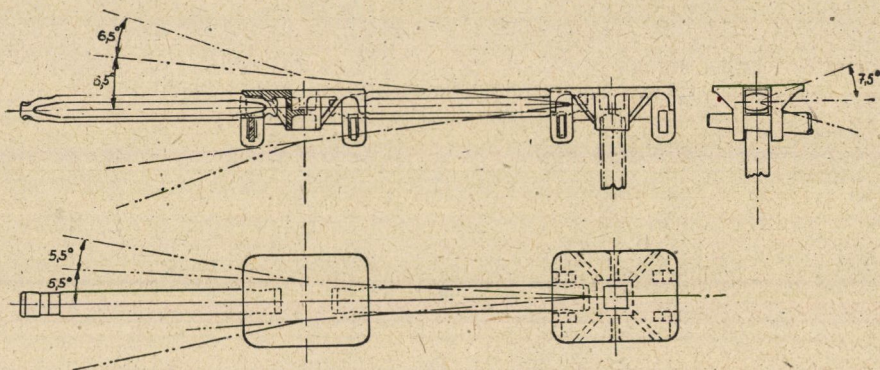
8/a ábra. Párhuzamos süvegek elhelyezésére szolgáló támfej

Ugyanilyen célt szolgál a Westfalia Lünen—Grimberg vándorbiztosítás, továbbá egyes acéltám-típusok olyan fejrészsel, amelyen a süvegek párhuzamos elhelyezésére különféle kiképzés van (8. és 8/a ábra). Ennek megfelelően a párhuzamos süvegek kellő meglazítás után felváltva, előre tolhatók. A fejrész nagyobb felületen gátolja meg a közvetlen fedőréteg elmozdulását.

Közel hasonló megoldást láthatunk a Schubert-féle csuklós süvegeknél, amelyeknél a süveggerendák a fejrészbé kapcsolódnak és a közvetlen főtereteg alátámasztásán kívül az egyes támok egymással való összekötését is szolgálják (9. ábra).

A korszerű csuklós süveges acéltám-megoldások nem biztosítják ugyan a biztosító berendezések mechanikus beépítését és folyamatos előmozgatását, azonban szakaszosan történő beépítésük mellett úgyszólván tökéletesen megoldják a folyamatos és a tömegtermelés lehetőségét.

Szénbányászatunkban mind a pajzsok mind az acéltámok és süvegek használhatósága külön-külön rendkívül korlátozott, mivel kőzeteink, különösen fekkőzeteink általában igen kis szilárdságúak. A kettőnek egymással való kombinációja azonban olyan megoldási lehetőségeket biztosít, amelyeket a hazai frontfejtésekben nagy általánosságban és a legnagyobb biztonsággal használhatunk.



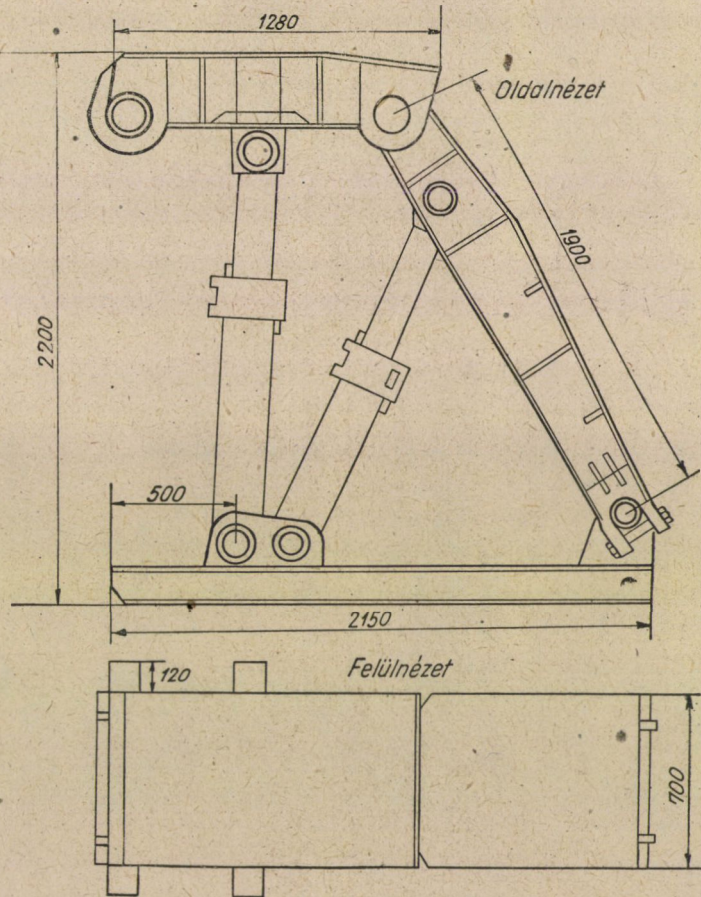
9. ábra. Schubert-féle támfej és csuklós süveg

A Bányászati Kutató Intézet Szénbányászati Osztálya ezt a megoldást választotta az Intézetben szerkesztett új pajzsnál. A pajzsos biztosítás alap gondolatát a Petrozsényből hozott szovjet típusú szerkezet szolgáltatta, azonban azt hazai kőzetviszonyainknak megfelelően átalakítottuk. Használata csuklós süvegek és acéltámok alkalmazását követeli meg.

E megoldással a pajzsos és az acéltámos csuklós süvegek előnyeit együtt használnánk ki oly módon, hogy a védőpajzsok töltenék be a vándorszekrények szerepét, míg az acéltámos csuklós süvegek a pajzsoknak feszültségmentes előretolását és a támentes fronthomlokot biztosítanák.

A fenti elgondoláson kívül a Bányászati Kutató Intézet védőpajzsával a pajzsos jövesztés azon hátrányait is kiküszöböljük, hogy az omlasztás után meglazult fedüközetrétegek a fejtési munkatérbe beomolhassanak. Ezenkívül a korszerű biztosítóberendezés különféle és kedvezőtlen kőzetviszonyok mellett is teljes biztonsággal megállja a helyét.

A pajzs előtti omlás megakadályozását célozza a fedéllemez vízszintes részének a lefejtett üreg felé való meghosszabbítása. Ezzel az omlasztási vonal a fronthomloktól hátrább képződik ki. A be nem omlasztott közetrétegek biztos és mozdulatlan felfekvést nyernek a védőpajzsok fedéllemezén és az omlasztási vonal kialakítását is célzó acéltámokon, illetve csuklós süvegeken.

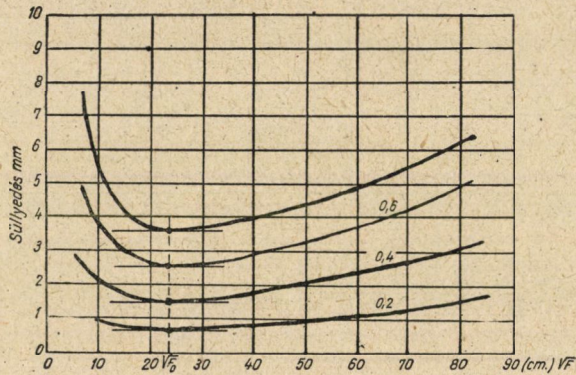


10. ábra. A Bányászati Kutató Intézet pajzsmegoldása

Az egyes pajzsok feszültségmentes előtolása a szomszédos pajzsok, továbbá a csuklós süvegek védelme alatt nemcsak a munkakönnyítés és a biztonság célját szolgálja, hanem a csuklós süvegek további előtűzését is lehetővé teszi. Ennek következtében a támmentes fronthomlok kialakul annak minden előnyével együtt. Feszültségmentes előtolásuk a súlyos és nagyteljesítményű páncélkeretes vonszolók folyamatos előtolását is biztosítja üzem közben és ennek megfelelően a folytonos széntermelés lehetőségét is. A támmentes és kellően bebizto-

sított fronthomlok lehetővé teszi a frontfejtés gépesítését, de lehetőséget ad arra is, hogy frontfejtéseinkben olyan gépi jövesztést és rakodást alkalmazzunk, amely a folyamatos és a tömegtermelés mellett viszonylag kicsiny terület nyitva-tartását követeli meg.

A páncélkeretes vonszolón vagy mellette mozgatható oldalrésaros széngyalu ugyancsak biztosítja szénbányászatunk frontfejtéseiben az említett lehetőséget, mivel a fogásmélység csupán 0,5 m, a függőleges rés kialakítása pedig a boltozati nyomás által megglazított és legkedvezőbb zónában történik. A jövesztés alatt álló szénteleprész a legkisebb erőszükséglettel és nagy teljesítménnyel réselhető, a jövesztett szén legnagyobb része pedig közvetlenül a szállítóberendezésre omlik. A gyalu terelő- és felrakó részének a munkája csak a szállítóberendezés körülbelüli magasságával egyező teleprész felszedésére korlátozódik.



11. ábra. A terhelt felület és a süllyedés nagyságának összefüggése agyagtalaj esetén (Press és Kögler kísérletei alapján).

Fokozható a teljesítmény azáltal is, hogy a főtenyomást a vállapok helyes (20–30°-os) nyitásával kihasználjuk. Szívós és kemény szerkezetű szeneknél esetleg ezt a hatást lazító-repesztésekkel fokozzuk.

Kis teherbírású agyagfekü esetén, valamint omlós fedüközethnél e megoldás alkalmazható, mert a csuklós süvegek lehetőséget adnak arra is, hogy a közvetlen főté pajzs előtti részét bélésdeszkázattal, esetleg egyéb fémborítással védjük a beomlás ellen.

A közvetlen agyagfekü, nagyobb felületre elosztott terhelés esetén a felfekvési felület négyzetgyökével arányos süllyesztést enged meg, mint ahogy azt Kögler és Press ilyen irányú talajmechanikai kísérletei (11. ábra) igazolják. Megoldásunknál azonban e kedvezőtlen helyzet a minimumra korlátozódik, mert a felület legnagyobb része védőpajzsokkal van borítva. Ennek megfelelően a kinyomódó feküanyag a pajzsok között a terhelés elől kitérni nem képes, legfeljebb csak a lefejtett és leomlasztott üreg felé nyomódhat fel.

A mintegy 140—150 tonna teherbírásra méretezett pajzsok a 35—40 tonna megengedett terhelésű acéltámokkal együtt közel 200 tonna föte-terhelésig biztosítják a frontfejtés állékonyságát és így nehezebben omlasztható fedürétegek esetén is összehasonlíthatatlanul jobbak jelenlegi faácsolatainknál. A nagy teherbírás a pajzsok élettartamának növelését célozza és ha nem is zárja ki teljesen azok deformációját, de azt a legnagyobb mértékben csökkenti. A nagy teherbírás azért is szükséges hogy a mozgásban lévő fedürétegek dinamikai nyomását, az esetleg nagy tömegben leváló fedü-tömbök kiszámíthatatlan terhelését a pajzs kibírja.

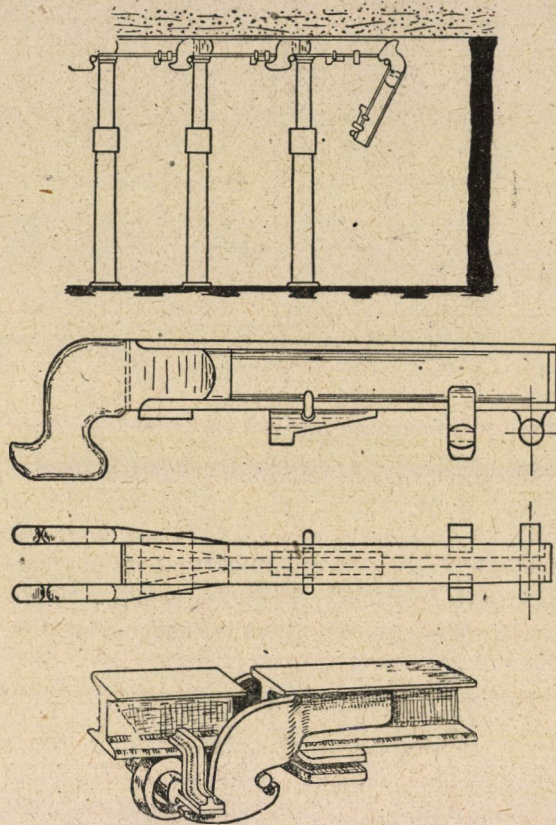
A pajzsok előretolása, az oldalrészkaros széngyalu fogásmélységének megfelelően, kis távolságokra történik, ami a munkaszervezés miatt talán hátrányos, azonban a későbbi megoldásoknál ez a hátrány is kiküszöbölhető, ha a pajzsokat tartó táмок hidraulikusak lesznek és ilyen módon hidraulikus vagy pneumatikus előtolással együtt a mozgásuk gépesíthető. A csuklós süvegek és táмок be- és kiépítése azonban továbbra is mechanizálatlanul történne. A beépítés időtartamát csökkenteni, az átépítés munkáját pedig könnyíteni lehet hidraulikus táмокkal.

A széngyalu teljesítményének optimálisan megfelelő frontszélesség páncélkeretes vonzóoló használata mellett fokozható és így több gyalu egyidőben való használata lehetséges. Ezzel a nehezen omló fedürétegek omlasztási lehetőségei is kedvezőbbek lesznek. A frontszélesség növelése ugyanis kedvezőtlenebb fedüközetviszonyok mellett is növeli az omlaszthatóságot. A nagyobb boltozati nyomásból eredő közetfeszültségek ugyanis nehezen omló közetrétegekben könnyebben elérik szilárdságuk határát és beomlanak.

Szélesebb fronthomlok, vagyis nagyobb feszítávolság esetén az oldalak és a fronthomlok felől kinyúló konzolszerű, be nem omlott fedüközetrész a fejtés szélességéhez viszonyítva kisebb lesz. A szilárd, nem omló, vagy nehezen omló, megnövelt feszítávolságú közettömeg hajlítási igénybevétele teherbírásánál nagyobb lesz, tehát leszakad. Ezáltal a frontfejtésben és a kísérővágatokban is a nyomásviszonyok kedvezőbben alakulnak. A kísérővágatok környékére ható boltozati terhelésből eredő felületi nyomás ugyanis kisebb lesz és állandó értékű marad. A frontfejtésben és ikresítés esetén annak szállítóvágatán is csökken a nyomás, mert a fejtés biztosító-berendezéseire közvetlen terhelést kifejtő vastag és szilárd réteg nyomatóéki karja a beomlás folytán lecsökken. A kinyúló részek áthárított terhelése a frontfejtés jórészen egyenletesebb, de nagyobb értékű, mint a frontfejtés két szélén és kísérővágataiban.

Olyan közetviszonyoknál és egyéb települési adottságoknál, ahol a közvetlen fedürétegek folyamatos és egyenletes süllyesztése szükséges, a pajzsos-biztosítás lehetővé teszi ennek a feltételnek a kielégítését is. Teljes tömedékelés, vagy tömedékbordák húzása a pajzsok védelme alatt jól megoldható. Készítésük gépesítést kíván, mégpedig fúvott, vagy röpitett, esetleg vegyes megoldással.

Kedvező közetviszonyok mellett a korszerű acéltámok és a nagy teherbírású, acélból vagy könnyűfémből készült, kis munkaerőszükséglettel beépíthető csuklós süvegek (12. 13. és 14. sz. ábra) pajzsok nélkül is biztosítják a tömegtermelést, a jövesztés és a rakodás gépesítését. Szénbányászatunkban azonban ez a lehetőség eléggé alárendelt.

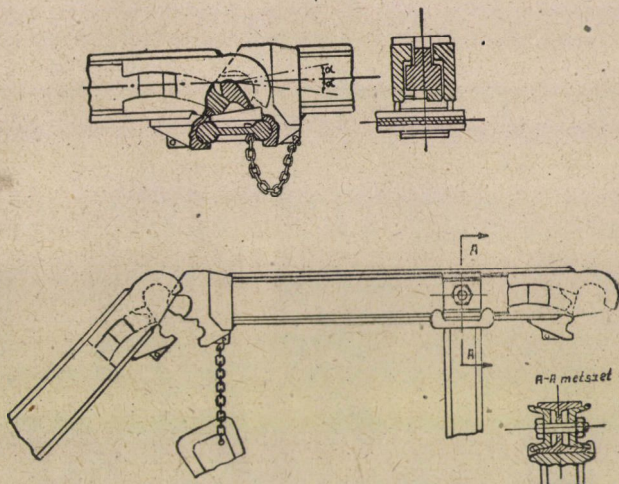


12. ábra. Ruhl—Reppel-féle süveg, ékes vagy excenteres gyűrűs kapcsolással

A korszerű acéltámok, ha a csavaros megoldásokat figyelmen kívül hagyjuk, két csoportra oszthatók, úgymint az ékes és a hidraulikus megoldásokra. Az ékes megoldásoknál lényeges követelmény, hogy a támok egész kis, 50—60 mm összenyomódás mellett vegyék fel a megengedett maximális terhelést és azt 200—250 mm-ig terjedő lassú összenyomódással egyenletesen vezessék le. Ez az ékes támok egyik kiviteli megoldása (15., 16., 17., 18., 19. és 20. sz. ábra). A másik megoldásnál a támok a megengedett kismérvű összenyomódás után felvett terhelés növekedésével arányosan tolnak össze, körülbelül a fentebb megadott értékig anélkül, hogy a törés veszélyének ki lennének téve (21., 22., 23. és 24. sz. ábra).

Egyes típusoknál a főte nagyobb felületű alátámasztására törekszenek, hogy ezáltal a süvegek igénybevételét kedvezőbbé tegyék. (Schubert, Winterschlag és a többi megoldások, 25. sz. ábra.) Kemény és vastagabb kifejlődésű közvetlen fedürétegeknél ez a megoldás kedvező eredményeket biztosít. Törékeny fedüközeteknél javítja ugyan a csuklós süvegek igénybevételét, azonban a nyomásviszonyok kedvezőbb kialakulását nem oldja meg, minthogy a közvetlen főte összetöredezik és ennek következtében kisebb-nagyobb mértékben elmozdul. Omlasztásos frontfejtésekben az omlasztási vonal helyes kialakítását a nagy támfejek elősegítik.

A kérdés most már az, hogy a különböző engedékenységu támokat hol és mikor lehet alkalmazni. Folyamatos fõtesüllyesztésnél engedékenyebb

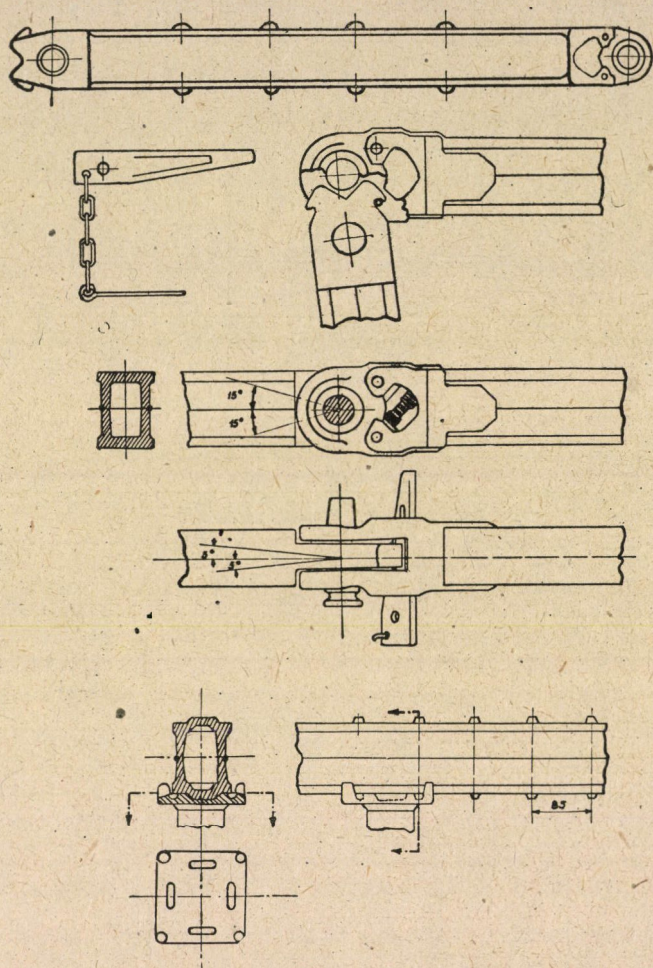


13. ábra. Gerlach-féle csuklós süveg,
1949. évi modell

támokat kell alkalmaznunk, hogy a főte és a talp között bizonyos mértékű, de nem káros konvergenciát már a fejtési munkatérben biztosítsunk. Ebben az esetben tehát olyan támokat célszerű alkalmazni, amelyek a megengedett maximális terhelést kis összenyomódás mellett rövid idő alatt felveszik és további süllyedésük — a megengedett határig — állandó terhelés mellett történik.

Olyan fejtésekben, ahol az omlasztási lehetőségek megvannak, a fejtésnek mozdulatlanul, szinte mereven tartása kívánatos és indokolt, hogy a magasabb fedürétegek terhelése a munkatér feletti leomlasztandó közetrétegeket idő előtt meg ne törje. Az idő előtti törés ugyanis a fejtésben nagy nyomást, a fejtési homlok előtt pedig kedvezőtlenebb, nagyobb területre kiterjedő távhatást okoz. Ilyen fejtésekben a merev támtípusokat alkalmazzák, továbbá azokat a megoldásokat, amelyek a megengedett igénybevétel elérése után fokozódó terhelés felvétele mellett végzik további süllyedésüket.

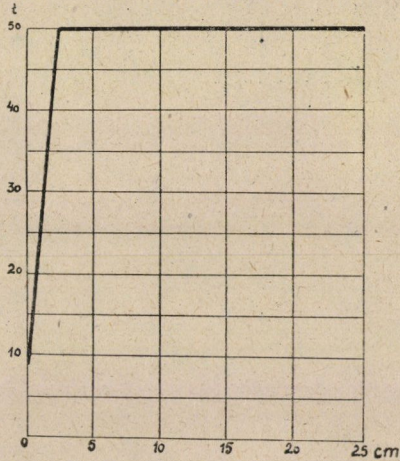
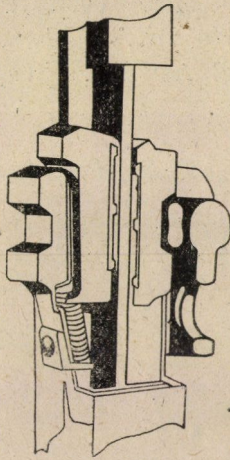
Omlasztásos frontfejtéseknél a gyenge feküviszonyok a fejtésnek mozdulatlanul tartását nem teszik lehetővé, ennek következtében a fejtésben a nyomásviszonyok kedvezőtlenebbek. Ilyen körülmények között tanácsosabb a főtét fokozatosan süllyeszteni és a süllyedő főté terhelését nagyobb felületre elosztani, hogy ezáltal a munkatér igénybevételét csökkentjük. Az acéltámas csuklós



14. ábra. Groetschel-féle csuklós süveg

süvegekkel kombinált pajzsos biztosítás ilyen esetekben is lehetővé teszi az omlasztásos frontfejtés sikeres alkalmazását. E biztosító-szerkezetnél ugyanis a munkatér szélessége a legkisebb mértékre redukálódik és ennek következtében a munkatérre ható közvetlen főtérhelés csökken.

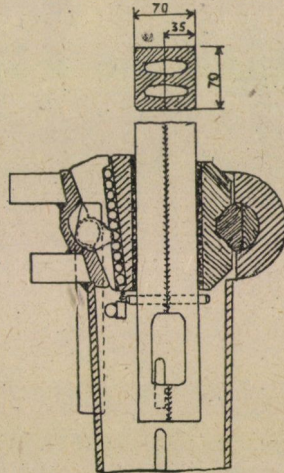
A frontfejtések biztosításánál az agyagos és kis szilárdságú feküközvetek okozzák a legnagyobb nehézséget. A táмок a fekübe könnyen benyomódnak,



15. ábra. Schwartz-féle univerzális acéltám

A servo-támok jellegzetes típusa, melynél a megengedett maximális terhelésvételig való összcúsúzást a vonszolt segédék szerkezetiileg megszabott pályája biztosítja, a további csúsúzást pedig — a megengedett maximális terhelésnek állandó értéken való tartása mellett — az érintkező felületek surlódási ellenállása határozza meg.

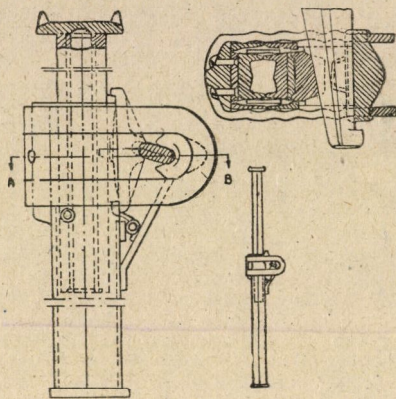
A Schwarz-féle univerzális támnál a vonszolt ék biztos csúszását rozsdamentes anyagból készült megmunkált lemezek biztosítják, az éknek — támrablás után — eredeti helyzetébe való visszanyomását pedig az alatta beépített spirálrúgó végzi. A vonszolt éken lévő ütközőnyúlványok és a zárókengyel megfelelően kiképzett része közötti hosszkülönbség az ékpálya hosszát, vagyis a teljes terhelés-felvételig történő támrövidülést adja meg. A tám munkadiagramja a jellegzetes terhelési és süllyedési adatokat mutatja



15/a ábra. Radbod-tám

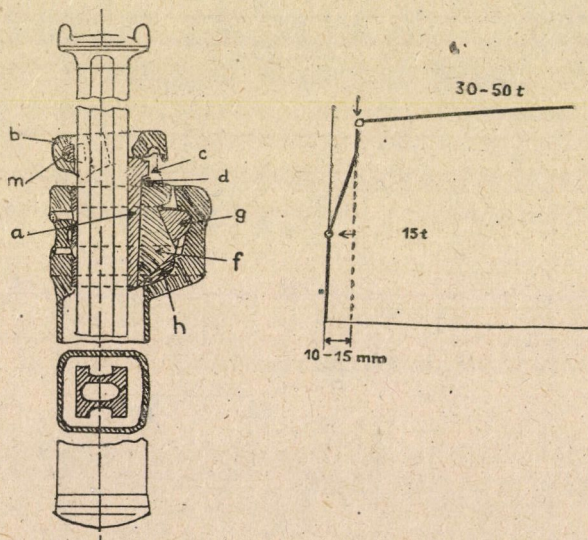
A servótámok jellegzetes típusa, melynél a vonszolt ék görgőkön nyugszik. Ezáltal az ék biztos csúsztatása, mely a servótámok egyik leglényegesebb követelménye, biztosított van. A tám oldása ezáltal igen könnyű és fokozatos is lehet.

a főterégeket idő előtt süllyeszti és ezáltal kedvezőtlen nyomásviszonyokat idéznek elő, visszanyerésük pedig nagyobb nehézségekkel jár. A vándorszekrények segítenek ugyan ezen a helyzeten, de ilyen viszonyok mellett a fejtés állékony-



16. ábra. Becorit-tám

A záró kereszt-ék egyik oldalával a vonszolt éknek támaszkodik és a vonszolt ék csúszásának megfelelően elfordul és megfeszül. A vonszolt ék biztos csúszását a tám mozgó, felső részén keményfémből készült hegesztett varratok biztosítják



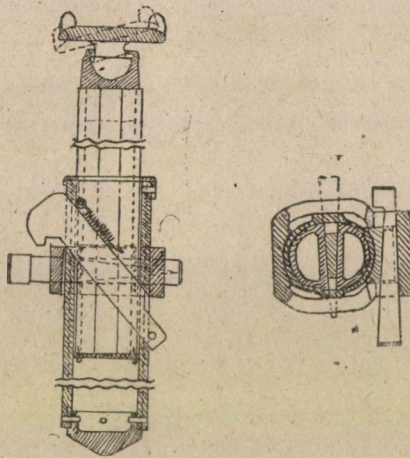
17. ábra. Gerlach-tám; 1950. évi modell.

A támnál a záró kereszték (g) egyik oldalával az (f) betétre támaszkodik. A betét és a mozgó támrész között van az (a) vonszolt ék, amelynek csúszását a (b) állítógyűrű biztosítja. A (c) állítóék a beépítésnél történő megfeszítésen kívül a vonszolt éknek kiindulási helyére való beállítását is végzi. A tám 30–50 t teherfelvétellel állítható be. A zár és tám között a beépítés alatti káros elmozdulás megakadályozását a legömbölyített (h) alátét és a (g) záróék hengeres felfekvése biztosítja.

ságát a teljes, vagy részleges tömedékelés biztosítja leginkább. A pajzsos biztosítás, amint azokról az előzőkben megemlékeztünk, ilyen esetekben is előreláthatólag kedvező megoldást fog eredményezni.

Gyenge fekü és fedü esetén a haladópásztás fejtési rendszerek vezetnek sikerre.

Kis fejtésekkel, koncentrált telepítés mellett, nagy terheléseket hárítunk át a környező közetrégekre. A közel lévő szénpillérek igen erős igénybevételt szenvednek s bennük nagy nyomáshalmozódás lép fel, mert teherbírásuk kisebb a rájuk ható áthárított fedütherhelésnél. Ezt még fokozza a feküretek elmozdulása is, aminek következtében a fejtés-környéki vágatok erős nyomásba



18. ábra. Alco 2 jelű könnyűfém-tám

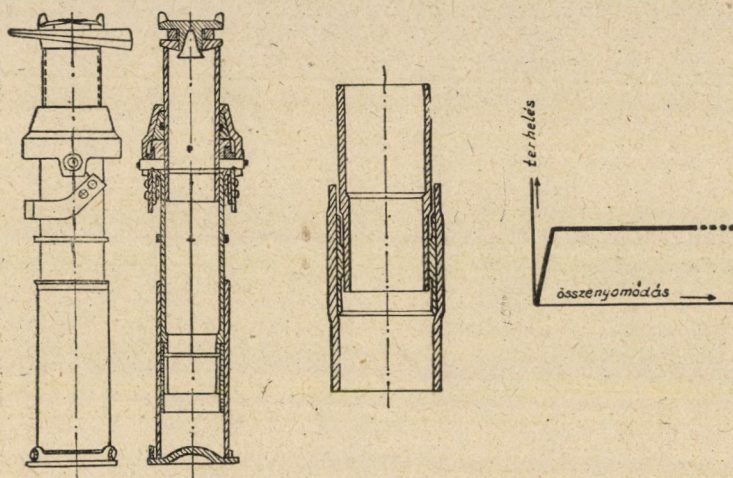
A tám teherbírása kb. 30 mm-es összenyomódásnál 25–35 t; félmeredek és lapos településnél jól bevált. A vonszolt ék a kétrészes belső támon lejtősen keresztülnyúlik, amely a külső támrészbe való benyomódásakor az éket meghatározott úton magával vonszolja.

kerülnek. Fenntartásuk sok munkát igényel s bennük a szállítás nagy nehézségekkel jár. A kisfejtésekkel kapcsolatos tetemes mérvű elővájás is rontja a produktív teljesítményt, ezenfelül még a későbbi nyomásba került vágatok karbantartása is sok műszakot von el a szelőlő munkától. További hátrányuk, hogy biztosításukhoz korszerű berendezések nem használhatók.

Kis szilárdságú, különösen plasztikus mellékközetek mellett tehát frontfejtések telepítésére kell törekednünk, mert ilyen módon a pillérosztás mérve leredukálódik, a fenntartást igénylő vágatok száma kevesebb lesz, azoknak egymásra való távhatása csökken, sőt, széles frontfejtéseknél, látható módon egyáltalán nem érvényesül. Az egyes vágatok nagy szelvényben képezhetők ki, miáltal már az elővájási teljesítmény is nő, a gépesítésük könnyebben megoldható, az akadálytalan tömegszállítás pedig biztosítva van. Biztosításuk a frontfejtés környékén, ahol a távhatás észrevehető, engedékeny támokkal,

vagy könnyen beépíthető acélívekkel történhet. Ezekkel a felesleges anyagrongálódást elkerülhetjük, és a fenntartás is kisebb méretű lesz.

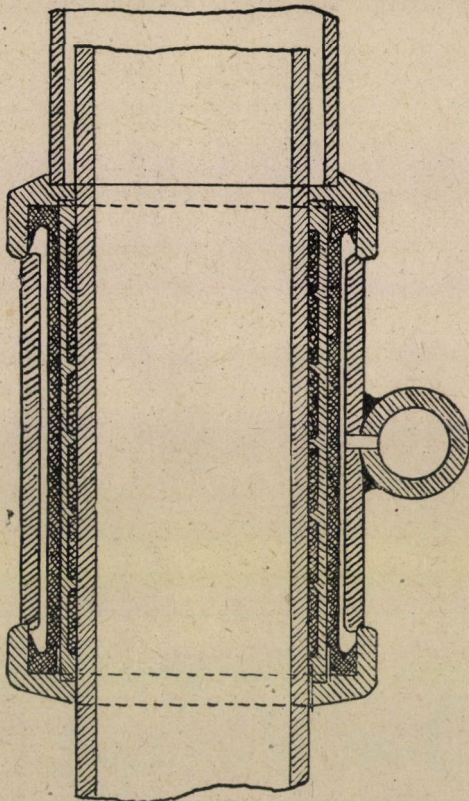
A vágatok irányánál, állékonyságukat, illetve igénybevételüket tekintve, a fővállapok iránya döntő szerepet visz. A vágatiránnyal párhuzamosan húzódó fővállapok a vágat környékén a kőzetrétegek lazulását elősegítik, miáltal a vágatokra ható terhelés idő előtt fokozódik és a mellékközetek tulajdonságaitól függően hosszabb ideig tarthat. A vágat irányára merőlegesen, vagy közel merőlegesen álló fővállapok a vágat állékonyságát növelik, mert a mellékközetek lazulása ebben az esetben nem történhet meg, ha csak azt a kedvezőtlen, pl. plasztikus, mellékközetek kinyomódása elő nem segíti.



19. ábra: Uerdingen-i izodinamikus tám

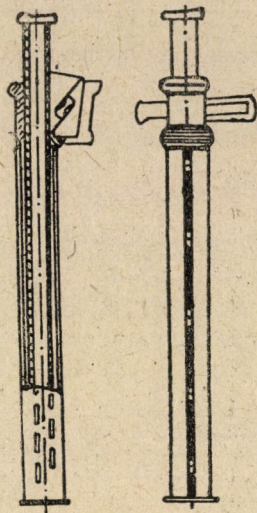
Három egymásba tolódó csőrészből áll. A felső és középső támrész egyszerűbb kivitelű záró szerkezettel van egymással összekapcsolva. Az alsó csőben elhelyezett, kenhető rúgógyűrűk — a súrlódási tényező állandósága mellett — a tám egyenletes összenyomódását biztosítják. A záró rész tulajdonképpen csak a rablást, valamint a beépítőékkel ellátott felső cső kihúzását, majd rögzítését és ezáltal a támnak különböző hosszúságra való beállítását teszi lehetővé. Az alsó csőbe benyomódó középső támrész ugyanis rablás után nem húzható vissza, hanem többszöri használat közben a támrövidülés folytatódik mindaddig, míg a középső csőrészen elhelyezett szorítógyűrű meghatározott útát meg nem tett; ekkor az alsó csövet lecsavarják a középső csőről és megfordítják. Ezután a tám ismét eredeti módon többszöri átépítésnek megfelelő hosszabb időn át végzi munkáját. Teherbírása 45–50 tonna.

A fővállapok iránya és dőlése a frontfejtések állékonysága és a szén jövesztése szempontjából is döntő jelentőségű (26. ábra). A fronthomlok felől a tömedékfal felé dőlő és $20\text{--}30^\circ$ alatt felnyitott fővállapok a főtényomás hasznosítása mellett a széntelep kinyomódását és ennek következtében a jövesztést elősegítik, a munkahely állékonyságát pedig — a vállapos kőzetrészek beékelődése folytán — fokozzák.



20. ábra. Reppel-féle hidraulikus zár

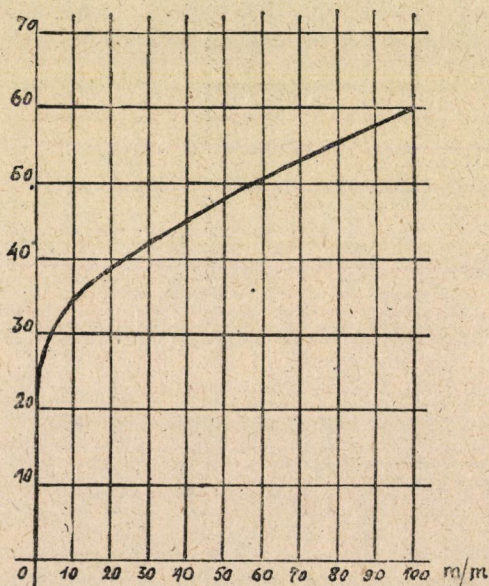
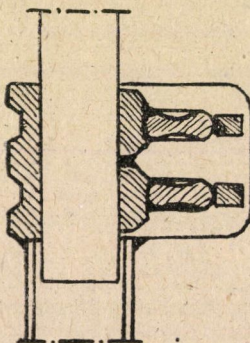
A csőalakú külső és belső támrész egymással való összekapcsolását, valamint a súrlódási erők nagyságát ezen szerkezetnél hidraulikusan oldották meg. A belső csőre nagy súrlódási tényezőjű betétekkel ellátott szegmensek támaszkodnak, amelyek tömítőpersellyel vannak körülveve. A tömített részbe az olajat kézi erővel működtetett csavaros dugattyúval préselik be. A tulajdonképpeni hidraulikus támnál, mint a Dowty-, Wiemann- és a Wanheim-tám, az olajat a belső csőből kis kézi szivattyúval, vagy a Wanheim-támnál sűrített levegővel nyomják egy rúgós szelepen keresztül az alsó csőbe. Az alsó részén megfelelően tömített belső csövet az olajnyomás feszíti a süveghez. A támerhelés megengedett mértékének megfelelő olajnyomás elérésekor az olaj az alsó csőből egy vékony csővezetéken át, automatikusan nyíló szelepen keresztül a belső csőbe áramlik, mire a tám összecusúszik olyan mértékig, hogy a nyomás állandó maradjon. Az automatikusan nyíló és záródó szabályozószelep — kézzel működtetve — a tám rablására is szolgál.



21. ábra. A Szovjet SzGK-2. tám

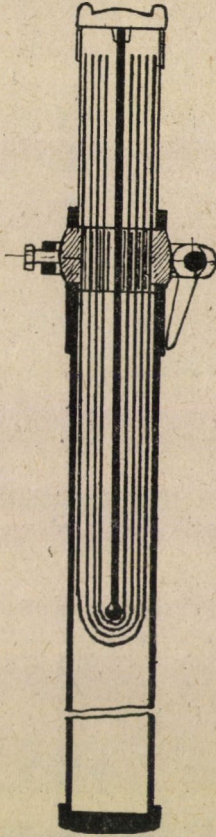
A tám szerkezete 3 ékből áll, amelyek közül 2 függőleges elrendezésű és a tám kihúzható részének felékelésére szolgál, a harmadik – vízszintes ék – a függőleges ékeket egymásba húzza, miáltal a kihúzható rész helyzetét rögzíti.

A tám megengedett terhelése 50 mm-es összenyomódásnál 35 tonna. További 100 mm-es összenyomódás mellett a tám terhelése kb. 60–65 tonnáig fokozódik, de akkor már a tám teherbírásának a határértékét éri el.



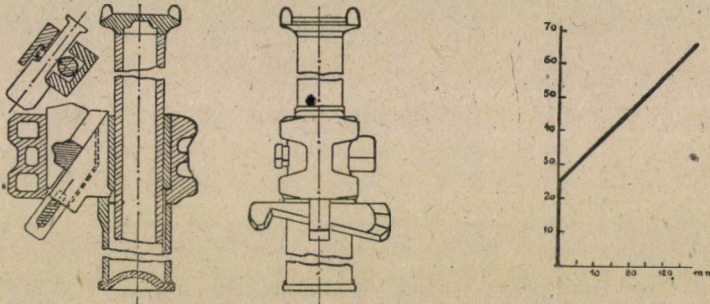
22. ábra. Schmidt-féle S-51. tám

Két'elforduló záró-keresztteles tám, amelynek elve hasonlít a Becorit-támhoz. 25–30 tonna terhelésnek megfelelő előfeszültséggel építhető be, majd közel egyenletes összenyomódás mellett a teherfelvételt mintegy 60 tonnáig fokozódik



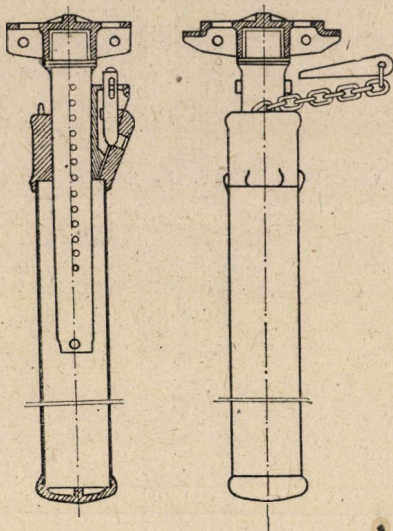
23. ábra. Linden-i lemezes könnyűfém-tám

Jellemzője az egyszerű, kis igénybevételű zárószerszemet, amelyet azáltal értek el, hogy az I keresztmetszetű belső részt négy lemezzel vették körül. Ezáltal 18 súrlódó felületpárt nyertek és a zárószerszemet igen kismérvű igénybevételét érték el. A lemezek húzásra vannak igénybe véve. A tám rablása igen könnyű és fokozatosan is történhet. A zárószerszemet a megkívánt terhelésre, a hátlapon alkalmazott csavarral előre beállítható. A tám teherbírása 30–35 tonna.



24. ábra. GHH acéltám, E jelű modell

A tám jellegzetessége a közel 30 tonna terhelésnek megfelelő előfeszültség, amelyet két keresztiek (a záró- és feszítőék) alkalmazásával, továbbá a csúszólapok megfelelő kezelésével, valamint a belső támhoz szoruló nagy súrlódási tényezőjű betétekkel értek el. A tám karakterisztikáját a munkadiagram mutatja.



25. ábra. Winterslag-tám

A támat teljes merevsége jellemzi, mert engedékenysége 70–80 tonna terhelésnél kb. 10 mm. A fejrész nagy felületű, ami különösen az omlasztási vonal biztosításánál igen nagy jelentőségű. A tám csekély engedékenységét csupán a zárószerszék rugalmas alakváltozása teszi lehetővé.



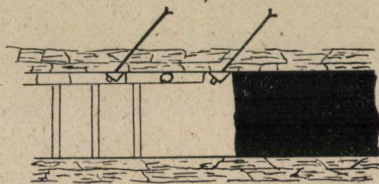
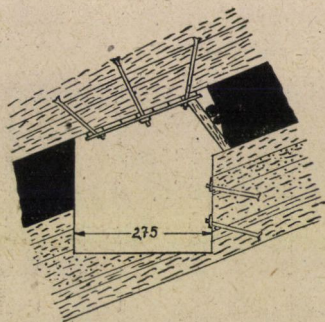
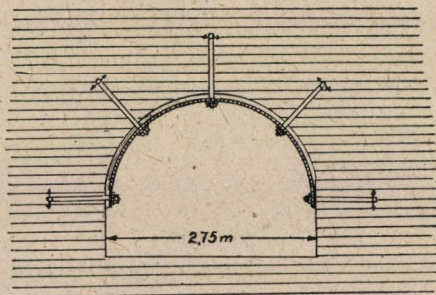
26. ábra. A fővállapok irányának és a fronthomlok előrehaladási irányának a fejtés állékonyságára való hatása

Különleges biztosítási módok

A különleges biztosítási módok közül meg kell említenünk a *főte-felfüggesztéses* eljárást (27. ábra). Lényege a közvetlen, vékonyabb kifejlődésű, kisebb szilárdságú fedürétegeknek a felettük települt nagy szilárdságú, nagy-kiterjedésű közetréteg-komplexumhoz való felerősítése. E biztosítási módnál fontos követelmény, hogy az így biztosított bányaterek környékén más bányaműveletekkel távhatásokat, kedvezőtlen igénybevételeket ne idézzünk elő olyan mértékben, hogy azokkal a szilárd főtét is jelentősebb mértékben igénybe vegyünk.

A főte felfüggesztése azt a célt is szolgálja, hogy azzal több egymás fölé települt, kisebb szilárdságú, vékonyabb kifejlődésű közetréteget egymáshoz kapcsolva, teherbírásukat növeljük, vagyis az egymás közötti összefüggéseiket szorosabbá tesszük.

Fentiek alapján szénbányászatusunkban* a főte-felfüggesztés lehetősége elég korlátolt, az — véleményem szerint — csak egyes helyeken, egymástól nagyobb távolságban lévő vágatokra terjedhet ki, de a fejtés távhatásának körzetében az elmozduló kőzetrétegeket ekkor is külön biztosítással kell alá-támasztani.

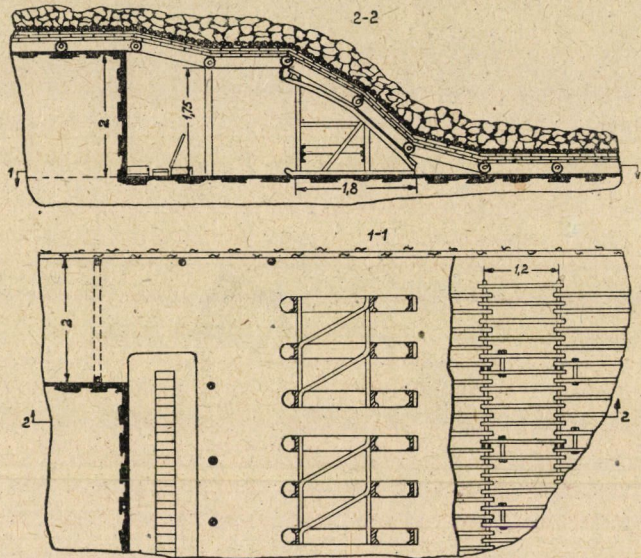


27. ábra. A főte-felfüggesztés különféle alkalmazási lehetősége

Főte-felfüggesztésnél a leváló kőzetrétegek terhelését megfelelő teherbírási felfüggesztő rudakkal könnyen fel lehet fogni. A teherviselő kőzetrétegekben azonban a felfüggesztőrud és a kőzetréteg közötti kapcsolatot már nehezebb úgy elkészíteni, hogy az igénybevett szilárd kőzet rész a rá ható terhelés folytán ki ne szakadjon. Az utóbbi szabja meg a főte-felfüggesztés alkalmazhatósági lehetőségét, a már említett nagyobb kőzetmozgások elkerülésén kívül.

A tengerentúli szénbányászásban, ahol a főtessüllyesztést szénpillérek bent-hagyásával, azok jórészenek feláldozásával oldják meg, ez a biztosítási mód eredményeket adott. A mi szerényebb szénvagyonunk mellett azonban általánosabb használatukra nem gondolhatunk, mert minden eszközzel arra kell törekednünk, hogy a rendelkezésre álló szénkincsünket maradéktalanul kitermeljük. Továbbá vasban szegények vagyunk, a felfüggesztő szerkezetek pedig a felületi elemek, a süveggerendák, nágyrészén kívül vissza nem nyerhetők.

Mint igen érdekes, és nagy jövő előtt álló biztosítást kell megemlítenünk a szovjet Szkorij mérnök biztosítási módját (28. ábra). Ennél vastagabb telepék

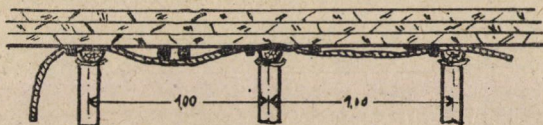


28. ábra. A szovjet Szkorij-féle biztosítási mód

több szeletben való fejtése esetében a talppasztát vasráccsal és efölé helyezett deszka-, vagy gömbfa-borítással fedik le. A mélyebb szelet fejtésénél a lefedés mesterséges főtéül szolgál, úgyhogy az csak alátámasztásra szorul, süveggerendák használata nélkül. Alátámasztó szerkezetül korszerűen kiképzett szántalpas támasztó szerkezetek szolgálnak, amelyek az omladékot, vagy tömedéket felfogó vasrác alatt az előhaladásnak megfelelően szakaszosan előre mozgathatók. A süllyesztési vonalat biztosító, egymással összekapcsolt támcsoport előtti biztosítást acél- vagy egyéb támokkal végzik. A hálószerűen összekapcsolt rácsos szerkezet az egész fejtési pásztában teljesen összefüggő, de függőleges irányban csuklósan elmozdulhat; a főté leszakadását sem a munkatérben, sem pedig a fejtési fronthomlok előtt nem teszi lehetővé. Az utolsó szelet lefejtése után a szerkezet visszanyerhető.

Hasonló megoldású biztosítás az *acélszalagokkal, vagy sodronykötelekkel aláfogott bélésdeszkázat*, amelyet szintén több szeletben, talppáasztásan fejtett vastag telepek művelésénél használnak. Ez a biztosítás azonban nem ad olyan biztonságot és akadálymentes munkát, mint az előbb említett *Szkorij-féle* megoldás.

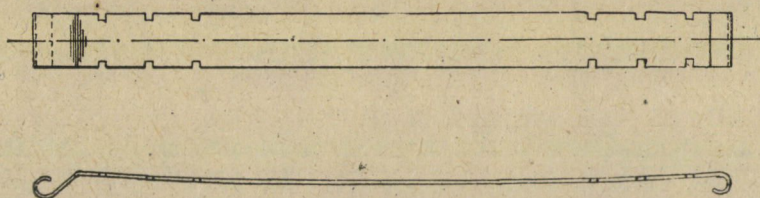
Sodronykötelekkel történő süveggerenda pótlás (29. ábra) több külföldi bányában ismeretes és használatos egy szeletben fejtett telepek közvetlen



29. ábra. Süveggerenda pótlása sodronykötéllel

fedüjének a biztosításánál, acéltámokra helyezve; ez a megoldási lehetőség azonban szilárdabb főtét igényel.

Hasonló megoldást szolgáltatnak az egymáshoz csuklósan kapcsolható, rúgó-acélból készült lemez-süvegek is (30/a. és 30/b. ábra), amelyek a főte egyenet-

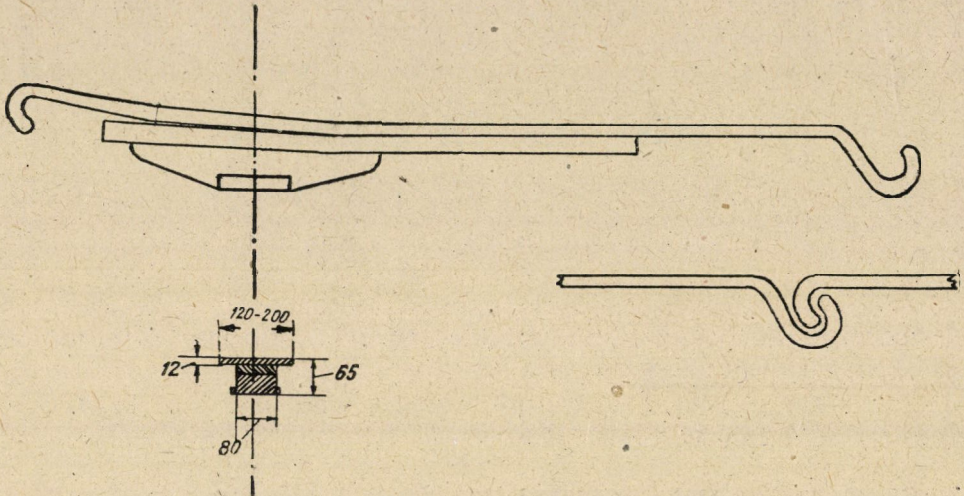


30/a. ábra Kéttámos rúgóacélsüveg

lenségeihez simulnak és nagy teherbírásúak. Kéttámos megoldásuk elővájó gépeknél a gyors biztosítás és a kis helyszükséglet szempontjából igen előnyös.

Meg kell még említenünk a *Korokin-féle főtéhálósz biztosítási módot* (31. ábra), amelynél a meredek dőlésű, vastagabb kifejlődésű széntelepet szintes keresztpáasztva irányú, de az egész pillérmagasságra kiterjedő fejtési páasztával fejtik. A fejtés alá kerülő pillért egymástól 6 m-ként hajtott csapásközlékekkel készítik elő, majd a fejtési határon a támadó-feltörést (gurítót) hajtják ki. A gurítóban a fekü és fedü közötti szélességben és a teljes pillérmagasságban sodronyhálót feszítenek ki, amely a szénfalra és az osztóközlékben elhelyezett közel 10 m hosszú vasszerkezetekre támaszkodik.

Jövesztésnél a védőháló és a vasszerkezet védelme alatt az egyes osztok közötti pillérek hátsó részét lerobbantják. A készlet a pillér teljes magasságából az alapközle feletti gurítóba hull, ahonnan csillébe, vagy egyéb szállítóberendezésre kerül. A leomló főtét a háló különíti el a lerobbantott széntömegetől. A hálót a vasszerkezetek vitlakkal történő visszahúzásával fektetik át a megkezdendő új fogás szénfalának a határterületére.



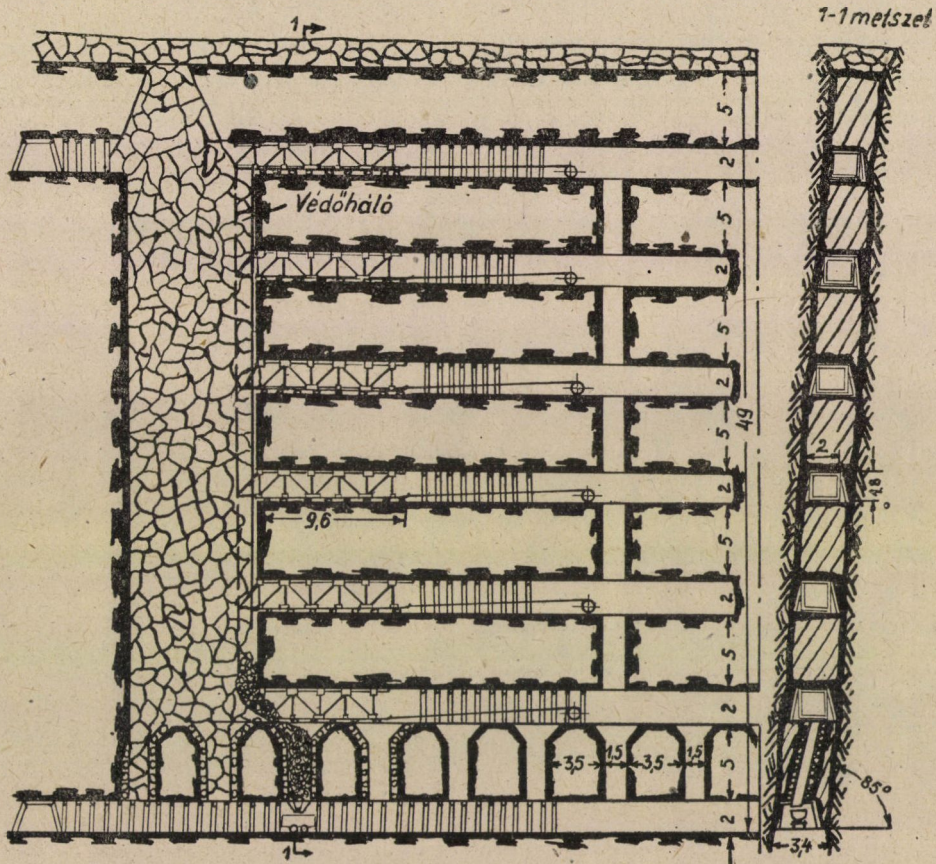
30/b. ábra. Egytámos rúgóacélsüveg

A különleges fejtési biztosításoknak egy igen érdekes módja a Japánban bevezetett *széntörmelékkel való főtésüllyesztés*. Ebben az esetben a főtésüllyesztést illetve a lefejtett üreg tömedékelését szénnel végzik, a magazin-fejtésekhez hasonlóan, azonban közepes dőlésű településben alkalmazva. A 3,5—4 m vastag széntelep felső szeletéből kifejtett szén fellazulásából eredő többletet szállítják csak ki a bányából, a többit pedig a fejtésbe tömedékelik. Nagyon valószínű, hogy ezt a megoldási módot olyan települési viszonyok mellett alkalmazzák, ahol a főté nem omlasztható, és nagy periódikus nyomások lépnek fel. Nagyobb terület lefejtése után, amikor már a nehezebben omló kőzetrétegek megtörednek, a fejtésbe visszatömedékelt szén az alsó szelettel együtt omlasztásos fejtéssel kinyerhető. Tűz- és gázveszély szempontjából igen veszedelmes lehet ez az öntömedékelési mód.

Tömedékekkel történő biztosítási módra igen érdekes és figyelemreméltó elgondolás a *Makray-féle újítás*, amely szerint — ömlesztett tömedékeléshez hasonlóan — a magasabb szinten lefejtett terület iszaptömedékét tervezi víz-sugárral jövesztve visszanyerni és a mélyebb szintű fejtésekbe iszaptömedékként felhasználni.

A fejtések biztosításának egyik igen érdekes módja, szilárd és vastag fedő esetén, a *periódikus nyomás területének kihasználásával* van összefüggésben.

A fejtési pászta méretei kisebbek, mint a fellépő szakaszos nyomás területének a méretei. Ez a fejtésmód önmagában jövesztés-technikailag gazdaságosnak mondható, azonban összpontosítás és szénvesztesség tekintetében az elért végeredmény kétséges. A fejtés ilyen esetekben természetesen védőpillérek között mozog és az új fejtési pászták (kamarafejtések) telepítése a lefejtett pásztával közel azonos területű szénpillér visszahagyásával történik.



31. ábra. Korokin-féle védőhálós biztosítási mód

Ez a fejtésmód olyan kőzetviszonyok között telepíthető, ahol a közvetlen főte eléggé állékony, a magasabb főterégeket pedig igen szilárd és vastag kifejlődésű, nem omló kőzetkomplexum alkotja. Ilyen kőzetviszonyok között kis fejtésekkel előzőleg megállapítható a periódikus nyomás határterülete, amelynél az elkülönített egy-egy fejtési pászta területének kisebbnek kell lennie. Kisebb szélességű pásztáknál a főtefelfüggesztéses biztosítás lehetséges, ha az igen szilárd

közetréteg a széntelep felett 1—2,5 m magasságban települt, a közvetlen fedőrétegek pedig eléggé szilárdak.

A főteirányítás ennél a fejtésmódnál szénpillérekkel történik. A pillérek nagyságát annak figyelembevételével állapítjuk meg, hogy a pászták kifejtésekor és a szomszédos pászták művelésekor a magasabb, nem omló főte veszélyeztető hatása ne érvényesülhessen; a beomlasztott pászták között a bentmaradt védőpillérek kifejtése azonban, a kiszabott fejtési mező részleges lefejtése után, megtörténhessen. Egyébként a periódikus nyomásoknak eddig elkerült káros hatása a szénpillérek kifejtésénél jelentkezik, és azok leművelését veszélyeztetheti. Abban az esetben kedvezőbb eredményt adhat ez a megoldás, ha a lassúbb fejtési folyamat alatt a nem omló kőzetkomplexum megrepedezik és a reá ható magas főte terhelése folytán szilárdságának határhelyzetébe kerül. Ennek következtében a visszahagyott pillérek omlasztásos fronttal való kifejtése — nagyobb pillérek esetén — lehetségessé válik. Nem alkalmazható a fejtésmód tűzveszélyes és gázos telepekben, minthogy az erősen igénybevett pillérek összetöredeznek és ezáltal a gázfejlődés intenzív lesz, a fellépő repedéseken keresztülrámoló levegő és nagy nyomás következtében pedig a szén begyulladhat.

A *fedővíz betörésével kapcsolatos vízveszély elhárítására* eredményes lehet a főtessüllyesztésnek az a megoldási módja, amelynél a fejtés feletti közetrétegek mozgásának a sebességét növeljük és egyszerre nagyobb közettömegeket mozgatunk meg. Ez a megoldás szintén a biztosításnak egyik módja.

Nagysebességű és nagytömegű kőzetmozgás előidézése csak frontfejtésekben lehetséges. A fedővíz betörésének elhárítása pedig abban az esetben lehetséges, ha a lefejtendő és a vízvezető közetréteg között a vizet át nem eresztő réteg, vagy rétegek olyan vastagságban települnek, hogy a felettük lévő rétegek kőzet- és hidrodinamikai terhelésének ellenállni képesek.

Ebben az esetben az állva maradó közetrétegek lazulása és tömörödése olyan gyorsan megy végbe, hogy a vízlevezető repedések, hasadások gyorsan elzárulnak. Ilyen esetekben igen nagy frontsebességre van szükség, hogy a magasabb közetrétegek elmozdulása a beomlasztott részen történjen, ahol a lazulás, majd az azt követő tömörödés a legintenzívebb, és lehetőség van arra, hogy a víz-átnemeresztő közetréteg más közetrétegekkel keveredve is olyan állapotváltozást szenvedjen, amelynél már az új egyensúlyi helyzet kialakulása alatt is a keletkezett kőzetösszlet víz-átnemeresztővé válik.

Végül meg kell még említenünk a *gázlecsapolást*, amely gázdús telepekben szintén a biztonságosabb és eredményesebb munka célját szolgálja, továbbá a gázkitörések megelőzésével a munkahelyek állékonyságát is biztosítja. A lecsapoló-fúrólukak telepítésénél, a kőzetmozgások, távhatások ismerete és figyelembevétele döntő jelentőségű. A gázfejlődés és kiáramlás intenzitása ugyanis a nyomásváltozásokkal, lazulásokkal, töredezéssel kapcsolatos felületnövekedéssel, valamint a repedések folytán előálló áramlási ellenállások csökkenésével szoros összefüggésben van.

A biztosítási módok összefüggése a többtermeléssel és a közeljövő feladatai

A tanulmányban ismertetett korszerű biztosítási módok lehetővé teszik a nagyfejtések telepítését és ezzel kapcsolatban a gépesítést. Megoldják a gépesítéshez és a géberendezések áthelyezéséhez szükséges terek állékonyságának a biztosítását. Vágatokban a különböző nyomásviszonyoknak megfelelő biztosítások alkalmazásával és kellő időben történő fenntartással az átépítéssel járó



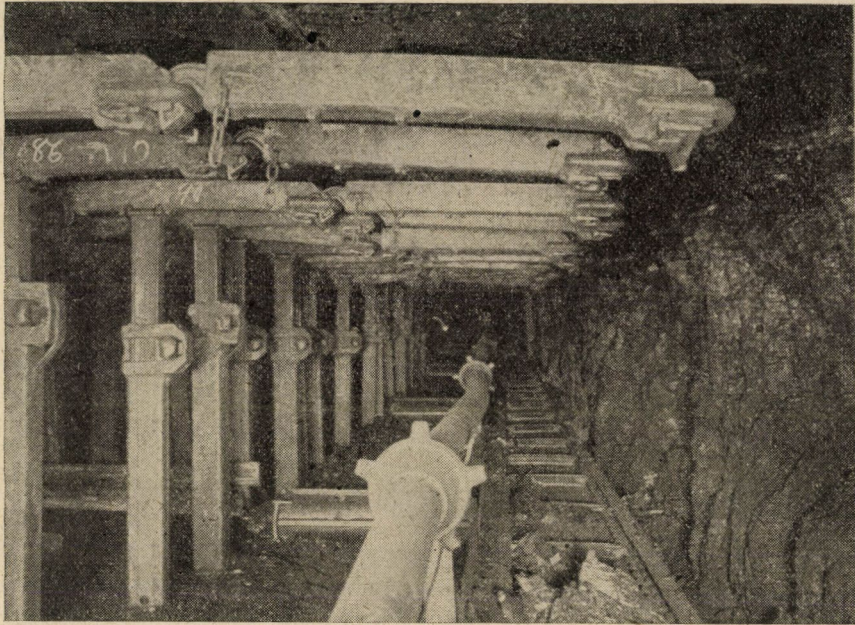
32. ábra. Fával biztosított frontfejtés részlete

többletmunkát megtakaríthatjuk, ezzel a teljesítményrontó tényezőket csökkentjük. A felszabaduló műszakoknak a fejtési munkára való beállításával az összteljesítményt növeljük.

A fejtési teljesítmény növelésének az alapja, amint már említettük, a gépesített jövesztés és rakodás, a folyamatos elszállítás, amit szintén a korszerű biztosítás tesz lehetővé. Ugyancsak ezt oldja meg a nyomásviszonyoknak megfelelő biztosítás azáltal, hogy a fellépő nyomásokat a jövesztésnél hasznosítani is tudjuk, a fellépő káros távhatásokat pedig képesek vagyunk nagyobb mellékmunkák végzése nélkül levezetni. Az utóbbi különösen a frontfejtésekre és azok kísérő-vágatainak fenntartására és biztosítására vonatkozik.

A biztosításnak azon módja pedig, amelynek segítségével a lefejtett területen biztosítjuk a vágatok fenntartását, részben a gyengébb elővájási teljesít-

ményt nagyobb fejtési teljesítménnyé változtatja, vagy legalább is azt jelentősebben növeli, részben pedig az ép főte alatti munkával és kedvezőbb nyomásviszonyokkal a fejtési teljesítményt is emeli. A tömedékben kiképzett vágat az első, hirtelenebbül lezajló kőzetmozgások után olyan új egyensúlyi helyzetbe kerül, hogy annak további fenntartása rendszerint nagyobb gonddal és több munkával nem jár. E megoldásokkal olyan településeknél is sikerül vágatot hajtani és nyitva tartani, amelyeknél keskeny szelvényben szokásos kihajtási



33. ábra. Acéltámokkal és csuklós süvegekkel biztosított frontfejtésnek a támmentes front-homlok felé eső munkatere

móddal nem, vagy csak igen nagy teljesítményrontó áldozatokkal lenne lehetséges. Ez a megoldási mód is a többtermelés célját szolgálja, nemcsak a tömegszállítási lehetőség biztosításával, hanem a bányaklíma javításával is.

A rohamosan, nagy ütemben fejlődő iparosodás és ezzel kapcsolatban az életlehetőségeknek kényelmesebbé tétele és javítása a széntermelés vonalán is olcsó és tömegtermelést követel, amelynek alapja a már említett, időben és térben összpontosított nagyfejtések létesítése. A térbeni koncentrációt a rendelkezésre álló technikai eszközök mellett a települési adottságok szabják meg. Az időbeni koncentráció pedig az adottságoknak megfelelő teljes és tökéletes gépesítés. E két feltétel adja meg a jövőbeni fejlődés irányvonalát.

A fejlődéssel kapcsolatban a korszerű biztosítás terén a közeljövőben megoldandó feladatot a mellékelt három kép (32., 33. és 34. sz. ábra), mutatja,

melyek közül az elsónél a jelenlegi fabiztosítás melletti igen nehéz munka-lehetőségeket láthatjuk, a másik kettőn pedig azt, amit ugyanolyan mellék-közetviszonyok között a biztosítástechnika vívmányainak felhasználásával mielőbb el kell érünk. A fejtési biztosítással kapcsolatos további feladat főképpen a be- és kiépítés, egyszóval az előre való vándorlás meggyorsítása, amit a fejtési frontok teljes szélességében, a fejtés előrehaladásával együtt mozgó gépesített kivitel fog valóra váltani. A feladat megoldása nem könnyű.



34. ábra. Acéltámokkal és csuklós süvegekkel biztosított frontfejtésnek az omlasztási vonal melletti része

A földalatti nyomásviszonyok, közetmozgások legtökéletesebb ismeretét kívánja meg. A szerkezeteknek pedig, a megfelelő minőségű anyag biztosítása mellett, a legtökéletesebb kivitelűeknek kell lenniök.

A szűk és elszigetelt bányaterek, valamint a tömegtermeléssel együttjáró szénpor leküzdése és egyéb elemi erők elhárítása a feladat megoldását megnehezítik ugyan, de reméljük, hogy szívós akarattal, a magas fokon álló technikai adottságok segítségével és megfelelő támogatással a közeljövőben a gépesített vándorbiztosítás megoldást nyer.

Egyéb bányaterek biztosításánál a gazdaságosság határain belül meg kell oldani, hogy a kiépített vágat többszöri átépítésre és komolyabb fenntartásra ne szoruljon. Természetesen az új biztosítási módnak a vágat élettartamával, teljes állékonyságával, és leggazdaságosabb kihajtási, biztosítási módjával kell szoros összhangban lennie.

Megoldásra várnak azok az időszerű biztosítási módok is, amelyek a vágat gépesített kihajtásánál az előrehaladási sebességgel összhangban vannak. E téren valószínűleg a vágatkihajtógépekkel összeépített szerkezettel történő gépesített ácsolatbeépítés (hidraulikus megoldással) fog sikerrel járni, mint ahogy az már az egyik nagyteljesítményű gépnél kísérletezés alatt áll.

Az előadottakkal kívánjuk szolgálni szénbányászatunk terén a közeljövő fejlődését, és bányászatunk mielőbbi felvirágoztatásának az elősegítését, hogy ezáltal a jobb életlehetőségeket célzó, rohamosan fejlődő ipar részére a nyersanyagot a szükséges mennyiségben és minőségben biztosíthassuk.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- Bokij*: Bányaműveléstan.
Parusimov és Novikov: Kuzbassz kőszéntelepeinek fejtési rendszerei.
Nyekraszovszkij: Bányaműveléstan.
Davidjanc: A Donmedence viszonyainak megfelelő mechanizált biztosítás. (Ugolj, 1950. 9. sz.)
Mihajlov, Geleszkul és Burstein: Csöves vasbetontámokkal történő biztosítás.
Boriszov: Vízszintes bányaterek biztosítására ható nyomás.
Davidjanc: Kőzetmozgás irányítása a Donyec-medence merede-kdőlésű telepeiben.
Heise—Herbst: Bergbaukunde.
Dr Spackeler: Arbeitsmethoden der Gebirgsdruckforschung. (Die Bergakademie, 4. füzet.)
Dr Spackeler: Schlagwetterentwicklung und Gebirgsdruck. (Bergbau-Archiv, 8. kötet).
Winkhaus: Der schreitende Ausbau. (Bergbau-Archiv, 2. kötet.)
Kuhn: Die Lütticher Internationale Tagung über Gebirgsdruck und Ausbau im Abbau. (Glückauf 1951. 29/30. sz.)
Kuhn: Bemerkenswerte Neuerungen des Grubenausbaus auf der Kohlenbergbau-Ausstellung 1950. (Glückauf 1950. 43/44. sz.)
Stephan: Gebirgsdruck und mechanische Kohlegewinnung. (Glückauf 1950. 43/44. sz.)
Dr Spruth: Strebausbau im Stahl.
Stassen: Le soutènement métallique en taille. (Annales des Mines 1951. II. 15.-i szám.)
Branmat: Quelques matériels de soutènement métallique en taille. (Revue de l'Industrie Minérale 1951. X.)
Dr Jáky: Talajmechanika.
Webster: Strata Control (Iron and Coal 1951. nov. 2. sz.)
Dr Knothe: A földalatti fejtés külszínre gyakorolt hatásának csökkentése. (Przeglad Gorniczny 1951. 10. sz.)

HOZZÁSZÓLÁSOK

KRUPÁR GÉZA

»Korszerű biztosítási módok a tömegtermelés szolgálatában« című előadásához.

LUKÁCS LAJOS hozzászólása:

Szénbányászatunktól megkívánt termelési feladat teljesítése érdekében minden trónket szolgálatba kell állítanunk. Nem járhatjuk a régi utat, amikor a többtermelés csak új üzemek létesítésének és a létszámnak a kérdése volt. A főleg szakmunkásokban mutatkozó létszám-hiány miatt bányászati műveleteinket úgy kell átalakítanunk, hogy az egy főre, illetve egy műszakra eső teljesítmény a mainál lényegesen magasabb legyen, vagyis, hogy a tervezett mennyiséget a létszámnak csak kismértékű emelésével termelhessek ki.

Ezt a feladatot a termelés és szállítás összpontosítása, a szétszórta telepített kis munkahelyek helyett nagyméretű munkahelyek kialakítása, az egyes munkafázisok gépesítése által, a települési viszonyok sokfélesége és mostohasága ellenére is, eredményesen meg lehet oldani.

Tervteljesítésünk alapfeltétele tehát a teljesen gépesített, tömegtermelést biztosító, korszerűen berendezett, nagyméretű frontfejtési rendszer kialakítása és általános bevezetése mindazon üzemekben és üzemrészekben, ahol erre az adottságok megvannak.

A földalatti térségeket olyan mérethben és annyi ideig kell fenntartanunk, hogy az azokban végzendő munkálatok helyszükséglete a megkívánt időtartamig rendelkezésre álljon. A különböző hivatást betöltő bányaterek biztosítási módjai és szerkezetei igen sokfélék lehetnek. Kivitelük módja és szerkezete a mellékközetek szilárdsági és fizikai tulajdonságai, a bányaterekben végzendő munka neme, valamint a bányatérség rövidebb, vagy hosszabb élettartama szerint változik.

A tömegtermeléssel igen sok egyéb kérdés, az összes biztosítási módok és szerkezetek, tömedékelési problémák stb. is szoros kapcsolatban állanak. A továbbiakban röviden csak a korszerű fejtési biztosítási módokkal és szerkezetekkel foglalkozom.

Az eddig alkalmazott, aránylag kisméretű és szétszórta telepített fejtésekkel a széntelep fedü- és fekközeteit viszonylag kis mértékben bolygattuk meg, a fellépő kőzetmozgási és nyomási jelenségek térbelileg korlátozottak voltak. A nagyméretű fejtések bevezetésével ellenben a mellékközetek nagy területen és nagy tömegben mozdulnak meg, amihez még a fejtések gyors előhaladása is járul, tehát ennek megfelelően a kőzetmozgás, annak dinamikai hatása és a fellépő nyomásjelenség is nagy lesz.

Fejtéseinket a kőzetmozgás következtében fellépő nyomás hatása alól a lehetőség szerint mentesítenünk kell, vagyis ezeket a jelenségeket irányítani, kézbe tartani kell. Az általános törekvéseknek arra kell irányulniuk, hogy a fejtés főtéje épségben maradjon, tehát a fedü mozgását megakadályozzuk. A korszerű biztosító szerkezetekkel szemben a következő főbb követelményeket állíthatjuk :

1. a főte alátámasztása olyan legyen, hogy a fedürétegek ne mozdulhassanak el,
2. teherbírásuk a várható terheléseknek megfelelő legyen,
3. szükség esetén a biztosító szerkezetek megfelelő engedékenységgel bírjanak,
4. könnyen kezelhetők, gyorsan felállíthatók és visszanyerhetők legyenek,
5. a terhelés és szállítás gépesítését, valamint ezek folyamatosságát biztosítsák.

A felsorolt feltételeknek a nagy teherbírású, nagy előfeszültséggel beállítható, kis összenyomódás után a maximálisan megengedett terhelést felvenni bíró acéltámok felelnek meg csuklós süvegekkel és acél-vándorszekerények alkalmazásával együtt. Ezek biztosítják kellően a fejtési munkateret és teszik lehetővé az ú. n. támmentes fronthomlokot és a gépesítést.

Az acéltámok 3 típusba sorolhatók, u. m. merev, engedékenyen merev és mereven engedékeny támok. A mellékközetek tulajdonságai szerint alkalmazott fűtésűlyesztési módszer dönti el esetenként, hogy melyik támtípust kell választani.

Az acéltámok és csuklós süvegek hátránya az, hogy nehezek. A súly csökkentése végett újabban változatlan teherbírás mellett könnyűfémből állítják elő, aminek különösen meredekebb telepdőlés mellett van nagy jelentősége.

A tömegtermelési lehetőség érdekében az acéltámok és csuklós süvegek hazai viszonyok közötti kikísérletezését és azután széleskörű alkalmazásba vételét szénbányászatunk egyik igen fontos és sürgős feladatának látom, mert nélkülük teljes gépesítés nem vihető keresztül.

A fejtési biztosítás másik korszerű módja a Szovjetunióban kikísérletezett és ma már elég elterjedten használt védőpajzsos biztosítás. Eleinte az egészen meredek dőlésű telepek omlasztásos fejtésénél alkalmazták, ma már laposabb dőlésű telepek leművelésénél is használják. Nagy előnye a pajzsos biztosításnak, hogy mindenféle közetviszonyok között, szilárd, vagy gyenge fedű és rossz talp esetén is eredményesen alkalmazható, és a jövesztés, valamint a szállítás gépesítését lehetővé teszi.

A Bányászati Kutató Intézetben a szovjet típusú pajzs alapulvétele mellett éppen *Krupár Géza* elgondolása alapján tervezés alatt áll a magyar fejtőpajzs, amely a hazai viszonyok között a legnagyobb biztonsággal használható lesz, s reméljük, hogy már a jövő év első felében kikísérletezésre is kerül.

A pajzsos biztosításnak vastag telepek fedőtől fekü felé szeletenként, omlasztással történő lefejtésénél van különösen nagy jelentősége.

A fémtámos és pajzsos biztosítás gépi úton történő előremozgatásának kérdése megoldás alatt áll. Ha a védőpajzs gépi előremozgatása tényleges megoldást nyer, minden más biztosítási módot ki fog szorítani. Addig is azonban vastag telepek szeletenként omlasztással történő fejtésénél a pajzsos biztosítás hazai viszonyaink között is kikísérletezendő.

A nagy termelési követelményeknek tehát csak korszerű fejtésmódok és ezeknek megfelelő jövesztő- és szállítóberendezések és nem utolsósorban korszerű biztosító szerkezetek az elengedhetetlen feltételei.

VARGHA BÉLA hozzászólása.

Több, mint 3 évtizedes az a törekvés, hogy a föld alatt fellépő nyomásokat megállapítsák és a biztosítások méretezéseinél a bányászatban felhasználják. Sok elmélet és mérőeszköz látott napvilágot, de az a cél, hogy azt az anyagot, amelyben a bányász dolgozik, úgy lehessen megismerni és kezelni, mint amilyen ismeretekkel rendelkezik az építész, gépész, vagy bármely más műszaki területen működő mérnök a létesítményéhez felhasználandó anyag tekintetében, mindezt nem sikerült. Nem is remélhető, hogy a föld alatt mindig új és új területek feltárása közben annyira uralmába vegye az ember a természet erőit, mint a külszíni létesítményeknél, ahol az elemeket emberi kéz alakítja ki céljainak megfelelően. Nem remélhető azért, mert a bányatérsegeket körülölelő rétegek nem homogének. Mind csapás, mind dőlésirányban összetételük, tulajdonságaik változnak, de folytonosságukat és magatartásukat döntő mértékben megváltoztathatják előre nem látható települési zavarok (vetők, gyűrűsek), elemi erők (víz, gázkiterítés, stb.) is. A változásokról a bányász *sok esetben* csak akkor vehet tudomást, amikor azoknak hatása már jelentkezik. A tudományos kutatásnak a feladata, hogy nyomás elméletét az egyes típuselőfordulásokra kidolgozza és a »sok eset«-et a minimumra redukálja.

Az előadó már 1922. óta aktívan foglalkozik a kőzetnyomás tanulmányozásával. Ilyenirányú működése és szakirodalmi munkája a magyar bányászatban közismert. — Előadásában korszerű nyomáselméletek felhasználásával osztályozza és elhatárolja az egyes biztosítási módok leggazdaságosabb alkalmazási területét.

Az előadó területi elhatárolásának megtartása mellett a biztosítási módok olyan eseteire kívánok kitérni, amelyek feladatuknak megfeleltek, de időközben a bányászat folytán teherviselésükben változás lép fel. Konkrétabban a folyosókra nehezedő áthárított nyomással kívánok foglalkozni.

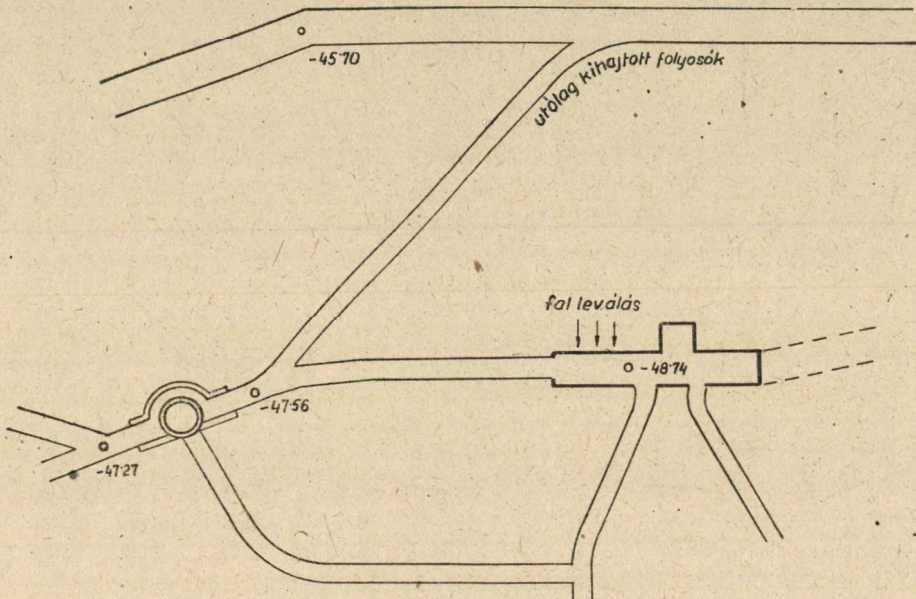
A most folyó mérnöki továbbképző tanfolyamon e tárgykörből *Esztó Péter, Krupár Géza, dr. Káosztás Pál, Dzsida László* és vonatkozásaiban *Mazalán Pál*, valamint *Kóta József*, kartársak tartottak előadást. Igen érdekes volt Mazalánnak az a bejelentése, hogy *dr. Konrád Ödön* megállapításai szerint a mélyvasútnál egymás közelében mélyített fúrások minden esetben a korábban kivitelezett fúrások felé tértek el. — A bányafolyosók hajtásánál a fúrókocsi alkalmazásával előtérbe került a párhuzamos furólyukak alkalmazása, a betörés kirobbantásánál. Ennél a robbantási eljárásnál 4 fúrólyuk által bezárt négyzet súlypontjában egy ötödik, nagyobb átmérőjű fúrólyuk képezi a szabadfelületet, amely elegendő ahhoz, hogy a hasábalakú testet a robbantás feszítő ereje kiemelje. — Mindkét esetben tehát már egy-egy fúrólyuk kis szelvénye is olyan feszültségcsökkenést okoz az új fúrás, illetve a robbantás folytán felszabadult gázok kiterjedése számára, hogy egyik esetben a kisebb ellenállás irányában a fúrólyuk elferdül, a másikban pedig, mint szabad felület játszik közre.

Nyilvánvaló és a bányászatban közismert tény az említett fúrólyukaknál sokkal nagyobb szelvényű folyosóknak egymásra való hatása. Felszólalásomnak az a célja, hogy a korszerű biztosítások tárgyalásánál erre a tényezőre fokozottabban felhívjam a figyelmet, nehogy jól bevált biztosítást elrontsunk egy nem megfelelő időben, vagy pillértávolságban telepített folyosó áthárított nyomásával.

Például megemlítem, hogy egyik borsodi mélyművelésű bányánkban a szivattyú és kapcsolókamrát falazattal építették ki. A kiépítés mintegy 8 éven keresztül kifogástalanul szolgált célját. A múlt évben a szivattyúkamra

közéleben egy szállítófolyosót hajtottunk ki, amelyet cementhabarcsba rakott téglafalazattal biztosítottunk. A kihajtásnak az lett a következménye, hogy a szivattyúkamra falzatának az új folyosó felé eső részén a téglafal levelesen levált, morzsolódni kezdett. — (lásd. 1. ábra.)

Egyik dunántúli aknánk mélyítésénél eleinte jámbor anyagnak látszó, oligocénkorú plasztikus anyagban haladt az építés. A 38 m átmérőjű akna falvastagsága 38,5 cm volt és olyan momentum nem jelentkezett, amely a falvastagság növelését indokolta tette volna mindaddig amíg az aknából rakodóbetőrésre sor nem került. A szintes vágat kitörése után rövidesen a betörés



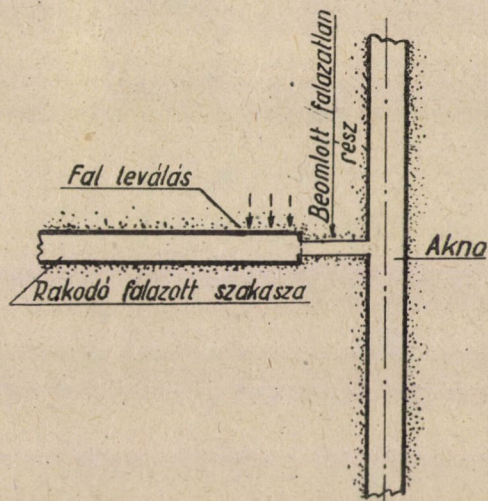
1. ábra

főtéjétől felfelé, az akna rakodó felé eső oldalán megindult a levelesedés. — A nyomás fokozódása után a rakodó 15 méterét cementhabarcsba rakott körszelvényű 1 m vastag téglafalazattal biztosították. A rakodó és akna közti 6 m-es szakasz bővítése közben omlás keletkezett, amelynek felemelése után a kifalazott rész akna felé eső gyűrűjének főtéjében leveles leválásokat észleltünk. (lásd 2. ábrát.)

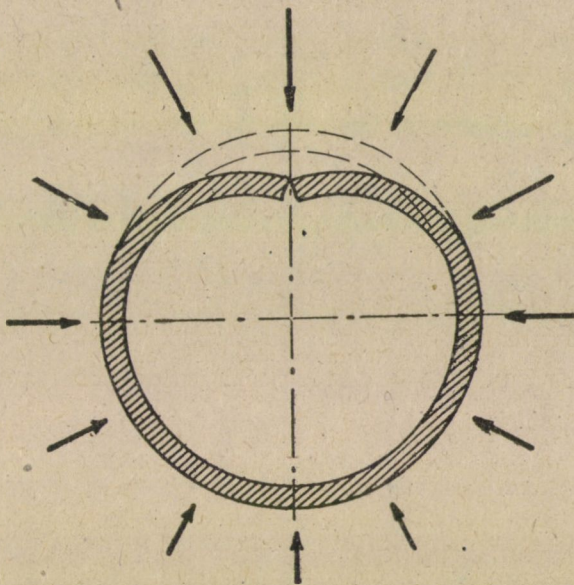
Mit jelent a falazat leveles leválása? Ha homogén kőzettel állunk szemben, akkor a körszelvényű falazat minden pontjára egyenlő közetnyomás hat, feltételezve a munka pontos kivitelezését. Egyenlőtlen nyomás esetén, ha a túlnyomás a falazat kis szakaszára koncentrálódik, akkor a körszelvény ezen a részen behajlik, majd ék keresztmetszetű repedés jelentkezik, de a morzsolódás, levelesedés feltételeit nem teremti meg. (lásd 3. ábrát.)

Ugyancsak homogén kőzet mellett, ha egy szakaszon az átlagon aluli nyomás hat, akkor a körszelvény többi pontjaira ható nagyobb nyomás hatására a szelvény a legkisebb ellenállás irányában eltorzul, kitüremkedik. A kitüremlés következménye, hogy a falazat belső határfelületén, fokozott nyomás lép fel,

amely a falazatnak belülről kifelé terjedő leveledésének magyarázatát adja. Ebben az esetben is jelentkezhet ék alakú repedés, de az fordított irányban lép fel, a falazat külső felületétől befelé keskenyedő elhelyezésben. (lásd 4. ábrát.)



2. ábra

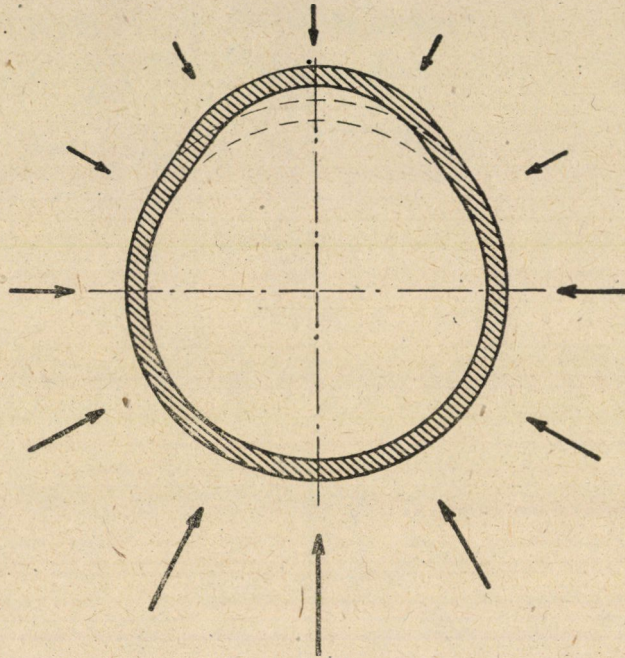


3. ábra

Az említett borsodi bányánál tehát új folyosó kihajtásával kőzetmozgások lehetősége nyílt meg az új folyosó irányában, amely a már évek óta kialakult egyensúlyt megbontva a falazat ezen részén kitérülést okozott.

A dunántúli példánál a rakodó kitörése hatott ugyanilyen értelemben az akna-falra, majd az omlással kapcsolatban megismétlődött az előbb tárgyalt borsodi folyamat.

Itt hivatkozom Krupár Géának a Mérnöki Továbbképző Intézet előadásai keretében tartott előadásában *Spackeler* professzor tanulmányából vett példájára, (lásd 5. ábrát), amely szerint egy körszelvényű folyosó a fölötte később telepített fejtés hatására a fejtés felé eltorzul s ha a fejtés a körszelvény folyosó fölé ér, visszanyeri alakját, azon túlhaladva pedig, a fejtés haladási iránya felé, ismét eliptikus szelvényűvé alakul. — Hasonló megállapításokra jutott



4. ábra

Dr. Horváth József bányamérnök is TH gyűrűk szilárdsági vizsgálata alkalmával végzett részletes tudományos számításaival.

A falazat levelesedését a következők idézhetik elő.

1. A falazat mögött ki nem töltött üregek maradtak vissza.
2. A folyosó térségében egyenlőtlen szilárdságú és még tömöríthető rétegek foglalnak helyet.
3. Létesített új bányatérsegek áthárított nyomása.

Az első eset kivizsgálása a kritikus falrész átfúrásával eszközölhető. A másodiknak fennállása már a kihajtásnál konstatalható. A harmadik kellő előrelátással, a munkálatok tervszerű beütmezésével általában elkerülhető, illetve jelentkezését és kimentelének súlyosságát csökkenthetjük. A levelesedéssel meginduló folyamat a falazat beszakadásáig fejlődhet. Különösen fiatalokorú, plasztikus kőzeteknél alakulhat ki veszélyes mértékig. Ilyen

településben folyosóelágazásokat egyidőben kell az áthárítás akciórádiusaig kihajtani és biztosítani. Ugyanez vonatkozik a hatótávolságon belül létesített párhuzamos folyosókra. — Tervezésnél arra kell törekedni, hogy a folyosók lehetőleg egymással derékszöveget zárjanak be, mert az egymásra gyakorolt hatás az ilyen elhelyezésben a legkisebb.

A gyakorlati élet lüktető üteme nem minden esetben teszi lehetővé fenti elvek érvényesülését. Ilyenkor célszerű a merev falazatnak a később kihajtandó folyosók felé eső szakaszában fabetétek beépítése, amelyek az áthárított nyomásnak kiegyenlítésére, illetve a rideg falazatban fellépő nyomásnak rugalmas kiegyensúlyozására szolgálnak.

A tárgyalt dunántúli bányánál a helyzet kiértékelése után a feltárást, a folyosók számának minimumra csökkentésével, az elágazások lehető mellőzésével végezzük.

STOLL LÓRÁNT hozzászólása.

Krupár Géza kartárs részletes és igen gondosan összeállított értékes előadásában ismertetette a bányászati munkálatok során fellépő nyomásokra vonatkozó elméleteket s a bányászati tudomány jelenlegi fejlettsége mellett azok leküzdésének különféle módozatait, eszközeit, szerkezeteit. Vezérelvünk a szocialista gazdálkodásban az, hogy a tudomány nem szakadhat el a gyakorlati élettől s a tudományos elméleteket kutató mérnökeink tudományos munkásságát át kell ültetni a gyakorlatba, hogy az a gazdaságosabb termelést előmozdítva a népgazdaság javára hasznosítható legyen.

Rövid hozzászólásomban rá kívánok világítani arra, hogy bányászatunkban a korszerű biztosítási módok bevezetése, azok kísérleti alkalmazása részben már kezdetét vette, azonban ezen a téren a komoly és kitartó munkának széles területen kell sürgősen kifejlődnie. A hároméves terv és ötéves terv eddigi éveiben sem voltunk tétlenek, amit igazol kutató mérnökeink tudományos munkássága, azonban a szénbányászat termelési tervének növekvő számai olyan feladatot rónak ránk, amely a korszerű biztosítási módok helyes, de egyben sürgős alkalmazásában nem tűrhet halasztást.

Az Akadémiai Nagygyűlés tegnapi ülésén az előadásból és hozzászólásokból élesen kialakult az energiakészletünkkel való helyes gazdálkodás s a faanyag, mint tüzelőanyag, szénrel pótlása. A szén kibányászásánál tehát ugyanakkor úgy kell helyesen gazdálkodnunk a hazai viszonylatban csak kis százalékban rendelkezésre álló faanyaggal, hogy az elkövetkező években a bányafaimportot a magasabb termelés mellett viszonylagosan fokozatosan csökkenteni lehessen. Tudjuk, hogy a bányafa felhasználásának 5—10%-kal lecsökkentését egyik hónapról a másikra nem lehet keresztülvinni. Évek kellene, amíg országos viszonylatban az előbb említett százalékban eredményeket tudunk kimutatni. Az előbb említettem, hogy a fabiztosítási pótló korszerű vas, beton, falazati biztosító elemek, szerkezetek alkalmazása halasztást nem tűr. A munkát ezen a téren tehát azonnal be kell indítani, de az eredményt nem szabad még holnap számonkérni. Az előadásában *Krupár* kartárs említette a hazai bányászatunk igen szétágazó földtani, kőzettani adottságait, ezért nemcsak szénmedencénként, hanem sok esetben szinte bányaiüzemenként kell a biztosítási módok kísérleti bevezetését elvégezni s főképpen annak helyes alkalmazását keresztülvinni.

Egy-két évvel ezelőtt a bányafatakarékossággal kapcsolatban a minisztérium részéről elindult a kezdeményezés a földalatti szállítógátokban a faácsolatok egymástól való távolságának csökkentésére. Minden bányüzemnél 20—40 m-es vágatszakaszokat kellett kiépíteni az üzemi adottságoknak megfelelően egymástól 0,5—2,0 m távolságra elhelyezett ácsolatokkal, hogy így gyakorlati alapon megállapítást nyerjen a bányüzemekben az adott kőzet- és nyomásviszonyok mellett a vágatok legtakarékosabb fabiztosítása. Sajnos, a kísérletek csak részben történtek meg. Gyakorlati eredményt nem hoztak, vagy legalább is tudomásunk nincs róla.

Hazai viszonylatban egy-két bányüzemnél igen jó eredménnyel alkalmazták a vastámokat széleshomlokú fejtésekben, de még több üzemünknl folynak ezen a téren kísérletek, részben eredmény nélkül.

Az előbbieken vázolt eredménytelenségek oka nem az alkalmazási lehetőség hiánya, hanem a kezdeti nehézségektől való meghátrálás. Minden új munkamódszer alkalmazása, tehát új, modern biztosítási módok bevezetése is, kezdetben a termelésben, termelékenységben visszaesést fog jelenteni, amit azonban el kell könyvelnünk, mert a mai nap elenyésző eredménytelenségéért nem lehet az egész jövőt feláldozni, s a haladást megállítani. Bányüzemeink jelenleg még kis létszámú vezető műszaki, emberei, mérnökei a széntermelés napi problémái és egyéb műszaki adminisztratív elfoglaltságuk mellett nem képesek elegendő időt szentelni új biztosítási módok bevezetésére, az elért eredmények rendszeres megfigyelésére, és azok kiértékelésére. Egyben a dolgozókat az új munkára betanítani és azt velük megszerettetni sem könnyű feladat.

Ezért kell Kutató Intézetünknek közelebbvinni tudományos munkásságát az üzemhez, melyre talán módot fog adni a szénbányászat trösztösítésével kapcsolatban a trösztöknél ú. n. összekötő kutató mérnökök beállítása. Ezek a mérnökök az üzemeknél a kísérleti bevezetés ideje alatt külön műszaki szakembereket jelölnek ki, akik az új biztosítási rendszer bevezetésével foglalkoznak és a rendszeres irányítást adják, megfigyeléseket, ellenőrzést végeznek.

Az előadásban a vágatok körül fellépő nyomásviszonyokról részletesen hallottunk és általánosságban azok korszerű leküzdéséről, de bővebben nem ismertette Krupár kartárs a szállító vágatok korszerű biztosító módjait, mert azok általánosan ismertek minden bányászszakember előtt. Mégis fel kívánom hívni a figyelmet ennek nagy fontosságára. Már jelenleg is érezteti hatását bányászatunkban a szállító vágatok helytelen fenntartása, mely a jól kialakított tömegtermelés gátlójává válhat.

Ha a távolabbi jövőbe tekintünk és a második ötéves terv végére kitűzött termelési tervet nézzük, rögtön látjuk azt, hogy jelenlegi üzemeink fejlesztése mellett — amely szintén szállító utak, vágatok nagymérvű kihajtását, új bányarészek bekapcsolását teszi szükségessé — az elkövetkező két-három év alatt az új üzemek egész sorát kell megnyitnunk. A legfontosabb és hosszúéletű bányaterek falazati anyaggal való biztosítása adott, azonban a szállító vágatok korszerű kiépítését sürgősen kell megoldanunk. Gépesítéssel a vágatkihajtási teljesítmények növelését el tudjuk érni, ugyanakkor azonban az adott viszonyoknak legmegfelelőbb, könnyen beépíthető s a kihajtást rendszeresen követni tudó korszerű biztosító berendezésekről is gondoskodnunk kell.

Ezeket a feltárási, elővájási vágatbiztosító szerkezeteket, elemeket ma kell már kísérletképpen bevezetni s alkalmazási lehetőségüket megteremteni, bányászdolgozóinkat annak használatára, beépítésére megtanítani. A vashiz-

tosítások közül fokozatosan terjed a *Moll*-ívek, valamint talapduzzadásos telepekben, vágatokban az acélgyűrűk, főképpen TH-gyűrűk alkalmazása. A szénbányászat részére biztosított beruházások lehetővé kell tegyék ezek kiterjedt alkalmazását már az elkövetkező évben. A vágatok környékén hosszabb-rövidebb idő múlva általában helyreáll a kőzetnyugalmi helyzet, s így országosan nem alárendelten tudjuk alkalmazni a vasbetonbiztosító elemeket is. Egy-két bányüzemünknel már hosszú évek óta vannak beépítve s rendeltetésüknek teljes mértékben megfeleltek. Jelenleg mérnökeink által szerkesztett vasbetonbiztosító elemek kísérleti darabjai legyártást nyertek és beépítés alatt állnak. Már a jövő évben el kell jutnunk oda, hogy minden bányavállalatnál kísérleti vágatok legyenek, beépítve különféle biztosítási szerkezetekkel, s a kapott gyakorlati eredmények alapján azok rendszeres felhasználását bevezethessük azonos teleptani, nyomási adottságok mellett.

Természetesen a távolabbi cél az, hogy a jövesztőgépekkel egybeépített szerkezetekkel biztosítsuk a földalatti térségeket.

HANSÁGI IMRE hozzászólása.

A magyar bányászatnak a biztosítás terén 2 főszempontot kell kielégíteni:

1. a bányafával való legnagyobb mértékű takarékoskosságot,
2. a bányászat gépesítését.

Tekintettel arra, hogy a bányászat legfontosabb segédanyaga, a bányafa túlnyomórészt import útján kerül az országba, nyilvánvaló, hogy ezzel az anyaggal való takarékoskosság a legfontosabb szempont. Azonban egyáltalán nem elhanyagolható az sem, hogy üzembe állítandó bányagépeink alkalmazásánál milyen mértékben tudjuk megvalósítani a Krupár Géza által is hangsúlyozott támfa nélküli munkatereket.

Hozzászólásomban nem kívánok *Krupár Géza* rendkívül figyelemre méltó értékes előadásának általános vonatkozásaival foglalkozni, csupán néhány különleges biztosításmódra kívánom felhívni a figyelmet.

A különleges biztosítási módok közül — a magyar bányászat szempontjából — fontosnak tartom a főtélfüggesztési, főtelhorgonyzási eljárást.

A magyar bányászatban több szénmedencében találkozunk főtélejáróval (hamis főte). Ezeken a helyeken, véleményem szerint, jó eredménnyel alkalmazható a főtélfüggesztéses eljárás. *Krupár Gézával* ellentétben azonban a főte felfüggesztésnek szélesebbkörű, kiterjesztését nem az elővájatokban tartom fontosnak, hanem éppen ellenkezőleg, a fejtésekben.

Az elővájásokban ugyanis hosszabb ideig marad szabadon a főte, mikor is a lejáró, legtöbb esetben másra hajlamos közvetlen főte a bányalevegő nedvességét abszorbeálva megnehezedik és lehull. Tehát ezzel a biztosítással célt nem érünk el. Ezzel szemben fejtésekben, különösen a közvetlen fejtési homlok biztosításánál éppen a gépesítés érdekeinek megfelelően jó eredménnyel alkalmazható — véleményem szerint — a főtélfüggesztés. Ebben az esetben a felfüggesztő csavarok is visszanyerhetők.

A másik különleges biztosításmód, melyet a gépesítés érdekében jó eredménnyel lehetne bevezetni, az előrefúrt fúrólukakba helyezett konzolos süveggerenda, frontfejtésekben a frontfejtési homlokra merőlegesen elhelyezve. Ennél a biztosítási módnál a főtének a megkívánt alátámasztását főtérés alkalmazása nélkül még a fejtőgép elhaladása előtt biztosítani tudjuk.

A magyar bányászatban főleg az alacsony széntelepekben minden bizonynyal szerephez juthat a sodronykötél, mint főtebiztosító berendezés, mert ennél a biztosítási módnál ugyancsak a gépesítés érdekében, a támfák könnyen cserélhetők.

A tényleges bányafamegtakarítás érdekében a vasbetonnak az eddiginél lényegesen nagyobb mértékben kell a magyar bányászatban szerepet kapnia. Nézetem szerint nem helyes, ha a vasbetonbiztosítástól rendkívül nagy terhelések viselését kívánjuk meg, mert akkor az egyes biztosító elemek túl nagy súlyúak lesznek. Éppen ellenkezőleg, arra kell törekednünk, hogy azokon a kőzetnyomásmentes vagy csak kis kőzetnyomású helyeken kell a salakbetonból és ócskadrótkötélből készített vasbeton biztosítást bevezetnünk, ahol a folyosótól hosszú élettartamot kívánunk meg (légvágatokban). Ezekben a vágatokban ugyanis nemcsak bányafát takarítunk meg és az elkorhadás miatt fellépő átácsolást hagyhatjuk el, hanem az a bányalevegő tisztasága szempontjából is előnyös lesz.

Fejtésekben nézetem szerint, mielőbb rá kell térni a Szovjetunióban most már sorozatosan gyártott, pörgetett vasbeton csőtámokra, fa, vagy vas süvegerendákkal kombinálva.

Meggyőződésem, hogy a korszerű biztosításmódok bevezetése nemcsak a hozzászólásom elején jelezett 2 főszempontot fogja kielégíteni, hanem a magyar szénbányászat termelés-növekedése szempontjából is előnyös lesz.

BOLDIZSÁR TIBOR hozzászólása.

Erről a témáról már egy évvel ezelőtt is hallottunk egy igen értékes előadást az előadótól. Az elhangzott előadásból véleményem szerint, az állapítható meg, hogy a kőzetnyomások elméletének kérdése az elmúlt év alatt tudományos vonatkozásban nem haladt jelentős mértékben előre. Véleményem szerint egy feladat vizsgálata akkor nevezhető tudományosnak, ha a vizsgálatban szereplő fizikai változók közötti viszonyt minőségi alapról mennyiségi alpra igyekezünk helyezni. Ehhez nyilvánvalóan az kell, hogy a törvényszerűségek megállapításához szükséges mennyiségeket kvantitatíve határozzuk meg. A kőzetmozgások tárgyalásánál ilyen kvantitatív meghatározásokról nem sokat hallottunk és ez az egész feladatkör tárgyalásának véleményem szerint ez egyik hiányossága. E helyett halottunk nagyon sok véleményt és nézetet, amelyet többé-kevésbé valószínűsíteni lehet. Olyan tudományágakban, ahol a törvényszerűségeket még nem állapították meg, igen sok nézetet lehet elfogadni, hangoztatni és igen sok nézet igazságát lehet valószínűsíteni. Az ilyen állítások igazságát vagy helytelenségét bebizonyítani nem lehet. Viszont véleményem szerint kétségtelen az is, hogy nem nevezhető tudományos megállapításnak az, amelyet a törvényszerűségek ismerete, vagy mérési eredmények hiánya miatt tárgyi adatokkal megcáfolni nem lehet. *Roger Bacon* a XIII. században megállapította, hogy »két módja van a megismerésnek: érvek által és tapasztalat által. Ám az érvek nem oszlatják el a kételyeket mindaddig, amíg az igazságot nem leljük fel a tapasztalat útján.«

A szilárdságtan törvényszerűségei idealizált esetekre vonatkoznak. Finomabb észlelésnél kiderül, hogy a szilárdságtani összefüggések még a legegyszerűbb terhelési esetekben, az előállítható leghomogénebb gépszerkezeti anyagok esetében sem felelnek meg teljesen a tényleges viszonyoknak. A szilárdságtanban az idealizált terhelési sémák és az igénybevételeknél szereplő anyagok

tökéletes izotropiájának feltételezése még a legegyszerűbb kísérletnél is felmondja a szolgálatot. Ezért a gépészetben és az építészetben előforduló esetek tekintélyes részében a szilárdságszámítások csak hozzávetőleges értékeket, sokszor egészen durva közelítéseket szolgáltatnak.

A közetmozgások vizsgálatánál pedig véleményem szerint a szilárdságtani összefüggések teljesen felmondják a szolgálatot. A rugalmas anyagok teóriája itt nem alkalmazható. A plasztikus anyagok viselkedése távolról sem ismert. A plasztikus anyagok tulajdonságainak vizsgálatát a múltban a fizikában teljesen elhanyagolták és ahogy azt egy, a tudomány fejlődését kiválóan jellemző tanulmányban olvashatjuk: illedelmes fizikus társaságában a rugalmatlan anyagok viselkedéséről beszélni, sőt azokat megemlíteni nem volt illő dolog. *Maxwell* a múlt század végén már megfogalmazta általános viszkozitási elméletét, amely a szilárd, rugalmas anyagokat is besorolja a plasztikus anyagok közé. Az ide vonatkozó kísérleti vizsgálatok azonban csak a jelen században indultak meg és ma még távol vagyunk attól, hogy a rugalmatlan anyagok viselkedését kellő pontossággal meg tudjuk állapítani.

Tudományos összefüggések hiányában a közetmozgásra vonatkozó tudományos ismereteinknél a legfontosabb feladatot véleményem szerint nem az elméletek és a feltevések készítése, hanem a szorgalmas kritikai adatgyűjtés képezi.

ESZTÓ PÉTER hozzászólása.

Krupár Géza igen érdekes előadásában nem annyira célkitűzést ad a biztosítási módok jövő alakulására, mint inkább ismerteti azokat az új biztosítási módokat és lehetőségeket, amelyeknek a hazai bányászatban való alkalmazása megfelelő kísérletek után szóba kerülhet. Bevezetésében érdekes eszmefuttatást ad a közetnyomások és közetmozgások változásáról. Pozitívumot, számbeli értékeket azonban nem ad, de nem is adhat mindaddig, míg a megfelelő közetnyomási elmélet helyessége üzemi mérésekkel ellenőrizve nincs. Ez lesz egyik legfontosabb teendője a bányászati tudományos kutatásnak.

Legfontosabb teendők tehát megállapítani a közeteknek és a belőlük alakult rétegeknek szilárdsági tulajdonságait és közvetlen mérésekkel minél több helyen, minél különbözőbb viszonyok között megmérni a tényleg fellépő közetnyomást. Majd az elmélet azután megállapítja ezek közt az összefüggéseket. Így alkalmunk lesz előre kiszámítani a várható terheléseket a legtöbb közetnyomási elméletben szereplő feszültségek helyett, melyeket mérni, ellenőrizni nem lehet. Mindaddig, míg elméletileg nem tudjuk előre kiszámítani a közetnyomástól eredő és a biztosító szerkezetekre ható terheléseket, minden újabb biztosítási mód bevezetése nem kísérlet lesz, amelyből következtetéseket lehet levonni, hanem csak próbálgatás, mely egyik helyen beválik, a másikon nem. Tehát első teendők az *oknak* vizsgálata, hogy az *okozat* ellen eredményesen felvehessük a harcot.

DZSIDA LÁSZLÓ hozzászólása.

Krupár Géza kartárs értékes előadásában a szénbányászati tömegtermelő munkahelyek korszerű biztosításának módjaival és irányzataival foglalkozott. Hozzászólásomban a tömegtermelést bár közvetve, de mégis jelentősen érintő kérdéshez: a feltárási és elővívási bányavágatok korszerű biztosításának problémáihoz szeretnék néhány adalékot szolgáltatni.

Hazai bányászatunk jelenlegi adottságai mellett, minden évi 1 t szén kitermeléséhez 0,1 m nyitott vágathossz fenntartása szükséges. A feltárási — elővájási műveleteknek a tömegtermeléssel való összefüggését azonban még inkább jellemzi, hogy országos átlagban az összertermelés mintegy 15%-a, az összes kitermelt ásvány és meddőanyagoknak pedig kerekén 20%-a kerül ki elővájásból, vagy feltárásból.

E vágatok biztosításának, sőt a vágathajtás bármely munkafolyamatának korszerűsítése, vagy észszerűsítése terén — a legutóbbi évek eredményeit és törekvéseit is figyelembe véve — még mindig igen kevés előre haladás történt. Egyes üzemeknél nemcsak új munkamódszerek, vagy eszközök megalkotására, hanem a máshol már alkalmazott és jól bevált új módszerek helyi bevezetésére való törekvés hiánya is megállapítható. A ciklusos munkaszervezés tekintetében például hazai *bányászati mélyépítésünk* még mindig csak az idestova öt esztendővel ezelőtti Baross-aknai kezdeményezésnél tart (a munkahelyi grafikon első alkalmazási kísérlete 1947. VI—VII. hónapjaiban a Wiesner-táró áttörésénél). Ezenkívül *egyetlen esetben*: a Petőfi-altáró hajtásánál végeztek kb. egy esztendeje már kétségtelenül fejlettebb kísérletet. Ugyanígy — a biztosítás kérdésére visszatérve — a *vándorjellegű faldomfalazat* bevezetését egy 1950-ben publikált körlevél alapján 22 üzem tartotta halaszthatatlannal és égetően fontosnak — de a mai napig mindössze négy üzem valósította meg. Van olyan bánya, ahol az idomok leszabva készen állanak, a vágatokban a legsúlyosabb nyomásjelenségek mutatkoznak s ezek maradéktalan elhárítása — az idomok beépítése híján — mégis késlekedik.

A továbbiakban a vándorbiztosítás egy másik, egyben *legjellegzetesebb formájával*: a *pajzshajtással*, illetve hazai alkalmazásának bizonyos lehetőségeivel kívánok foglalkozni. Az utóbbi hónapok folyamán szénbányászatunk illetékes köreiből — főleg külföldi tanulmányutakon szerzett tapasztalatok hatása alatt — több szó esett a pajzs védelme alatti tömegtermelés kikísérletezésének szükségességéről. Amilyen örömmel üdvözölhető e merőben új módszer gondolatának felmerülése, épp oly sajnálattal kell elkönyvelnünk, hogy a pajzsmunka *bányászati mélyépítésünkben* — bár nagyobb multra tekinthet vissza — ezideig kevés megértésre talált.

Brunel mérnök egy és egynegyed évszázad előtti szívós munkája a Themse alatti alagút hajtásánál a legkorszerűbb hajtó- és jövesztőpajzsrendszerek s a pajzshajtás túlnyomás alatti vagy normál légnyomás melletti munkamódszerének kialakulását eredményezte. Ma a Szovjetunió, Anglia és az Egyesült Államok 30—60 m² szelvényű közlekedési alagútjaiban 3—8 m/24 óra a kihajtás átlagos teljesítménye, de külön figyelmet érdemel, hogy a moszkvai Metró építésének 3. munkaszakaszában 24 óránként 12,4 m pajzshajtásos csúcsteljesítményt is elértek, állandójellegű öntöttvas tübbingbiztosítás beépítése mellett.

Kétségtelen, hogy a nagyteljesítményű pajzsjátók működtetésével folyamatosan mozgó pajzspáncél az elképzelhető legtökéletesebb ideiglenes biztosítási eszköz. Az egyes elemek kézbevitelének, azok helyreállításának, későbbi kiszedésének, új helyükre való szállításának és újbóli felhasználásának munkaidővesztése és mindezen folyamat nehéz testmunka igénye egyaránt elesik. A kőzetomlás okozta baleseti veszély s a kitöréssel kapcsolatos kőzetroskadás a minimumra korlátozódik. A biztosítási módszerek és eszközök jellegével mindenkor a legszorosabban összefüggő kőzetmozgásjelenségek mind a földalatt, mind a külszínen a lehető legkedvezőbben alakulnak. Pajzshajtás mellett érhető el a földalatti térkiképzés *válamennyi munkafolyamatának*

legtökéletesebb gépesítése. A gépek számára sehol olyan egyenletes és kedvező munkakörülményeket nem biztosíthatunk, mint az állandó szelvényű, tágas, s mindenkor maradandó biztosítással ellátott alagút jellegű vágatokban. Különösen áll ez *bányászatunk viszonylatában*, mert feltárásainknál 5,5 m-nél nagyobb átmérőjű szelvény csak alárendeltebb mértékben kerülhet alkalmazásra, márpedig éppen eddig az átmérőig tekinthető tökéletesen megoldottnak a pajzzsal egybeépített és együttműködő nagyteljesítményű marógömbös jövesztőberendezés.

Földalatti vasutunk állomási- és vonalalagútjainak kihajtásához hatalmas pajzspark fog rendelkezésre állani. Az első négy Hallinger-rendszerű pajzstól eltekintve, a többi *hazai iparunk* fogja előállítani, és pedig nemcsak azok vasszerkezetét, hanem az előretoló és visszahúzó sajtókat, a nagynyomású szivattyúkat és a teljes hidraulikus vezérlőberendezést is. Nem kétséges, hogy a földalatti vasút közel tucatnyi hajtó-, vagy jövesztőpajzsának elkészítése mellett, a magyar nehézipar *bányászatunk igényének jelentkezése esetén*, további egy, vagy két pajzs akár soronkívüli szállítására is vállalkozhat.

Laza és úszókőzetben telepített feltáró vágataink hajtásánál tapasztalt, valóban súlyos műszaki nehézségekkel kapcsolatban elég sok sikertelen kísérletet könnyvelhetünk el és ez elég nagy anyagi áldozatot jelentett. A nehézségek jövőbeni elhárításának komoly lehetősége a pajzsmunkával történő feltárás. E gondolatmenet lezárásaként mégis a gépesített pajzshajtás egyes nehézségeire kívánok rámutatni. Egyben — éppen a *földalatti vasút építésénél* elért legújabb kedvező eredmények alapján — olyan egyszerű, könnyen előállítható és működtethető berendezésre szeretném a figyelmet felhívni, mellyel a pajzsmunka bányászatunkban való kísérleteinek megindítása a legcélravezetőbbnek látszik.

A 9 m Φ -jű állomásalagutak pajzsbereendezéseinek súlya a 300 t-át is meghaladja, de a feltáróvágatok hajtása szempontjából tekintetbejövő 3,0—5,5 m Φ -jű gépesített pajzsok teljes súlya is 30—120 t között van. Súlyuk arányában az ilyen berendezések forintértéke feltétlenül milliós nagyságrendű. Igen nagy a gépesített pajzsok indításához és kiszerezéséhez szükséges földalatti munkakamrák helyszükséglete; ezek kihajtása hosszú hónapok költséges, olykor kockázatos munkája. A pajzs előrehajtásához szükséges és a kisebb átmérőjűeknél néhány 100 tonnától a nagy alagúti pajzsoknál 6—7000 tonnáig terjedő sajtóteljesítményt 500 at üzemnyomással működtetett hidraulikus berendezés szolgáltatja. Ehhez és a munkafolyamatok gépi végzéséhez energiamennyiség odavezetéséről kell gondoskodni. Végül a kőzetrétegek változó szilárdsága, az úszókőzetben való süllyedés lehetősége kisebb-nagyobb üzemzavar forrása lehet, ami fokozott gépesítés mellett mindig erősen érzékelhető.

Földalatti vasutunk építésénél, pilótaalagút hajtásához a közelmúltban könnyű, 3 m Φ -jű *kézműködtetésű* pajzsbereendezést szerkesztettek. Súlya csak néhány tonnát tesz ki, előállítási költsége ennek megfelelően 100 000 Ft alatt marad. Szétszerelt állapotban legnagyobb vasszerkezeti eleme is egycsillás kasban szállítható. A hidraulikus sajtók szerepét könnyen kezelhető laposmenetű csavarorsók látják el s ezek akár állandó jellegűnek építendő betonidomkő falazathoz, akár könnyű, vándorjellegű tübbingszegmensekhez támaszkodhatnak. Utóbbi esetekben a vágat a pajzs 15—20 méteres előhaladása után végleges acélív szerkezettel biztosítható.

Jövesztőberendezés a pajzzsal nincs egybeszerelve, így a szelvény előzetes kitörése szükséges. A vágóél előretolásával legfeljebb alárendeltebb egyengetési

munka végezhető. Megfelelően kitört szelvényben a vágóél, illetve a pajzspalást a csavarorsók működtetésével percenként 2 cm-es sebességgel hajtható előre. A pajzs első kísérleti alkalmazásánál pneumatikus üzemmenet és igen szűk szállítási kapacitás mellett, sűrített levegőjű kéziszerszámokkal való jövesztéssel 1 hónap átlagában 2 m/24 óra teljesítményt értünk el, kemény homokkő-beagyazással tarkított állékony agyagos kőzetben.

Meggyőződésem, hogy bányászatunk szempontjából ez a pajzstípus lesz legalkalmasabb a kérdéses *munkamódszer első tanulmányozására*. A fejlődés logikus menete szerint a vonatkozó tapasztalatok megszerzése után a teljesen gépesített *vághajtópajzsok* bevezetésével, következő lépcső gyanánt pedig a *pajzs védelme alatti tömegtermelés* eszközeinek és módszereinek megalkotásával is mielőbb foglalkoznunk kell.

»Kézi gépesítésű« kispajzsunk 3 m Φ -ig terjedő vágatszelvény ki-hajtására alkalmas, így mind a feltárások, mind az elővájások szempontjából komoly jelentőséggel bírhat. Feltárásokban a betonidomkó, elővájásokban pedig a vándortübbingek helyére illesztendő acélívbiztosítás jöhet tekintetbe. Messze vezetne, ha máris a későbbi tökéletesítés elvi irányjaival foglalkoznánk, annyit azonban szükségesnek látok megjegyezni, hogy pl. a pajzs törzsébe függeszthetően, vagy más módon szerelt *Szemán, Ajtay*, vagy más rendszerű, közepes teljesítményű jövesztőfej, betonidomkó helyett nagyobb tömbök elhelyezésére alkalmas »kézi erektor«, stb. megszerkesztése a teljesítményfejlesztés jól járható útjának látszik.

Mindezek nélkül is azonban, az eddigi tapasztalatok kiértékelése és bányászait adottságainkra való viszonyítása alapján 24 óránként 4—6 m *kitörési teljesítmény* előírható. Ha e mellett a pajzsmunka előnyei közül csak a nehéz testi munka elmaradására és a *Krupár* kartárs által is kiemelt faanyag-takarékosságra — esetünkben a faanyag teljes kiküszöbölésének lehetőségére — gondolunk, merem remélni, hogy a »kézi gépesítésű« pajzs sürgős kikísérletezésére tett javaslatom illetékeseink körében megértésre talál. A szükséges berendezést bármelyik bányagépjavító műhelyünk néhány hét alatt elkészítheti.

A kőzetmozgással kapcsolatban egyes hozzászólásokra utalva, ha kételyünk támadna afelől, hogy valamely földalatti vágatban, amely felé lefejtés közeledik a szakirodalomban »Weber-féle hullámok« fogalma alatt ismert jelenség, a húzott és nyomott kőzettartományok ritmikus változása, ennek megfelelően a telep kismértékű elvékonyodása, majd vastagodása bekövetkezik-e — ez a kétely még elviselhető. Ilyen kételyei támadtak például *ing. Spruth*-nak, aki hangot is adott azeknek a »Glückauf« valamelyik számában. Kapcsolatos álláspontját *Kegél* professzor a freibergi akadémia legutóbbi »Közleményei«-ben fejtette ki s a tudományos világ nagy érdeklődéssel figyelte a gyakorlati szakember és a kitűnő tudós érdekes vitáját. Ha azonban »megoldhatatlan kételyeink« már oda csúcsosodnak — mint éppen a hivatkozott megállapítások esetében — hogy valamely bányabeli munkahelyen hullámos nyomásváltozás, sőt továbbmenve: *maga a kőzetfeszültség* és ebből folyóan a *kőzetnyomás egyáltalán létezik-e*, ez az aporia már súlyos eset, éppen ezért cáfolatát kétségtelenül az *élettel* kell megadatnunk.

EI kell helyezni a süvegfa fölött, ha tetszik: az oldaltámok alatt, vagy falazott vágat esetében a falazat extradosa és a kőzet közé egy egyszerű

hidraulikus, vagy elektromos mérődobozt. — Rövidesen *érzékelhetjük*, hogy a mérőeszköz közvetlenül kalibrált mutatója: kitér. Kg/cm_2 kézzelfogható értékben fogja tehát szemléltetni, hogy *kőzetnyomás valóban létezik*, sőt az sem kétséges, hogy a fejtési homlok közeledtével a regisztrált érték változni — növekedni — a fejtés teljes közelségében pedig csökkenni fog. Ezzel a *nyomás-változás* lehetőségét is bebizonyította a mérődoboz, vagyis az élet.

Hasonlóan súlyosnak kell nyilvánítanom azt a felfogást, hogy a *bányászat nyersanyagának, a kőzetnek* ne kellene minden elképzelhető fizikai, mechanikai és kémiai tulajdonságát megismernünk, sőt továbbmenve: hogy ne ez volna bányászatunk tudományos fejlődésének *egyik legaktuálisabb problémája és leghelyesebb irányvonala*. A kőzetjellemzők ismeretére, ezek egymásközi összefüggésének megállapítására, sőt ma még esetleg nem ismert jellemző kikutatására szükség van, mégpedig a kőzetnyomás- és kőzetmozgásjelenségek lefolyásának pontos, *dialektikus* megismerése; vagyis e téren a teóriákat felváltandó *»tízisek«* megalkotása céljából!

Nem tudok egyetérteni azzal a megállapítással sem, hogy a kőzetjellemzők ismerete márcsak azért sem fontos, mert a bányaművelés során az *adott kőzet tulajdonságait* nem áll módunkban megváltoztatni. A legegyszerűbb példa keretében mindössze a kőzet víztartalmának annyira fontos szerepére és a víztartalom változásának oly sokféle lehetőségére utalok. Fel szeretném hívni egyesek figyelmét, hogy a kőzetek kedvező és kedvezőtlen tulajdonságainak kimerítő és okszerű ismerete esetében könnyen elképzelhető, hogy a kedvezőtlen tulajdonságú kőzet helyett a kedvező tulajdonságú kőzetben fogjuk vágatainkat telepíteni. Igenis szükség van ilyen értelmű vizsgálatok kiterjedt végzésére. Jó úton haladnak azok, akik a vonatkozó kérdésekkel foglalkoznak és e téren lényegesen több történt a *legutolsó években és évben*, mint azt az egyik felszólalás feltételezte.

Bányászati Kutató Intézetünk *Konrád-Horváth* rendszerű első hidraulikus kőzetnyomásmérő eszközeinek tanulmányozása révén a Földalatti Vasút a Műszaki Egyetem Gyártástechnológiai Tarszékének hathatós közreműködésével nagy pontosságú precíziós műszereket szerkesztett. Ugyancsak a földalatti vasút szakemberei a Tudományos Akadémia jóváhagyásával széleskörű tudományos programot dolgoztak ki a Kelet-Nyugati vonal építése során végzendő kőzetnyomás-megfigyelésekre. Megteremtették e program végrehajtásának anyagi feltételeit és precíziós földalatti és külszíni kőzetmozgás-megfigyeléseik máris kitűnő gyakorlati eredményként könyvelhetők el. Bányászatunk és algútépítésünk szakemberei tapasztalataik kicserélésére és problémáik megvitatására a Bányászati és Kohászati, valamint a Közlekedés- és Mélyépítéstudományi egyesületek munkabizottságában foglalnak helyet. Ide a jövőben még meghívást fog kapni mindazon munkatársunk, akinek működése kutatásainkat előbbreviszi, vagy aki szükségét érzi, hogy munkájában segítségére legyünk. Bányászati szolgálatot teljesítő kartársaink figyelme is egyre alaposabban és sűrűbben terelődik a kőzetnyomás-jelenségek vizsgálatára. Éppen az utóbbi évek során olvashattuk *Jámbor Miklós*, *Molnár Sándor*, *Félegyházi Dezső* és e sorok írója üzemi megfigyeléseinek publikációit hazai bányászati szaklapunkban. Néhány hónapon belül látnak ugyancsak napvilágot dr. *Konrád Ödön* és *Fekete Sándor* hasonló jellegű tanulmányai. Munkabizottságunk a megfigyelések gazdag anyagával rendelkezik már és programjába vette ezek rendszerezését, kiértékelését.

Mindezek elsorolása közben rendkívül megtisztelő az a tudat, hogy *Spac-keler* és *Esztó*, professzorok, *dr. Horváth József*, *Krupár Géza*, *Vargha Béla* — európai, vagy hazai relációban kezdeményezőink — jelenlétében számolhatok be eredményeinkről. Megállapítom azonban, hogy a magyar bányászati kőzetmechanika alapjainak megvetése körüli munka oroszlánrésze még hátra van. Éppen ezért megfelelőbb befejező gondolatot nem találhatok az elmondottakhoz, mint *legközelebbi teendő* gyanánt hazai bányászati *kőzetmechanikai laboratórium* felállításának időszerűségét hangsúlyozni. Szervezési vonalon e téren épp a közelmúltban történtek kezdeményezések s e fiatal tudományág valamennyi lelkes munkása őszintén reméli, hogy a laboratórium soronküüli megteremtésének, majd az arra rátermettek munkája révén a gyakorlati szempontból még teljesen fel sem mért jelentőségű kutatások nagyarányú kiszélesítésének akadálya nem lehet.

TÖMEGTERMELÉS ÉS A GÉPESÍTETT SZÉNTERMELÉS ÚJABB IRÁNYELVEI

PÉCZELY ANTAL

Iparunk, különösen a nehéz gépipar, soha nem látott arányú fejlődése, továbbá a villamosítás és a közlekedés mind nagyobb- és nagyobbarányú kibontakozása szinte hónapról-hónapra egyre követelőbben sürgeti az alapanyagokkal való ellátás erősebb ütemű biztosítását. Az alapanyagok között is legdöntőbb fontossággal bír az »ipar kenyere«, a szén, amely — bár az emberiség kultúrtörténetében csak alig egy pár évszázados multra tekinthet vissza és a jövője csupán néhány száz évre becsülhető — rövid pályafutása alatt élesen rányomta a bélyegét a maga korszakára. Kétségtelen, hogy nincs messze az idő, amikor egy többezerszeresen hatékonyabb energiaforrás fogja átvenni a szén kultúrahordozó és irányító szerepét és sokkal erélyesebb lökéssel fogja előbbrelendíteni mai kultúránkat, mint amilyennel a szénrel táplált gőzgép az akkori kultúrát előbbre vitte. Addig azonban még a szén az ipar bázisa, és a szén tömegtermelése az iparosodás szocialista arányú fejlődésének feltétele.

Általában mondhatjuk, hogy gazdasági vonatkozásban a szocialista ipar egyik legfőbb jellegzetessége a tömegtermelés, persze gazdaságos minőségi termelés alakjában. Azoknak a gig antikus létesítményeknek a megteremtéséhez, amelyeknek az immár kommunizmust építő Szovjetunióban egész sorozatát látjuk, az egyetlen lehetőséget a tömegtermelő rendszerek megszervezése adja meg. Az emberiség általános élet- és kultúrszintjének az emelése érdekében. — tudjuk — a Szovjetunió még a legmagasabb szárnyalású terveket is meg tudja valósítani, ha arról van szó, hogy a mostoha természet észszerű megváltoztatásával embermilliók élete változzék szebbé, jobbá, boldogabbá.

Anélkül, hogy ezzel a kérdéssel behatóbban foglalkoznék, megemlítem azt az egyébként mindnyájunk által ismert hírközlést, mely szerint a Szovjetunió a *Davidov*-féle gigantikus természetátalakító terv kivitelezésénél már az atombontás rombolóenergiájának felhasználásával foglalkozik. A valóban hegyeket rengető és völgyeket kialakító munka hihetetlenül merész terve csak egy egészen új világ, egészen új típusú tudós ainek az agyában születhetett meg, akik előre tudták, hogy a fantasztikus földtömegek mozgathatóságához kellő időben meg fogják teremteni a merőben új eszközöket is.

Az átlalános jólét emelése érdekében azonban az ipar és mezőgazdaság nagyarányú fejlesztését szolgáló építkezéseket addig is folytatni kell, amíg az atomenergiát be nem tudjuk fogni a szocializmus építésébe. Addig is fel kell lazítani és a rendeltetési helyükre kell szállítani a többmillió köbméteres földtömegeket és a feltaláló, szerkesztő és szervező emberi elme nem pihenhet, arra várva, hogy majd az atomenergiával minden megoldódik. Erről szó sem lehet, mert, mialatt a szovjet tudósok százai szinte éjt nappallá téve fáradoznak azon, hogy az atomrombolás révén felszabaduló óriási energiát mielőbb az emberiség felemelkedése szolgálatába állítsák, ugyanakkor a meglévő erőforrások legnagyobbfokú kihasználásával megállás nélkül épülnek a szinte elképzelhetetlen arányú létesítmények.

Ismerjük a volgai vízerő- és öntözőművek óriási tömegmozgató munkálatait, amelyeknél a tervek szerint közel kétmilliárd m³ kőzetet kell kitermelni és elszállítani. Annyi ez, mint ha egy Budapeستől Miskolcig húzódó 10 km széles sávon egy méter vastag földanyagot kellene megmozgatni. Ezzel szemben a világ eddigi legnagyobb földtömegmozgatása, a Panama-csatorna építésénél, a volgai építkezések egy tizedrészét sem tette ki.

Az ilyen nagy tömegek mozgatásához természetesen megfelelő jövesztő-, rakodó- és szállítóberendezések szükségesek. Hogy egyebet ne említsek, a volgai földmunkálatokra kidolgoztak egy 25 tonnás önbuktató tehergépkocsit, a MÁZ—525 jelűt, amely a SZE—3 jelű kanalas kotrógéppóriással együttműködve naponta 400—500 m³ földet képes 300—400 m távolságra elszállítani és a helyszínen önműködően kiüríteni. Magának az említett kotrógépnek a teljesítőképessége napi 4000 m³, úgyhogy a kotrógép teljes kiszolgálásához legalább 8 db 25 tonnás gépkocsi szükséges. Ezeknek a nagyteljesítményű önbuktató tehergépkocsiknak az alkalmazása a fáradtságos földmunka igényességének és költségének még további csökkentését is lehetővé teszi és biztosítja a földtömegek mozgatásának tervszerinti ütemét.

A szocializmusban azonban a nagy tömegek mozgatása nemcsak az építőiparban, a roppant nagyarányú építkezések létesítésénél jelentkezik, hanem, mint előljáróban említettem, az ipar nagyarányú fejlődése az alapanyagok, a szén és az ércek tömeges termelését is kötelezőleg írja elő. Azt a szénmennyiséget, amelyre az iparnak a szocializmus építésében szüksége van, már nem lehet azokkal a művelési rendszerekkel kitermelni, amelyek a szénbányászatban eddig gyakorlatban voltak. A kisléptékben gondolkozó és dolgozó, kicsinyes bányaműveléssel fel kellett, illetve fel kell hagyni, és helyette széleslátókörű, merész kezdeményezésű új, nagy százalékban gépesített művelési rendszereket kell alkalmazni, amelyek az eddigi kézműves-, vagy legjobb esetben kisipari jellegű szénbányászatot gépesített nagyipari jellegű bányáiparrá fejlesztik.

Ilyen szénipari tömegtermelés a külszíni művelés, a legnagyobbfokú gépesítéssel. Nem újkeletű termelési módszer ez, mert mindenütt, ahol a széntelep a külszín alatt olyan mélységben fordul elő, hogy a takaróréteg eltávolítása

gazdaságos, évtizedek óta termelik a szenet külfejtésekből. A nagy széntermelő államokban, elsősorban a Szovjetunióban, Amerikában, Csehszlovákiában, Lengyelországban az összes termelésnek meglehetősen nagy százalékát teszi ki a külfejtésekből termelt szén.

A külfejtések gazdaságossága a széntelep takaró kőzetretegek vastagságától és fizikai-mechanikai tulajdonságaitól, a széntelep vastagságától, a szén fizikai-mechanikai tulajdonságaitól és fűtőértékétől, a szállítási lehetőségektől, a művelési terület víztelenítési kérdésétől és a gépesítés fokától függ. Általában vastagtelepes puha barnaszéneket szoktak külműveléssel termelni, a telep vastagságánál legfeljebb négyszer vastagabb takaróréteg esetén. De fejtenek kemény, szívós, nagy fűtőértékű fekete kőszéneket és antracitokat is, különösen a Szovjetunióban, a telepnél 12-szer, 15-ször vastagabb takaróréteg letakarításával.

A külművelésekben a letakarítást kotrógépekkel, főleg kanalas kotrókkal végzik. Először a termőtalajt hordják le és tárolják külön halmazokban, hogy a külfejtés kimerülése után a visszahordott meddőanyagra ismét visszateríthessék a humuszt s így a bányászat ne vonjon el területeket a mezőgazdaságtól, ne tegyen szükségtelenül mezőgazdaságilag művelhetlenné egyébként termő területeket. Néha, különösen Amerikában, leginkább a mezőgazdaságilag művelhetetlen területeken óriási halastavakat képeznek ki és halgazdaságokat rendeznek be a felhagyott külfejtésekben.

Hazánkban is voltak szén-külfejtések, de a vastagabb takaróréteg az akkori tökéletlen művelési eljárások elé leküzdhetetlen akadályokat gördített. A néhány héttel ezelőtt megindított tatabányai külfejtés azonban azt igazolja, hogy érdemes a tömegtermelés érdekében átvizsgálni a régi gazdasági számításokat, mert ha a külfejtés feltételei közül egyik-másik súlyosbodik és az adott körülmények mellett lehetetlenné teszi is a művelést, esetleg más feltételek lényeges megjavításával, tovább biztosíthatjuk a gazdaságos termelést. Így az újonnan megnyitott tatabányai külfejtésekben a jövesztés és egészen az osztályozóig való szállítás gépesítésével a kismértékű előkészítéssel, rövidesen már napi 1000 tonna kitűnő minőségű alapszenet adhatunk át a nehézgépiparnak. A fejlődés iránya tehát az, hogy a letakarítást és a jövesztést nagyteljesítményű gépekkel kell végezni, teljesen kiküszöbölve a kézimunkát, a szállítást pedig nagyteljesítményű berendezésekkel.

A széntelepek települése azonban csak nagyon kevés esetben teszi lehetővé a külszíni művelésnek, mint legegyszerűbb tömegtermelésnek az alkalmazását. A széntelepek a gazdaságos letakarítás határértékénél rendszerint mélyebben fekszenek és így a mai bányászkodásnak gondoskodnia kell tömegtermelő mélyművelési rendszerekről és olyan munkaszervezésről, amely a »több, jobb és olcsóbb« termelés gazdasági elvének megvalósítását elősegíti.

Mint említettem, a sok és nehéz munkát igénylő kisteljesítményű kézi művelési módokat fel kellett váltania a gépesített művelésnek és olyan munka-

módszereknek, amelyek az ember kímélése mellett nagyobb teljesítményt biztosítanak. Így indultak el néhány évtizeddel ezelőtt a széleshomlokú, ú. n. frontfejtések, amelyek napjainkban már 200—300 m-es hosszúságot is elérnek. Ez azt jelenti, hogy 200—300 m hosszú szénfal előtti munkatérsgben, mint egy nagy gépgyár szerelőtermében, kézi jövesztés esetén 40—80 munkás is dolgozik, lehetőleg azonos körülmények között, kollektívában, sőt adott esetben közös brigádban. Gépi jövesztésnél ugyanabban a munkatérben természetesen sokkal kevesebb ember dolgozik. Keskenyhomlokú fejtésekből összeadva ilyen hosszú szakaszon 80—120 ember dolgozik és rakja csillébe a termelvényét, míg a széleshomlokú fejtésben közös szállítószalagra rakodnak és nem kell csillék tologatásával fáradni és időt rabolni.

A széleshomlokú fejtés tehát vitathatatlanul tömegtermelő rendszer, különösen, ha párosul a Szovjetunióban meghonosodott és nálunk is bevezetett ciklusos munkaszervezéssel és a szakaszosított munkavégzéssel. Kétségtelen azonban az is, hogy más tömegtermelő művelési rendszerek is alkalmazhatók, mert nem lehet mindenütt széles homlokkal művelni, viszont minden művelési módot ki kell fejleszteni tömegtermelővé. Lássuk most, hogyan állíthatók be a tömegtermelő rendszerek a különféle adottságok, különösen különböző vastagságú telepek esetén.

Vékony széntelepekben a szó szoros értelmében vett tömegtermelést nem lehet elérni. Azonban megfelelő gépesítéssel és munkaszervezéssel még a vékony telepekben is olyan teljesítményeket és viszonylag nagy termelést kaphatunk, amelyek feltétlenül indokolják a rendszer alkalmazását. Tudjuk, hogy a széleshomlokú fejtések a vékony telepekben fejlődtek ki, mégpedig a határtól hazafelé haladó fejtési rendszerrel egyidejűleg a mezőbe befelé haladó is. Az utóbbi különösen vékony telepben indokolt, mert a szállítópályaiban szükség-szerűen termelt meddőből tömedékpillért lehet építeni és nem kell kiszállítani a külszínre. Míg keskenyhomlokú műveléssel vékony telepben alig lehet elérni az 1,0—1,2 tonnás munkahelyi teljesítményt, ugyanott a kézi frontfejtés már 1,6—1,8 tonnás teljesítményt adhat, viszont a dolgozóknak rendkívül fáradtsággal és az egészségükre ártalmas fekvőhelyzetben kell feltakarítani a kiréselt és lerepesztett szenet. Ezekben a telepekben, egészen a legutóbbi időkig, az erősen gépesített réselés és szállítás mellett a kézi lapátolás volt a feltakarítás egyetlen módja. Minthogy pedig egyedül csak a Donyec-medencében az összes szénvagyonnak több mint a felét a 70 cm-nél vékonyabb telepek tartalmazzák, nagyon érthető volt a törekvés olyan gépesítés bevezetésére, amely a jövesztés minden munkamozzanatát, így a feltakarítást is elvégzi. Hosszú ideig megoldatlan volt ez a probléma és a donyeci-aknak csak nagyon lassan fogtak hozzá a 70 cm-nél vékonyabb telepek feltáráshoz. A legutóbbi időkig a termelésnek csak mintegy 20%-át adták ki ezekből a telepekből.

1950-ben a szovjet tervezők megszerkesztették azt a gépet, amely teljesen megoldja az egészen vékony telepek teljesen gépesített fejtésének a kérdését.

A gép fúrófejvel való forgácsolás elvén működik. A fúrókarok úgy vannak kiképezve, hogy a leforgácsolt szenet a gép mellett fekvő vonszolóláncos szállítóberendezésre továbbítják. A gép homloka körül még egy ú. n. réselő-rakodó konturlánc is működik. A konturláncba lapátok vannak beszerelve és így az nemcsak az egyengetés munkáját végzi el, hanem a jövesztett szén kihordásában, feltakarításában is segít a fúrókaroknak. A gépnek tehát külön feltakarító berendezése nincsen, ezt a munkamozzanatot is maguk a forgácsológépek végzik el.

Az ilyen vékonytelepben működő fejtőgépnél az is lényeges követelmény, hogy a gép a fronton oda-vissza munkamenetet végezzen, mert az üresjárású idővesztés nagy termelésvesztést is jelent. Ennél a gépnél ezt a kérdést is megoldották; a gép egy fogás kifejtése után megfordul és visszafelé is termelőmunkát végez. Visszafelé menetnél természetesen a fúrókarokat, a konturlánc fogait és kaparólapátjait át kell állítani, mert azoknak mindig a szállítószalag felé kell forogniuk, hogy az anyagot ráhordhassák.

A kísérletek idején a gép egy 53 cm vastag telepből óránként átlagosan 40 tonna szenet termelt. A havi átlagos termelése 2730 tonna volt, 2850 tonnás havi maximummal. Az egy főre eső átlagos műszakteljesítmény pedig 2,7 tonna.

Ezzel az UKT—1-gyel jelzett fejtőgéppel tehát lényegileg megoldottnak mondható a laposdőlésű 70 cm-nél vékonyabb széntelepek művelése. Csúpn huzamos üzemi kísérletek alatt szerzett tapasztalatok alapján kell még a gép teljesen zavartalan működése érdekében szükséges javításokat elvégezni.

Meg kell azonban jegyezni, hogy az UKT—1 frontális támadású fejtőgép, ezért a kezelő biztonsága szempontjából nem ideális. A gépkezelőnek ugyanis a 45—70 cm-es telepben a gép után hasoncsúszva kell haladnia a teljesen biztosítatlan főte alatt, mert a gép mellett közvetlenül a kaparószalag fekszik. Tehát ez a kombájn csak nagyon állékony főte esetén alkalmazható, ameddig a megfelelő ideiglenes biztosítási módot ki nem kíséreltezik.

Legújabb értesüléseim szerint a Szovjetunióban kidolgoztak egy, a Donbasz kombájnhoz hasonló fejtőgépet ezekre az egészen vékony telepekre. Ez az ú. n. »Gornják«. Most folynak vele az üzemi kísérletek és azok eredményei máris nagyon biztatók, mert az UKT—1-nél jobb teljesítménnyel dolgozik és a gépkezelő a gép mellett biztosított mezőben mozoghat.

Míg vékonytelepekben a tömegtermelés egyedüli rendszerének a széles-homlokú fejtést lehet tekinteni, középvastag és vastag telepekben más művelési módok is szóba jöhetnek, ha a többtermelés követelménye mellett a gazdasági szempontokat is figyelembe vesszük.

Középvastag telepekben, a tömegtermelés szolgálatába állandóan újabb és újabb gépi berendezéseket és művelési rendszereket vezetnek be. A többtermelés kérdésében a hangsúly ugyanis — mint az eddigiekből látjuk — a gépesítés fokán van. A gépesítés a biztosítéka a jövő fejlődésének. A gépesítés az emberi erő kímélése mellett hasonlíthatatlanul nagyobb teljesítmény elérését

biztosítja, a befektetett energiának szinte korlátlan kamatoztatásával. A fejlődés tehát az észszerű teljes gépesítésben van, abban, hogy mindent helyre megfelelő és annyi gépet állítsunk be, hogy a gépek munkáját teljesen ki is tudjuk használni. Meg kell említenem, mint a gépszerkesztés terén mutatkozó haladásra nézve jellemző állapotot, hogy, míg néhány évtizeddel ezelőtt az volt a törekvés, hogy a bányáinkhoz megfelelő gépeket állítsunk elő, olyan óriási teljesítményű gépszerkezetek látnak ma egymásután napvilágot, hogy a bányagépekhez kell megfelelő bányákat keresnünk.

Középvastag telepekben a jövesztés gépesítésének iránya különböző, aszerint, hogy lapos-, vagy meredekdőlésű telepek leműveléséről van-e szó, továbbá aszerint, hogy milyenek a szén és a mellékközetek tulajdonságai. Nem terjeszkedhetünk most ki a réselésen és forgácsoláson, szénfalmegbontáson és a teljes feldaraboláson alapuló gépi jövesztési módok részletezésére, de ki kell térnem arra, hogy milyen távlatok nyílnak meg a forgácsoló *Ajtay-Szilárd*-féle és a fejtőszőnyeges fejtőgépek előtt, továbbá, hogy milyen szerep juthat a megbontáson alapuló és kombinált gyalugépeknek, valamint a teljes feldarabolással működő legújabb típusú VOM—2-jelű hurokláncos fejtőgépeknek.

Középvastag telepekben — különösen duzzadó talp esetén, amikor hosszú vétagokkal nem lehet hazafelé haladó frontfejtéseket előkészíteni, mert a talpduzzadás miatt szükséges állandó vágatfenntartás a tömegszállítás folyamatoságát problematikussá teszi, a mezőbe befeléaladó frontműveléshez pedig tömedékanyag nem áll rendelkezésre, viszont a főte nem állékony — meg kell barátkoznunk a kamrapillérfejtés tömegtermelő rendszerré való kifejlesztésének gondolatával. A jövesztőgépeket megfelelő munkaszervezéssel a kamrapilléres fejtési rendszernél igen jól ki lehet használni, mert a szakosított ciklusos munkaszervezés meghonosításával el lehet érni, hogy a csoportosan telepített kamrákban a jövesztés munkamozzanatai úgy legyenek egymáshoz viszonyítva, időben eltolva, hogy a jövesztőgép csak addig nem végez termelőmunkát, amíg egyik munkahelyről átmegey a másikra. Itt meg kell jegyezni, hogy kamrapillérfejtésnél a nagy teljesítmény eléréséhez nem feltétlenül szükséges a jövesztés minden munkamozzanatát gépesíteni. Ha ki tudjuk küszöbölni a kézi fúróréselő és feltakarító munkát és biztosítjuk a munkahelyi szállítás zavartalan folyamatosságát — mint látni fogjuk — bizonyos körülmények mellett a millisekundos robbantási eljárással lerepesztett széntömegnek egy jó teljesítményű felrakógéppel való felrakása esetén a keskenyhomlokú szénkombájnokét megközelítő teljesítményeket érhetünk el.

A bányagéptervezők és szerkesztők a közelmúltban két keskenyhomlokú szénkombájnt hoztak ki. Az egyik az üzemi kísérletek alatt álló *Ajtay—Szilárd*-féle forgácsolófejű, a másik a fejtőszőnyeges »Petőfi« szénkombáj. Feltétlenül meg kell oldani, hogy a kamrapillérfejtésnél a betörő kamarát ezekkel a gépekkel hajtsuk ki, a pillér visszasedése pedig frontszerűen történjék. Így pl. egy 1,8 m vastag telepben úgy telepítjük a kamarákat, hogy a 6 m-re kiszélesített kamara

mellett az omlás felé visszahagyunk egy 3 m széles pillért, a kamarát 15 m. hosszban kihajtjuk, majd a visszahagyott pillért egész hosszában megtámadva, frontszerűen kifejítjük. Feltéve, hogy a kombájn műszakonként 5 m-t halad előre, 24 óra alatt leműveli a kamarát és átmegy a másik kamarába. A következő 24 óra alatt 3×5 fő vágár frontszerűen kiszedi az első kamara visszahagyott pillérjét. Fáziseltolással tehát a gép minden 24 órában fog terme lni 9 emberrel 210 tonna szenet, 15 vágár fejteljesítménye pedig egy műszakban 25 tonna, a frontmunkásoké 7 tonna, a közös teljesítmény tehát egy főre m úszakonként 13 tonna és egy kamara napi termelése 312 tonna lesz. Tehát két kombájnjal, teljesen koncentrált szállítási megoldással 2 kamarából ki lehet adni naponta 62 vagon szenet. Emellett a termelő munkások száma legfeljebb 50 fő. Feltéve, de meg nem engedve, hogy a szállító- és kiszolgáló személyzettel és a fenntartással ez a létszám a kétszeresére emelkedik és a teljesítménybe számító külszíni létszám ezt ismét megkétszerezi, a 200 fő összlétszámmal dolgozó üzem koefficiense 3,1 tonna/műszak lesz.

Azonosnak tételezhetjük fel a művelés eredményeit az átkonstruálás alatt lévő »Petőfi« fejtőgép esetében is. Minden reményünk megvan tehát arra, hogy a két új magyar gépnek széleskörű bevezetésével lökészerűen fog megjavulni a szénbányák teljesítménye és termelése. Ennek előfeltétele azonban a gépszerkezetek teljes üzembiztossága mellett, a bányabeli és külszíni szállítás átszervezése, mert meglévő berendezéseink tömegszállításra általában még nem alkalmasak.

Ha az említettek szerint ugyanazokat a kamarákat nem a minden fejtési mozzanatot elvégző kombájnjal telepítjük meg, hanem a milliszekundos robbantási eljárással lerepesztett szenet rakodógéppel rakjuk fel, akkor egy géppel 4 munkahelyet kiszolgálva, napi 300 tonnás termelést és 10 tonnás fejteljesítményt lehet elérni műszakonként. A termelés és teljesítmény tehát csaknem azonos, mint a kombájnokkal való jövesztésnél. Hangsúlyozni kívánom azonban, hogy a rakodógéppel való munkánál a munkaszervezés még sokkal lényegesebb követelmény, mint a kombájn művelésnél, mert míg utóbbinál a fejtés főmunkamozzanatai összefolynak egyetlen gépi munkává, addig rakodógépes művelésnél élesen elkülönülnek a fúrás, robbantás és feltakarítás munkafázisai. A kombájn esetében a szakosítás csak a gépi jövesztés, egyengetés és biztosítás többé-kevésbé egymásbafolyó műveletének az elvégzésére szorítkozik, a felrakógépnél pedig a fúrás, robbantás, rakodás, egyengetés és ácsolás egymást követő és egymástól időben is elválasztott műveleteit kell hasznosítani. A kombájn művelés ciklusgrafikonjában tehát sokkal több tartalék fér el, mert szélesebbek, bővebb munkatartalmúak a munkamozzanatok, mint a felaprózott fázisú felrakógépes körfolyamatnál.

Azokban a középvastag széntelepekben, ahol a közetviszonyok lehetővé teszik a hazafelé való frontműveléshez szükséges előkészítést, a frontkombájnokkal való művelés a tömegtermelés útja. Itt a szállítás után a második lényegbe-

vágó kérdés a főtegondozás megoldása. Közismert, hogy a magyar széntelepek legtöbbje nem állékony kőzetrétegek közé települt. Mint szélsőséges példát megemlítem az ózdvidéki közepső középvastag széntelepet, amelynek a közvetlen fedője helyenként finom homok, fekéje pedig duzzadó anyag. A főtegondozás csak egy vékony szénrétegnek a főtében való fenthagyásával oldható meg. A mezőbe befelé haladó műveléshez hiányzik a tömedékanyag, a hazafelé művelésre való előkészítésnek pedig akadálya a talpduzzadás, amelyet azonban gyorsvágathajtási rendszerrel és a fejtések gyors előrehaladásával elviselhetővé lehet tenni.

Ilyen esetben a gépesített frontfejtések jövesztőgépei a keskenyfogású széngyaluk, amelyek vagy magán a vonszolóláncos szállítóberendezés páncélkeretén haladnak, vagy mellette, de vele közös ácsolatkozásban. A széngyaluk 15—25 cm mélységben bontják meg a szénhomokot, a biztosítás tehát egészen keskeny ácsolatkozásokkal lehetséges és így előre tűzött, vagy csuklós főtegerendákkal a főtegondozás biztonságosan megoldható. Oldalréselőkarokkal kombinált széngyaluval pedig, amely függetleníti a széngyalu eredményes megbontó munkáját a hasznos nyomás és a munkahely felé dőlő vállaposodás kedvező alakulásától, valószínűleg megoldható lesz a kedvezőtlen településű széntelepek teljesen gépesített művelése.

A hazai települési viszonyoknál — véleményem szerint — eredményesen alkalmazható a Szovjetunióban szerkesztett és gyártott VOM—2 típusú hurokláncos szénkombájn is, mert kielégíteni látszik azokat a feltételeket, amelyek mellett a főtegondozás lehetséges. A gép ugyanis egyrészt nem a széles, hanem a keskeny oldalára, azaz »előre állítva« működik, tehát a szállítószalaggal közös ácsolatkozásban elfér, fogásmélysége 0,9 m, és így az utolsó ácsolatától a friss fronthomlokig a nyitott főtészelesség csak 2,10 m. Ebből természetesen azt a mezőt, amelyben a gép a szállítószalag mellett halad, előre tűzött főtegerendával lehet biztosítani, a kifejtett mezőbe pedig a gép előrehaladása után azonnal be lehet állítani az ideiglenes biztosítást. A huroklánc olyan magasságra állítható be, hogy a széntelepből egy szükséges vastagságú réteg a főtében maradjon és megakadályozza a fedühomoknak a munkatérbe való beömlését. Meg kell említenem, hogy a VOM—2 típusú gépekből leggyártott sorozat jelenleg huzamos üzemi kísérlet céljából a moszkvai-szénmedencében van üzemben. Ez a körülmény azért fontos, mert, bár a medence karbonkorú, a széntelepeket kísérő kőzetrétegek fizikai-mechanikai tulajdonságai sokban azonosak a mi miocén széntelepeink mellékközeteknek tulajdonságaival, valamint az ugyancsak általában laposdőlésű széntelepek a mieinkéhez hasonló mélységekben fordulnak elő, a talp erősen duzzadó és a főté éppoly kevésbé állékony, mint nálunk. Számunkra rendkívül fontos ennek a gépnek a moszkvai szénmedencében való kikísérletezése, hogy a már bevált géptípussal hasonló széntelepeinkben tovább folytathassuk az üzemi kísérleteket, az ottaniaktól esetleg részleteiben eltérő viszonyokhoz való alkalmazás lehetőségeinek feltárása végett. Meg kell még jegyezni,

hogy a VOM—2 szénkombájn teljesítménye óránként 60 tonna. Egy 2,5 m vastag telepen 63 m hosszú fronton havi átlagban 7000 tonna szenet termelt és a frontmunkások műszakteljesítménye 5,5 tonna volt.

Nálunk most huzamos üzemi kísérletek folynak a Szovjetunióban ma már széles körben használt Donbasz-kombájnak a mi viszonyainknál való alkalmazhatósága megállapítására. A gép eredményes alkalmazásának előfeltétele ugyanis az állékony főte, amelyet a működő gép körül 15—20 m² területen, ha rövid ideig is, biztosítatlanul kell hagyni, továbbá a megfelelő széles és hosszú vetőmentes szénmező. Ilyen fedővel rendelkező laposdőlésű középvastag telepünk kevés van. Meg kell teremteni tehát a kombájnos fronttelepítés lehetőségeit és meg kell oldani a kitermelt szén zavartalan szállítását egészen az osztályozóig, illetve, ha tárolási lehetőség nincsen, azon túl is, hogy a Dombasz-kombájnadta tömegtermelési lehetőségeket kihasználhassuk.

A meredektelepülésű vastag és középvastag széntelegek leművelésére az utóbbi években a Szovjetunióban kialakult az ú. n. pajzsos művelési módok néhány változata. A fejlődés természetesen nem áll meg és a meredekdőlésű telepek után a laposabb dőlésű telepekre is kialakulnak a pajzsos fejtésmódok, illetve pajzsos biztosítószerkezetek.

A pajzsos művelési mód eredetileg a meredek, vastag telepek leművelését szolgálta. A rendszer elve az, hogy az egyszer bebiztosított munkatérben a munkahelyeket a biztosítással együtt folyamatosan előre lehessen vinni anélkül, hogy új biztosítás beépítésére időt és anyagot kellene felhasználni és a biztosítás előreviteléhez magát a biztosítás súlyát és a behajló vagy beomló főterétegek nyomását is fel lehessen használni. Az utóbbi feltétel azonban nem minden esetben elérendő cél.

Alábbiakban ismertetni kívánom a *Csinakál*-féle pajzsos biztosítási, illetve művelési módot, amellyel a kuznyeckai medencében lényegesen felemelték a munkaterjesítményt, erősen lecsökkentették a bányafafelhasználást és nem utolsósorban, az eddiginél sokkal biztonságosabb munkafeltételeket teremtettek.

A rendszer úgy in dul meg, hogy a felső indulóvágatot a pajzsokkal bebiztosítják és a pajzsokra megfelelő vastagságú meddőanyagot (ütközőpárnát) raknak. A pajzsok alatt folyik a jövesztés; a kitermelt szenet feltöréseken gurítják le az alsó, szállító vágaton mozgatott csillékbe. Ezeket a gurítókat fűréssal állítják elő olyképpen, hogy a szállítóvágatról feltörésfűrógéppel 300—350 mm átmérőjű lyukakat fúrnak fel az induló vágatba a pajzsok alá és a lyukakat visszafelé kiszélesítik szélesítőfűréssal, vagy fejtőkalapácsokkal. A pajzs alatt a fejtést úgy végzik, hogy a pajzs két szénlábbon tudjon nyugodni. Amikor a szenet a megadott mélységig kifejtették, a pajzsokat tartó lábakat megbontják és a pajzs súlya, valamint a rajta fekvő meddő nyomása segítségével a pajzsot lejjebb csúsztatják. Így tulajdonképpen a jövesztésben nincs szakaszosság, hanem biztosítva van a folytonos, folyamatos termelés. A pajzsos munkahely

hossza 20 m, a telep vastagságának megfelelő szélességgel. A pásztagok hossza és szélessége 5—5 m; a munkahely hosszában tehát 4 pásztag van lefektetve és 5—6 m telepvastagságig egysoros, azon felül 2, vagy többsoros pásztagot építenek be. A pásztagok 20-as vagy 24-es U-gerendákból készült keretből állnak, melybe átlósan 20-as U-tartók, vagy 100×10-mm-es lapos acélok, keresztben pedig 16-os U-tartók vannak befogva. A kereteket sodronykötelekkel kötik össze, úgyhogy a pásztagjai egymás között hajlékony kapcsolattal bírnak, míg maguk merevek és nagy teherbírásúak.

A laposdőlésű telepek részére szerkesztett pásztagok már inkább azt a célt szolgálják, hogy a teljesen gépesített, jövesztés céljaira huzamosabb ideig elegendő szabad munkatér álljon rendelkezésre a nem állékony főte beszakadásának veszélye nélkül. Ezekkel nem kívánok részletesebben foglalkozni, azonban meg kell említenem egy kevésbé ismert, de nem kevésbé jelentékeny jövesztési módot, amelynek a megvalósítására olyan széntelepekben, amelyekben a nagy darabok nagy százalékos kihozatala a lényeg, éppen a pásztagos biztosítási rendszer adta meg az alapot. Ez pedig a front egész hosszában egyszerre történő réselés a Lomov-féle ZAL—1 jelű frontális kombájnnal.

A gép egy 20 m-es láncos réselőkarból és vonszolóláncos szállítóból, a réselőgépből, porfelrakóból, továbbá a motorból és reduktorból áll, mely utóbbiak a vonszolóláncos szállítóberendezés hajtását végzik. A réselőláncokat a 20 m-es fronthomlokra helyezik el és a hozzászerelt vonszolóláncos szállítóberendezéssel együtt, két réselőgép előretoló berendezésével kötél segítségével lehet a fronthomlokhoz szorítani. Az egyik réselőgép a felső légvágatba, a másik pedig a szállítívágatba van beállítva. A felsőnek csak az előretolószerkezete van használatban, az alsó pedig a réselőlánc mozgatását is végzi. Miután 40—50 cm-t a fronthomlokba beréseltek, a homlokot 1,8—2,0 m-es fúrólukakkal megfúrják és 3—4 lyukkal, rövid szakaszokban rálövik a szenet a réselőkarral egy testet képező szállítóberendezésre. Az aggregátum természetesen a robbantás idején is működik és folyamatosan kihordja a lerepezett szenet. Miután a lerepezett szenet a berendezés eltávolította, újra megkezdik az aggregátum előtolását, hogy ismét beréseljenek 40—50 cm-re a szénfalba. A ciklus addig tart, míg a szénhomlok 1,50 m-t előre nem haladt. Az aggregátum előretolásakor a pásztagos biztosítás előretolását is megindítják és így a berendezés mindig biztosított főte alatt dolgozik.

A kísérletek alatt a berendezéssel műszakonként 100 tonna szenet termeltek, 30—35 tonnás óraterjesztménnyel. Volt olyan csúcsterjesztmény is, hogy a kitermelt szénmennyiséget a fő szállítívágat SzT2—11-es szállítóberendezése nem győzte elszállítani.

Meg kell még röviden említenem egy tisztán fúró-robbantó munkára támaszkodó tömegtermelő, teljesítményemelő és anyagot megtakarító jövesztési módszert. Ez a millszekundus robbantási eljárással való jövesztés, amelyet

nálunk *Kóta József* Kossuth-díjas bányamérnök dolgozott ki és nagy találemény-sággal és nem kisebb fáradsággal a tömegtermelés szolgálatába állított.

A rendszer lényege az, hogy a munkahely homlokát nem a fúrólukaknak rendszertelenül egymásután, sem pedig pillanatgyújtással egyszerre való elrobbantásával bontjuk meg, hanem olyan időrendben robbantjuk el a fúrólukakat, hogy a robbanási hullámok interferenciái ne gyöngítsék, hanem erősítsék egymást.

Az eljárásnál számításba vesszük a kőzetmolekulák kritikus rezgését és úgy kell beállítani a fúrólukak egymás tkövető elrobbantásának az időzítését, hogy a robbanási hullámrezgés frekvenciája megegyezék a kőzet kritikus rezgésének a frekvenciájával. Ez számítás és gyakorlati kísérletezés dolga. Mivel a kőzetek kritikus rezgése különböző, tehát a szén rezgése különbözik a fedőköze tekétől, helyes beállítással elérhető, hogy az egymást erősítő robbanási hullámok fokozott hatása csak a széntelepre korlátozódjék.

Szénbányavállalatainknál a f. év második fele óta bevezetés alatt álló millszekundos robbanási módszer eddigi eredményeit tekintve bizvást remélhetjük, hogy általános bevezetésével, az erre felépített munkaszervezéssel és a szükséges műszaki javításokkal legalább 20%-os teljesítménytöbbletet fogunk elérni.

Visszapillantva az elmondottakra megállapíthatjuk, hogy a magyar bányáipar dolgozóiban is megvan a törekvés arra, hogy a művelési módjainkat tömegtermelő rendszerekké fejlesszék ki és felhasználják a külföld, elsősorban a szovjet élenjáró bányagépgyártás eredményeit, megállapítsák, bevezessék és meghonosítsák a mi nehéz bányászkodási viszonyainkhoz legmegfelelőbb gépesített művelési módokat és olyan géptípusokat szerkesszenek, amelyekkel a mi mostoha települési viszonyainknál a lehető legjobb eredményeket lehet elérni. Csak általánosságban és elvileg tárgyaltam a fejlődés irányait, mert ha részleteiben tárgyalhattam volna mindazokat a berendezéseket és művelési elgondolásokat, amelyekkel a magyar dolgozók igyekeznek, egyrészt a saját teremtő erejükből, másrészt az átvett eredmények felhasználásával, hozzájárulni széntermelésünk felfokozásával 5 éves tervünk teljesítéséhez, akkor az előadásomra szánt idő nagyon rövidnek bizonyult volna.

HOZZÁSZÓLÁSOK

PÉCELY ANTAL

»Gépesített tömegtermelés alkalmazása és a fejtési rendszerek újabb irányai«
című előadásához.

KRUPÁR GÉZA hozzászólása.

A tömegtermelés az időegység alatt lefejtett terület és a területegységre vonatkoztatott szénhozam függvénye. Ennek értelmében tehát egy meghatározott fejtési pásztában a fejtési sebesség, továbbá a széntelepvastagság, illetve vastag telepekben a szeletmagasság adja meg az időegység alatt termelt szén mennyiségét.

A gépesített tömegtermelésnél két fontos szempontot kell figyelembe venni, mégpedig a gépek kihasználási fokát és a megtámadott fejtési mezőből kitermelhető szénmennyiséget. A gépek határfoka az alkalmazott gép kivitelétől, továbbá a munkamenet megszervezésétől és a bányászati munkalehetőség megfelelő biztosításától függ. A kitermelhető szénmennyiséget meghatározza a széntelepvastagság, a fejtési rendszer és, azzal kapcsolatban az előkészített fejtési mező nagysága, valamint települési és egyéb adottságok. A tömegtermelésnél ezen tényezőket kell kihasználni mégpedig olyan módon, hogy a legkisebb területről elérhető maximális termelés biztosítva legyen.

A térbeli összpontosítás alapját a frontfejtési rendszerek képezik és pedig mind síkbeli kiterjedésben, mind pedig — vastag telepekben és több-telepes rétegcsoportnál — a széntelepvastagságra merőleges irányban, koncentráltan telepített frontokkal.

A gépesített és jól megszervezett kamarafejtések frontális visszasedéssel, kedvező közetviszonyok között hasonlóképpen biztosítják a tömegtermelés lehetőségét, azonban a kamaracsoportok körül kialakuló nyomásviszonyok a termelő munka zavartalan menetét — különösen omlasztásos fejtéseknél — károsan befolyásolhatják, hacsak szétszórtabb telepítéssel ezen nem segítünk. Utóbbi azonban az összpontosításra és így a beruházás nagyságára, a gépek kihasználási fokára kedvezőtlen.

A vékony széntelepekben mezőbe haladó frontfejtésektől várhatjuk a legnagyobb eredményt, amelynek gépesítését általában oldalkaros szénnyaluk kisebb típusaival lehet megoldani. Igen kiváló fejtőgépkonstrukció a vékony telepek fejtésére az UKT—2 fejtőgép, azonban ennek használata hazai viszonyok között korlátolt, mert a fogásmélység nagyobb és így a gép körül a szükséges nyitvatartandó terület igen jó főtét követel, ami pedig csak egyes helyeken áll rendelkezésre. A széntelep vastagsági ingadozása, ami szintén jellemző legtöbb vékony széntelepünkre, ugyancsak korlátozza e kiváló nagyteljesítményű fejtőgépnek viszonyaink között való általánosabb alkalmazási lehetőségét.

A Beien-féle réselőláncoz pánccélkeretes vonszoló a hazai vékony és különösen az igen vékony széntelepeink gépesítését kedvezően oldhatja meg, azonban ennél is a 70 cm-nél vékonyabb telepekben — a szükséges fejtési magasság biztosítása miatt — a fekü, vagy fedü megfelelő vastagságú utánszedésének és a kifejtett térben való betömedékelésének gépesítését meg kell oldani. Ennek egyik megoldási módja az előzetes főterés lenne, amellyel nemcsak a fejtési magasságot biztosíthatnánk, hanem a főterésbe az előbiztosítást is beépíthetnénk

miáltal a fogásmélységben zavartalan munkát és ezáltal nagyobb teljesítményt érhetnénk el.

A kiréselt anyag tömedékelése páncélkeretes csúszda esetén — a szállítási iránnyal ellentétes irányban haladó réselésnél — a csúszdáról kivezető csőrrel történhetne, illetve az azzal együttmozgó kisméretű röpitődobos megoldással, vagy a szovjet Paliz-féle tömedékelőgépek elve alapján. Feküszedés esetén a megoldás az előbbivel azonos lehetne, ebben az esetben azonban a réselőláncos páncélkeretes csúszdát az előzőleg elkészített résben kellene működtetni.

Mind a fedü-, mind pedig a fekérsés esetén a tömedékelést — a Szovjetunióban elterjedt módon — sarabolóval valószínűleg még egyszerűbb módon lehetne megoldani. Ebben az esetben résporkihordó szerkezettel kellene a réselőgépet felszerelni.

A meddőréseles megfelelő alakú és kis kopású réselőkarmokat követel. A fedü-, vagy fekérsés elkészítése esetleg millsecundos robbantással is lehetséges.

Félmeredek dőlésű telepekben az oldalrészkáros szénnyalu legkisebb típusa oldhatja meg a gépesítést, torlasztótárcsás szállítóberendezés alkalmazása és a keletkező szénpor lekötése mellett. Igen valószínű, hogy a gyorsabb előhaladással kapcsolatban, különösen a nehezen omlasztható, vagy nem omló fedünél fapillérezés helyett tömedékelésre lesz szükség. Az omlasztást 2—3 fogásmélységnek megfelelő szélességű pásztáncént, sarabolóvitlával kellene megoldani.

Vékony széntelepekben a kiserővágatok gépesített hajtása, illetve a meddőutánvét gépesített végzése, valamint a meddőanyagok a fejtési szélesítésbe való tömedékelése megoldásra váró feladat. A jövesztés repesztéssel megoldható, a készletfelszedés pedig nyalábolókaros rakodóval és ahhoz kapcsolt rövid felhordó-szalaggal. Ez a szerkezet talputánvét esetén a meddőkészletet kis típusú röpitőszalagra adná a kiszélesített térbe való röpités céljából.

Fedüszedés esetén a készlet elszállítását és tömedékelését a szovjet megoldásoknak megfelelően sarabolóval lehet elvégezni, vagy könnyű felrakóval kapcsolt röpitő-szalaggal.

Közepes vastagságú telepekben gépesített tömegtermelést a vékony telepekhez hasonlóan, szintén koncentrált telepítésű frontfejtéssel lehetne elérni. Duzzadó agyagfekü esetén 1,8—2 m széntelepvastagságig mezőbe haladó iránnyal, minthogy így a vágatok állékonyságát és ennek megfelelően a lefejtendő pászta hosszát növelni lehet. A haladópásztás rendszer telepítésének feltétele, hogy a fejtési szélesség, azaz a frontfejtések homlokhossza nagy legyen, mert így leggazdaságosabb a drágább vágatfenntartás ellensúlyozása. A vágatok szegélyezéséhez szükséges tömedékanyagot a nagyobb méretű vágatszelvény utánvétjéből, továbbá — omlasztásos fejtés esetén — az omladékból is lehet biztosítani.

Nehezen omló fedünél, ahol kritikus szakaszos nyomások várhatók, teljes vagy részleges gépi tömedékelést lehet alkalmazni.

Igen nagyon és igen nagy táblákban, valamint nem omlasztható fedüközetről, továbbá egyes elszigetelt kisebb területeken a *kamarafejtések* adhatnak eredményesebb és nagyobb termelést, azonban a fekéviszonyoknak ebben az esetben igen kedvezőnek kell lenniök, mert különben a kamarafejtések csoportosítása, a szállítókivágatok állékonyságának biztosítása a gazdaságosság keretein belül nem oldható meg.

A kamarák gépesítésénél meg kell állapítani az optimális előrehaladási szelvényt, amely az alkalmazott gép méreteinek és teljesítményének, valamint munkalehetőségének a legjobban megfelel.

A kamarák frontális visszaszedése e két fejtésmód előnyeit kiválóan egye-
síti, azonban a folyamatos termelés biztosításához szükséges nagobbmértvű
összpontosítás, omlasztásos fejtés esetén, kedvező mellékközeteket követel meg,
hogy a nagyobb terjedelmű gépeknek egyik helyről a másik munkahelyre való
akadálymentes átszállítása biztosítva legyen. Tömedék alkalmazása esetén az
utóbbi feltétel kielégítése a kamaraméreték egészszámú többszörösének meg-
felelő pilléreknél könnyebben megoldható, minthogy a nyomásviszonyok,
megfelelő vágatbiztosítás mellett, kedvezőbbek lesznek, a megfelelően megnö-
velt vágatszervény pedig szűkülése esetén is biztosítja a gépek helyváltoz-
tatásának lehetőségét.

Kamarafejtések telepítése gázos és tűzveszélyes bányákban nem lenne
célravezető, minthogy a sokkal gyengébb szellőztetési lehetőség mellett a szén-
telep morzsolódása és így a felület megnövelése folytán a gázfeljődés igen inten-
zív és ennek következtében a robbanásveszély és tűzveszély fokozódnék.

Az egyes kamarafejtések hosszát az alkalmazott gép teljesítménye, továbbá
a település, valamint a várható nyomásviszonyok szabják meg. A kamarahossz
megállapításánál arra kell törekedni, hogy a lefejtés időtartama a legkisebb
legyen, de arányban álljon a maximálisan kitermelhető szénmennyiséggel,
a gép legjobb kihasználásával, valamint a várható nyomások fellépésének
időpontjával. A kamarák szélességi méretének megállapításánál, a használatos
gép munkafeltételeinek már említett követelményén kívül, arra kell törekedni,
hogy az egyszerű kivitelű biztosítás a gép előrehaladásának megfelelő gyorsaság-
gal, könnyen beépíthető, a gép feletti biztosítatlan rész pedig az utolsó ácsolatról
előretűzhető legyen.

Nagyteljesítményű vágathajtógép alkalmazása esetén a kamarafejtések
vágatszerű fejtésekre redukálódhatnak. Ebben az esetben a lefejtendő terület
növelését, kisebb szélesség mellett, a kihajtandó nagyobb hosszal lehet elérni.
Ez pedig csak úgy lehetséges, ha a gép teljesítménye igen magas és a jövesztés
és rakodás munkáját úgyszólván tökéletesen elvégzi, a vágatot pedig a gép körül
annak működése közben lehet biztosítani.

A folyamatos termelés biztosítása céljából szükséges, hogy a gépesített
vágatszerű fejtésnél egy-egy gépre legalább két szénpillér jusson. Ebben az eset-
ben míg az egyik munkahelyen szénelés történik, addig a másik munkahelyet
omlasztják, vagy tömedékelik. A két munkafázisnak lehetőleg egyenlő időtarta-
munak kell lennie.

A kétmunkahelyes megoldás a kétszárnyú frontfejtéshez hasonló lenne
azzal a különbséggel, hogy a jövesztőgép teljesen új fogásban haladna, a lefejtett
egyed fogások pedig, illetve esetünkben a vágatszárnyak a szénfalig, vagy a
szénfalnál történő előbiztosításig lennének beomlasztva. Az új fogás előbiztosi-
tása sorácsolatokkal, támcsoportokkal történhetne olyan módon, hogy a szénfal
és a biztosítás között légvezetésre és szükség esetén közlekedésre kanálisszerű
nyílás maradjon. Természetesen ebben az esetben az előző omlasztásnak néhány
órával előbb kellene elkészülnie, mint a következő fejtési fogás kezdésének idő-
pontja. Erre azért van szükség, hogy az omlasztás utáni fedürétegmozgások
teljesen befejeződjenek és így az intenzív nyomás már megszűnjön, amikor a
jövesztési munka a következő fogásban elkezdődik.

Az utóbbi megoldásnál a tömeges elszállítás és a mellékmunkálatok
időben való gyorsabb elvégzését olyan módon lehet legkönnyebben megoldani,
hogy a szállítóberendezést már a jövesztés ideje alatt a légkanálisba helyezzük át.
Ingakocsik használata kedvezőbb fekvő igényel, a gép után vonszolt hosszabbít-

ható folyamatos szállítóberendezés alkalmazása körülményesebb. Nagy teljesítmény és tömedékelés esetén két szállítóberendezés is alkalmazható a fogás két oldalán, amelyek közül az egyik, a már előbb említett légkanálisban elhelyezett szállítóberendezés, a másik pedig a gép után lefektetett és a gép előhaladásának megfelelően állandóan hosszabbított, tagonként, vagy rövid szakaszonként meghajtott láncos vonszoló, vagy kedvező nyomásviszonyok esetén gumiszalag lenne a szénhomlok fala mellett a következő fogás légkanálisában.

A fejtések biztosításánál acéltámok és csuklós süvegek alkalmazhatók.

A középvastag telepek frontfejtéseiben, vagy pedig a kamarafejtések frontális visszaszedésénél a VOM-kombájn igen kiváló eredményeket biztosítana, azonban a 0,9 m-es fogásmélységet tekintve a kisebb állékonyságú fedüközeteink miatt általános alkalmazása nem lehetséges. Csuklós süvegekkel való előretűzés esetén a fogásmélységben való biztosítás keményebb fekülőzetnél teljes mértékben meg lenne oldva. Települési viszonyaiak azonban sajnos nagy általánosságban olyanok, hogy a közvetlen fekülő gyenge, sőt plasztikus, ami pedig a tárnok nagyobb megterhelését nem engedi meg és így a megkövetelt fejtési állékonyság kétséges. A csuklós süveges acéltámok és pajzsok kombinált használatánál az utóbbi hátrány kiküszöbölődne. Laza, omlékony, esetleg szénbőrke-igényes homokfedű esetén azonban tanácsosabb ilyen viszonyok mellett is a nagyobb típusú oldalrészkáros gyalugépnek a használata, mert ilyen módon a fogásmélység 0,5 m-re redukálódik, ami rövidebb ideig biztosítás nélkül is megáll.

Két-három szeletvastagságú széntelepeknél az egyvágatrendszerű megoldásokra kell törekednünk és a fejtési rendszert úgy kell kialakítanunk, hogy a legfelső szelet a kísérővágatok kihajtásakor mezőbe haladó iránnyal legyen lefejtve, míg a másik két szelet frontfejtése egymást a magasabb fedűviszonyoknak megfelelő távolságban, hazafelé lépcsősen kövesse. Duzzadó agyagfekű esetén ez a megoldás azzal az előnnyel is jár, hogy a talpduzzadás intenzitása a vágatokban csökken, mert a felsőbb pászta lefejtése a duzzadó agyagban felszabaduló feszültséget nagyobb felületek nyitása révén kedvezően levezeti.

Közepes dőlésű vastag telepek esetén, ha a külszín védelme, továbbá a fedürétegek omlaszthatósága megengedi, az egyes szeletek koncentrált és gépesített fejtését egy vágatrendszerhez hasonlóan lehet megoldani. A két szint közötti pillérmagasságnak megfelelő hosszúságú haladó pásztás csapásmenti frontfejtéseknél ebben az esetben az alsó szállítívágatot a mélyebb szinten, a frontfejtéssel egyidőben annak alsó részén fedűutánvétellel kellene kihajtani, hogy a vágat melletti részhez a tömedékanyag egy részét biztosítani lehessen.

Az egyes szeletek fejtése mezőbe való haladási iránnyal történne, főszállítívágatul az első szelet szállítívágata szolgálna. Egymástól a magasabb fedürétegek omlaszthatóságának megfelelő távolságban telepített talppasztás frontfejtések szállítívágata ezzel szemben kisebb hosszra redukálódnék, melynek egy része a lepadolt főte alatti szénben hajtott vágatra esnék. A másik részt pedig ugyancsak lepadolt főte alatt tömedékben kellene fenntartani.

A lépcsős szeletek szállítívágatai olyan módon is megoldhatók, hogy azokat a frontok előrehaladási sebességének arányában a következő harántvágatok között előre kihajtjuk, miáltal a lefejtett részre eső vágatrész elmaradna. Természetesen mindenkor a nyomásviszonyok szabják meg az egyik, vagy a másik megoldási mód szükségességét, illetve lehetőségét.

A nyitvatartandó vágathosszakat az alsó szint főszállítívágatából 25—30 m-ként a fekülő felé hajtandó harántok egymástóli távolsága szabná meg. A szénben előre kihajtandó vágatrész azt a célt szolgálná, hogy a legközelebbi

harántvágat elérésekor a következő harántvágattal az összeköttetés már legyen és így a készlet elszállítása folyamatos lehessen. Természetesen a fejtési pászta hosszúságának alkalmazkodnia kell a meredekebb településnél használatos keresztvágatok egymástól való optimális távolságához. Az utolsó szelet szállítógátát az egész pásztahosszon meg kellene tartani, ugyanúgy az egyes harántvágatokat is, hogy ezáltal a következő szinthez tartozó széntelep lefejtésénél a légvezetés biztosítva legyen.

A felsőbb szinten a vágatrendszer lényegileg ugyanaz lenne, mint az alsó szinten, azonban a fejtési pászta teljes hosszában nyitvatartandó légvágatot itt a fekmű kellene kihajtani. A tömedékben hagyandó vágatrészek elmaradnának, csupán a frontfejtések előtt szénben hajtandó, az egyes harántvágatokig terjedő vágatrészekre lenne szükség, hogy ezáltal a légvezetés, közlekedés, anyagbeszállítás az egyes frontfejtésekben biztosítva legyen.

Az ismertetett fejtési rendszerrel a talppászták lepadolása és azoknak fokozatos és folyamatos süllyesztése az egyes frontokban a Szkorij-féle elgondolás alapján, vagy pedig pajzsos megoldással történhet. A jövesztés gépesítését oldal-káros szénnyalával; a szállítást pedig könnyebb típusú páncélkeretes vonzóval lehetne megoldani.

Talppasztás művelés a tűzveszélyt a legnagyobb mértékben csökkenti, azonban a tömegtermelés lehetőségének teljes biztosítása, továbbá a tűzveszély teljes elkerülése miatt szükséges, hogy az egyes szeletek omladéka iszappal legyen tömörítve, illetve átitatva. A keletkező szénpor leküzdésére és az intenzív szellőztetés megoldására a legnagyobb gondot kellene fordítani.

Az előadottakkal kívántam Péczy kartárs értékes tanulmányát alátámasztani és kiegészíteni, s.ilyen módon a szénbányászat fejlődésének elősegítéséhez néhány irányelvet jelentő gondolattal hozzájárulni.

HUSZ NÁNDOR hozzászólása.

Iparunk soha nem látott gyorsasággal és eddig szinte elképzelhetetlen méretekben napról-napra fejlődik. Az ipar ilyen nagyarányú fejlődését meg kell előznie az ipar energiabázisát képező szénbányászat hasonló méretekben való kifejlesztésének. A jövesztést kézi erővel végző és a ma még túlsúlyban lévő szétszórott pillérfejtési rendszerienk mellett szénbányászatunk az eléje tornyosuló feladatoknak megfelelni nem tud.

Péczy kartárs előadásában átfogó képet nyújtott arról, hogy szénbányászatunk fejlesztésénél milyen irányt kell követnünk, hogy a teljesen gépesített tömegtermelési módszereket megvalósítsuk.

Hozzászólásomban előadásának két részletét szeretném kidomborítani.

A vékonytelepek kizárólagos, a középvastag telepek uralkodó fejtési rendszerül pedig a különböző, mezőbe befelé és hazafelé haladó széleshomlokú, frontális fejtési módokat jelölte meg. A telep vastagságának, a szén keménységének, a fedő és fekmű milyenségének megfelelően vázolta a különböző alapelven, — réselésen, forgácsoláson, falmegbontáson — alapuló és a jövesztés és rakodás munkáját együtt végző szénkombájnokokat. A frontkombájnok, akár önjáró, akár önvonszoló kivitelűek, a fronthomlok mellett haladnak végig, vagy a talpon, vagy pedig a homlok mellé szerelt páncélkeretes vonzó peremén és a szénhomlokból mindig egy, a gép jellemzője által adott, szénsávot fejtenek le. A kombájnokokat a front végére érve, vissza kell vontatni, hogy újabb sáv lefej-

tését kezdhessek meg, vagy a front végén, mint az UKT—1-nél a gép jövesztő szerszámaikat kell átszerelni. Ezen idővesztés minimumra való csökkentése érdekében a ciklusos grafikon szerinti munka megszervezésénél a visszavontatási, vagy átszerelési időt a front átszerelési és omlasztási idejével kell összehangba hozni. A frontkombájnok kapacitásának minél jobb kihasználására való törekvés következtében kombájtípusonként kialakult a legmegfelelőbb front-homlok szélessége. Így azon kombájnoknál, amelyeket vissza kell vonszolni, 150 m széles, míg vékony telepekben, az UKT—1 alkalmazása mellett, 180—200 m széles fronthomlokok a legmegfelelőbbek. A gépek kapacitása tehát a helyes fronthomlok-szélesség megválasztásával növelhető. Ugyanakkor a frontok előrehaladási sebessége a kézi erővel művelt frontokéhoz képest lényegesen nem változott. A napi előrehaladás egyik gépnél sem haladja meg a 3 m-t.

A magyar szénbányászatban a telepek igen gyakran vetőkkel szabdalnak, így a legmegfelelőbb fronthomlok-szélesség nagyon sok esetben nem alakítható ki. Magától felvetődik a gondolat, hogy ilyen helyen olyan gépesítést alkalmazunk, amelynél nem a fronthomlok-szélesség növelésével, hanem a fronthomlok előrehaladási sebességének növelésével emeljük a kapacitást. Ezen kívánalom sokszor még akkor is felmerülhet, ha mód van ugyan a megfelelő homlokszélesség kialakítására, azonban a kőzetnyomásviszonyok a nagyobb előrehaladási sebesség mellett lényegesen kedvezőbbek.

A kérdést, mint ahogy Péczely kartárs is említette, a szovjet tervezők megoldották. A kikísérletezés alatt levő *Lomov*-féle szénkombájn egy széles-homlokú réselő- és rakodógép, amely a teljes fronthomlokon, annak egész hosszában, egyszerre jöveszt és rakodik. A biztosítóberendezés is mechanizált és automatikusan halad előre. A *Lomov*-féle fejtőgépnél a fronthomlok napi előrehaladása 8 m. Egy 74 m hosszú frontnak 1,8 m vastag széntelepnél a napi termelési mennyisége 130 vagon. A fejtési fejteljesítmény pedig 35 tonna/műszak.

A német bányászatban is foglalkoztak ezzel a problémával. A *Beien*-féle réselő-láncos páncélkeretes kaparó a teljes fronthomlokszélességet egyszerre végigréseli, majd automatikus előtoló szerkezet a résbe tolja. A szén vagy magától a kaparóra hull, vagy arra könnyen rájöveszthető.

Fenti eljárások, azaz a teljes fronthomlok egész szélességében egyszerre működő szénkombájnok a magyar szénbányászatban véleményem szerint igen nagy jövő előtt állanak.

Az előadó kartárs kihangsúlyozta a gépesített kamara-pillérfejtéses rendszerek kialakításának szükségességét is.

A magyar szénbányászatban igen gyakori az olyan település, ahol számtalan, kisebb nagyobb vető a telepet egészen keskeny csíkokra szabdalja. Másutt viszont, a fedű nagy magasságig igen kemény és homogén, omlasztásra nem alkalmas, így a széles-homlokú frontális művelés nem valósítható meg. Ezen telepekben a tömegtermelés egyedüli módja a gépesített, koncentrált kamara-pillérfejtés kialakítása.

A lehetőleg egy-két vágatra koncentrált kamrákban a fejtés gépesítése kétféle úton történhet. Vagy a jövesztést és rakodást egyszerre végző fejtőgépek, szénkombájnok alkalmazásával, vagy pedig a jövesztést és a rakodást is külön-külön géppel végezve.

A jövesztésre alkalmas réselőgép kialakítása helyett az igen szép eredményeket elért millisecondos robbantás alkalmazása célszerű. Ha a fűrőlyukak a széntelep vállaposodásának megfelelően helyesen vannak telepítve és a fedű eléggé állékony, 1,5 m robbantható le egyszerre. Az eljárás továbbfejlesztése

és a »Brenner«-féle hengeres betörőlövessel kombinálva, reményt ad arra, hogy 2—3 m-nek egyszerre való lerobbantása is sikerülni fog.

A rakodás gépesítésére, ahol a talp szilárdsága megengedi, igen előnyösen alkalmazhatók a nagyteljesítményű harácsolókaros önjáró rakodógépek. Az Sz—153 szovjet rakodóból a magyar bányászatban máris több példány van üzemben és az eddigi eredmények nagy reménnyel kecsegtetnek.

A kamara-pillérfejtésben a rakodás gépesítésére harácsolókaros önjáró rakodógépet alkalmazva a fejtési rendszer úgy alakítandó ki, hogy négy koncentráltan telepített kamra tartozzék egy rendszerbe. A jövesztést a munkahelyeken időben eltolva és egymásután végezve a rakodógép munkahelyről-munkahelyre vándorolva mind a négy kamra termelvényét felrakja. A gép tehát csak annyi ideig nem rakodik, míg egyik munkahelyről a másikra vándorol. Ezen rendszer-nél, jó munkaszervezés esetében, a gép kapacitása jól ki van használva és a napi 300 t teljesítmény könnyen elérhető.

Ha a talp puha — így a vastag telepeknél, ahol szeletekben, iszapolással művelnek — a nehéz önjáró gépek nem alkalmazhatók. Nem alkalmazhatók ott sem, ahol a gyenge fedű miatt sűrűn kell biztosítani, mert itt az aránylag nagyméretű gépek zavartalan mozgása nem biztosítható. A rakodómunka gépesítése céljából itt legmegfelelőbb a rázócsúszdára szerelhető rakodócsőr alkalmazása.

Az önjáró rakodógépeknél, de a koncentrált kamara-pillérfejtésekben alkalmazandó önjáró fejtőgépeknél, pl. az F—4-nél, valamint a láncszőnyeges fejtőgépnél is, a gép kapacitása mindig a munkahelyi szállítás függvénye. Ezen nagyteljesítményű gépeket csilleszállítással megfelelő módon kiszolgálni nem lehet. A mechanikus szállítóberendezések viszont sokszor magukat a fejtő- és rakodógépeket gátolják szabadabb mozgásukban. Ki kell tehát alakítani a szállítás olyan módját, amely a gépek mozgékonyságához rugalmasan alkalmazkodik és amellettt teljes egészében képes a gépek kapacitásának megfelelő termelvény mennyiség gyors és zavartalan elszállítására. Kialakítandók a telep viszonyainak megfelelő méretben a nagy 2—5 m³ űrtartalmú gumikerekeken járó akkumulátoros vagy úszókábelekről táplált, villamosmotorral meghajtott ingakocsik. Egy-egy fejtő- vagy rakodógéphez két ingakocsi alkalmazandó, melyek a termelvényt a 200 m-nél messzebb lévő főszállítóvágatba szerelt mechanikus szállítóberendezésre szállítják. Az ürítést a kocsi lemezszalagból készült fenekének mozgatása biztosítja.

A koncentrált kamara-pillérfejtéseknek millszekundos robbantással és rakodógéppel való felszerelése a magyar bányászatban nagy jövő előtt áll. Úgy Borsodban, mint Nógrádban számtalan olyan széntelep kerül művelésre, ahol a szénben komoly elkovásodások, kemény kő, pirit-beágyazások vannak, amelyek szénkombájnok alkalmazását nem teszik lehetővé, vagy ha lehetővé is teszik, a jövesztendő kemény anyag a gépeket idő előtt tönkreteszi. Itt tehát a jövesztés és rakodás munkáját külön kell gépesíteni.

A jövesztést és rakodást együtt végző fejtőgépek, valamint a millszekundos robbantás és külön rakodógép alkalmazásánál az elérhető eredmény a munka jó megszervezésétől függ. Míg a jövesztést és rakodást együtt végző fejtőgépeknél a munka jó megszervezése egyszerű, addig az egyes munkaelemeket külön gépesítve, azaz a jövesztést millszekundos robbantással, a rakodást pedig rakodógéppel végezve, a munkaszervezésnek sokkal körültekintőbbnek kell lennie. Legcélszerűbb a munkákat teljesen szakosítva végeztetni és egy-egy rendszerbe 4 munkahelyet összefogni. Egyidőben az egyik munkahelyen történhet

a fúrás, a másikon a töltés robbantás, a harmadikon a rakodás rakodógéppel és a negyedikon a biztosítás. A munkahelyek természetesen úgy csoportosítandók, hogy a rakodógép könnyen tudjon egyik munkahelyről a másikra járni. A munka tökéletes és jó megszervezése esetén ugyanazon teljesítmény érhető el, mint fejtőgép alkalmazása esetében.

A magyar szénbányászat már mind a széleshomlokú fejtések, mind pedig a kamara-pillérfejtések gépesítésének útjára lépett. Ötéves tervünk biztosíték arra, hogy ezen az úton haladva megteremtjük a teljesen gépesített tömegtermelési módokkal dolgozó szocialista magyar bányászatot.

SZÉKELY LAJOS hozzászólása.

Az előadó meggyőzően mutatott rá a tömegtermelés szükségességére, amely az embermilliók élet- és kultúrszintjének emelésére az egyedüli lehetőség. Szovjet példákat sorolt fel a békés építést szolgáló gigantikus alkotásokról s megállapította, hogy ezek létrejöttéhez, mint alapanyagra, elsősorban több szénre van szükség. Gazdasági követelmény tehát, hogy a »kézműves, vagy kisipari« jellegű szénbányászat nagyipari jellegű bányáiparrá fejlődjék. A tárgyhoz gyakorlati tapasztalatok alapján kívánok röviden hozzászólni.

Tömegtermelésre elsősorban a külfejtésekben és a széleshomlokú földalatti műveletekben van lehetőség. Egyetértek előadó azon véleményével, amely szerint a tömegtermelés érdekében érdemes felülvizsgálni, milyen határig lehet elmenni a takaróréteg és a széntelep vastagságának viszonyszámával. Nézetem szerint azonban, régi számítások átvizsgálása helyett, az alkalmazható gépesítésnek megfelelően a geológiai és egyéb adottságok mérlegelésével teljesen új számításokat kell végezni. A számítást minden bányavidéken gondosan kell végrehajtani, mert azonos költségtényezők mellett, mint pl. a jövesztés, vagy a letakarás költségei, más körülmények is közrejátszhatnak, melyek a rentabilitást döntően befolyásolják. Ilyenek pl. a takarórétegben csúszásra hajlamos lap; a letakarított anyag részére mélyebb szinten hányóterület hiánya; a fedőben úszóhomok jelenléte stb.

A régebbi számítások teljesen értéktelennek minősítendőek, ami példával is igazolható.

Az első világháború utáni időben és a második háború alatt az egyik legnagyobb hazai szénkülfejtésnek üzemvezetője voltam. A széntelep mélysége a külszín alatt 6—30 m között változott, vastagsága 10—15 m. Alkalmazott művelési rendszerünk, gépek hiányában, a földletakarásnál 6—8 m magas szintekben emberi erővel való jövesztés; a széntermelésnél pedig kézfúrás, jövesztés és rakodás. Ezzel szemben Tatabányán jelenleg mindezen munkálatokat gépekkel végzik. Így gyökeres rendszerbeli különbség mellett az összehasonlítás célravezető nem lehet.

E kérdés elbírálásánál ki kell hangsúlyozni a fontos importanyagok, mint pl. a fa, döntő szerepét, illetve külfejtés esetén annak mellőzhetőségét, valamint a tömegtermelés fokozhatóságát, amire régebben, éppen a kezdetleges berendezések következtében lehetőség nem volt.

Egyetértek előadóval abban is, hogy a ciklusos munkaszervezés kifejlesztése, párosítva a szakosítással, a földalatti bányászatban igen döntő a tömegtermelés szempontjából. A szervezetlen, széteső, kapkodó munka helyett így válik ütemezetté a termelés. Elmaradnak a termelési csúcsok, a maximumok és

a minimumok, az üzem kapacitása, s ezzel a dolgozók keresete új létesítmények nélkül is emelkedik. A tudományos alapon szervezett munka irányítása tejes embereket kíván, akiknek idejük van ezzel a kérdéssel behatóan foglalkozni. Különösen fontos ez olyan üzemeknél, ahol az adott viszonyok miatt sok kiskapacitású fejtésből kell a termelést biztosítani. Mivel a ciklusból való kiesésre ily munkahelyeken főbb a lehetőség a gyors beavatkozás érdekében ezek állandó szemmel tartására, irányítására van szükség. Az üzemeknél, sajnos, általában kevés a képzett műszaki munkaerő s így a közvetlen napi termelési feladatok megoldásán kívül eső feladatot alig vállalhatnak. Nézetem szerint a közvetlen munkarajvonásban dolgozó műszaki káderek kielégítő számban való biztosítása fontos súlyponti feladat, mert hiába van biztosítva a törzskar, ha hiányoznak a rajparancsnokok.

Hosszasabban foglalkozik előadó a tömegtermelés eszközeivel, a jövesztő- és rakodógépekkel. Ez a kérdés a pillanatnyi szükséglet és a lehetőségekre tekintettel, távlat szempontjából tárgyalandó.

A könnyű gépeket és ezek között leginkább a villamos szénfúrógépeket annyira megkedvelték, a dolgozók, hogy a vájár ma már azok nélkül nem is hajlandó dolgozni. Ez a szerszám a milliszekundcs rebbantással összekötve jó segítő társnak bizonyult, könnyen és biztosan kezelhető, a vele való bántásmódot rövid időn belül bárki elsajátíthatja.

A nagyteljesítményű fejtő- és rakodógépek alkalmazása terén véleményem szerint, ennél az állapotnál tartunk, amelynél a műszaki vezetők és a fizikai dolgozók közül még számszerűen kevesebben a gépektől egyrészt, mivel azok még kísérleti állapotban vannak, másrészt mert a nehezebb magyar bányaviszcnyok között legkedvezőbb alkalmazhatóságuk még nem kristályosodhatott ki. Ha meggondoljuk, hogy a csak szűken rendelkezésre álló üzemi létszám alig elegendő a napi termelési feladatok megoldására, úgy leghelyesebbnek látszik a gépkísérleti munkahelyek kivonása — teljes személyzetükkel együtt — az üzemek termelési hatásköréből és azoknak a feladat horderejét mélyen átérző lelkes gárdával való telepítése. Külön ki kell hangsúlyoznom, hogy a kísérleti üzem tartamára, amíg a gépek teljesen hibátlanul nem működnek, a gép szerkezetével és villamos szerelésével teljesen tisztában levő oly szakember állandó jelenléte szükséges, aki a géphibát képes azonnal kiküszöbölni. A gyors csere érdekében szükség van még megfelelő számú tartalékalkatrészre is.

Amilyen helytelen lenne a kísérletek tartama alatt, a gépektől azonnali eredményt, csodát várni, éppen olyan helytelen lenne alapos és hosszantartó kísérlet nélkül a gépek működéséről lekicsinylő véleményt adni, vagy a kísérletekkel felhagyni.

A Dorogi Szénbányánál 3 db Sz—153 szovjet szénfelrakógép van üzemben. Régi telepítésű bányáink szűk szelvényei következtében alkalmazhatósági lehetőségük korlátozott. Kitűnő tapasztalatokat szereztünk azonban velük ott, ahol a munkahelyek méretei az alkalmazást lehetővé tették. A gép 7 q szenet kb. fél perc alatt rak csillébe.

A házi gyártású *Ajtay-Szilárd*-fejtőgéppel az előadó által ismertetett fejtésmód szerint végeztük a kísérleteket és mivel viszonyaink mellett hosszú frontot alkalmazni nem lehet, a folyamatosság biztosítására a frontfeltörés magasabb és mélyebb szintjén váltakozva kívánjuk a fejtéseket telepíteni, hogy ily módon nyerjen kiküszöbölést az iszapolási szünet. A dőlésmenti használhatóság kikísérletezése, most van folyamatban kis dőlés mellett.

Előadó az előadásra szánt rövid idő alatt részletkérdésekre nem térhetett ki. Ez azonban nem von le semmit előadása értékéből, mert a nagyiparrá fejlődő magyar bányászat célkitűzéseit helyesen határozta meg. Minden remény megvan arra, hogy a magyar feltalálók a bányászattal tudományosan és gyakorlatilag foglalkozó dolgozók nagy kollektívája a mi nehéz problémáinkat meg is oldja.

Természetes, hogy ez nem várható röpké hónapok alatt, hanem következetes és szívós munkára van szükség a küzdelmek sorozatát jelentő úton.

ESZTÓ PÉTER hozzászólása.

Péczely kartársunk igen értékes előadásban megmutatta azt az irányt, amelyben bányászatunk gépesítésének fejlődnie kell, hogy célkitűzésünket, a szén gépesített termelését elérjük. Ehhez a célhoz vezető út azonban még igen hosszú, és bejárásához még sok kísérleti munka és küszködés szükséges. Szén-telepeinknek és mellékközeteinknek elég kellemetlen szilárdsági viszonyai ugyanis szinte minden újabb gépesítésnél új és új feladatok elé állítanak, mert sajnos igen kevés olyan bányánk van, amelyben a települési és a közetszilárdsági viszonyok azonosak lennének.

Helyesen mondotta tehát Péczely kartársunk, hogy a bányagépekhez kell a megfelelő bányákat keresnünk. Azonban ez csak átmeneti állapot. A szállítógépeken és a vágatokban használt felrakógépeken kívül szinte minden újabb bányagép beállítása még nem jelent új termelőmunkát, hanem egy-egy újabb kísérlet sorozatot, mely a legtöbb esetben az illető gép kisebb-nagyobb mérvű átkonstruálásával jár, amint ezt a folyamatban lévő kísérletek szinte mindenütt mutatják. Új bányagépeknek nemcsak a szerkesztésénél, hanem azoknak más bányákba való bevezetésénél is teljes mértékben érvényesül a dialektikai kölcsönös hatás. A géphez választjuk meg ugyan a leginkább megfelelő településű bányát, a munkahely méreteit, az előrehaladás irányát, a szállítás, a biztosítás módját, azonban menetközben éppen ezek mutatják a további lehetőségeket, amelyek a gép sebességének, meghajtásának, sőt gyakran szerkezetének megváltoztatását tehetik a jobb munka érdekében szükségessé, vagy a további fejlődés érdekében lehetségessé. A folyamatban lévő gépkísérletek tapasztalatai szerint ez a kísérleti munka, amely a bányagép átkonstruálásával is járhat, legalább egy, de esetleg több évet is igénybe vehet. Azért mondtam, hogy még hosszú az út addig, míg arra alkalmas bányáink nagyobb részét sikerül tömegtermelésre alkalmas gépekkel ellátni.

Addig is gondoskodnunk kell azonban az átmenetről és fel kell készülnünk a minél nagyobb méretű gépesítésre. Az átmenet : a szűk szelvények feloldása. Szűk szelvényeink : a szállítás, felrakás és biztosítás, és ami a fő, a koncentráció. Ezekkel azonban nem kívánok foglalkozni, hanem inkább a felkészülésre szeretnék rámutatni.

A bányászat e tekintetben is rosszabb helyzetben van mint a gyáripar. A gyáriparban ugyanis könnyen be lehet tanítani valakit egy nagyméretű automatagép kezelésére, mivel ott a gépet csak ki kell szolgálni. Ez elegendő is. A bányában is megtanítjuk a gép kezelését, ez azonban nem elegendő, mert a legjobban szerkesztett bányagép sem dolgozik automatikusan. A bányában a gépet állandóan irányítani kell, az akadályokat elhárítani és a változott viszonyokhoz alkalmazkodni. A bányában, ahogy Sztálin elvtárs mondotta, a technikát meg kell lovagolni. Ehhez pedig nagy körültekintés, alkalmazkodás és gyors

elhatározás szükséges, mert különben a legjobb gépből sem tudjuk a megfelelő teljesítményt kihozni. Ilyen szempontból tehát célszerű már jó előre kiválogatni, betanítani és kioktatni az arra legalkalmasabb dolgozókat.

Igen helyes az a megállapítás is, hogy a kombájnos művelés ciklusgrafikonjában sokkal több tartalék fér el, mint a felaprózott fázisú felrakógépes körfolyamatnál. De ebből is az következik, hogy a szakosított munkánál feltétlenül alkalmazni kell a ciklusos munkaszervezést, és itt az egyéni verseny-munkával szemben a ciklusgrafikon betartása lép előtérbe. Ezzel szemben a teljesen gépesített kombájnos munkánál a ciklusgrafikon betartásával szemben a munkaverseny lép előtérbe éppen azért, mert a kombájnos munkába sok tartalék fér el. Helytelen lenne tehát a bányagépesítések tervezésénél az összes gépek 100%-os kihasználásával kalkulálni, mert ezzel a folyamatos termelés érdekében lehetetlenné tennők az egyéni versenyből kialakuló csúcstermelések kihozatalát.

KOSCHATZKY LÁSZLÓ hozzászólása.

A gépesített széntermelés, valamint a tömegtermelési módszerek bevezetése — mint az előadásból is láttuk — magával vonja az elavult művelési rendszerek felszámolását. Hazai viszonylatban még számtalan példáját látjuk és műveljük ennek az olyan találoán jellemzett »kisléptékben gondolkozó, kicsinyes« termelési folyamatnak. Ugyanakkor már cselekvő résztvevői és szemtanúi vagyunk azoknak a jövesztőgépekkel folytatott áldozatkész kísérleteknek, amelyek a tömegtermelés új korszakának egyelőre csikorgó kapuit feltárni törekszenek. Bányászatunk kisipari jellegű művelési módjának felszámolása a megkívánt mértéknél lassúbb ütemben folyik. A maradiság csökönös béklyói mellett számos — hazai bányászatunkra jellemző — adottság részben önállóan, másrészt egymással kapcsolódva tornyosul az operatív beavatkozás szándékai elé.

Példának okáért :

Külfjétéseknél a tömegtermelésre való átállás csupán adott gépóriások birtoklásának problémája, mert ha ez adott, a többtermelés egyik napról a másikra megvalósítható, viszont a mély-bányászatban — bármilyen ötletes és kecsgetető kezdeményezés esetén is — hosszú hónapok, sőt évek szükségesek ahhoz, hogy az elnyűtt feltárások leművelése után áttérhessünk olyan tömegtermelésű vagy gépesített bányamezők lefejtésére, amelyeknél már nem okoz gondot a nagy helyszükségletű gépek tömeges beállítása, azok átszerelése és mozgatása.

Amíg a tervszerűen előkészített és a szociálista bányászokodás képét elénk vetítő új bányatelepítéseink üzemeltetése meg nem indul, addig »megfelelő bányákat keresünk« az óriási teljesítményű — és hozzáteszem — nagy helyszükségletet igénylő bányagépek részére. Érthetőnek és nem elítélendőnek találok ezért azoknak a törekvéseit, akik ma is még »a meglévő bányákhoz : megfelelő gép« elvére támaszkodva vélik az átmenetet megtalálni a tömegtermeléshez vezető út kiépítésére. Igazolja állásfoglalásunkat a közismerten gyenge fedüállékonyosság, mely a bányauregek biztosításánál csak kis szabad felületet engedélyez. Emiatt a nagy térszükségletű bányagépek mozgási lehetőségei nagyon korlátozottak, vagy pedig a gépszerkesztőket egymással ellentétben álló s így megvalósíthatatlan feladatok elé állítják. Itt mindjárt egy másik — a gépesített tömegtermelést gátló adottságot kell felemlítenem. Öröklött bányáink szállító — sok esetben — főszállító vágatai zeg-zugos kanyargós vonalvezetésűek, így a

tökéletesen gépesített munkahelyi szállítás esetében is csak szórványosan, legtöbb esetben egyáltalán nem biztosítják az elszállítás zavartalanságát, melyet a nagyteljesítményű jövesztőgépek teljes kihasználása megkövetel. A »vaktában« telepített vágatok nem biztosítékai a tömegszállításnak, különösen ott, ahol régi művelések között vagy vetővel szabdalt területen folyik a kis-kapacitású pillérművelés, esetleg a tömegtermelési fejtési kísérlet. Az elszállítás gépesítésével ezen a ponton elmaradtunk. Nincs meg a lehetőség pl. az egyhatású vágatokban — a gépüzemű tömegszállításra és azok munkahelyein a jövesztés gépesítése is legfeljebb csak addig jutott el a fejlődés útján, mint mondjuk a borbélyipar, ahol a modern szellemű iparos a nyírógépeket elektrifikálta. Esetünkben a fúrás vett indokolt lendületet, de mint mondtam, a szállítás (nem szólva a rakodásról) — nagyon lemaradt. Érdemes volna tudni, hogy hazai viszonylatban a tömegtermelésű munkahelyek munkahelyi szállításától az alap- vagy főszállító vágatig húzódó szállítási hosszakhoz viszonyítva, mennyi a görbe és egyenes vonalvezetésű, egy- és kéthatású vágatszakas, továbbá a szállítás egyenletességénél nem közömbös — közbeiktatott — gurítók, siklók, ereszkék, fékagnák, szóval a törések száma. Ezt az adatot tetézve az ürescsillvárásból kiértékelt lemaradással, felmérhetnénk az adott és még tartósan fennálló öreg bányáink szállításának gépesítési feladatait.

Gépszerkeztőink a gépesítési törekvések korszerű útját járva, a bányagépekhez megfelelő hányát feltételezve és annak elvén két hazai jövesztőgép típust konstruáltak, melyek főként középvastag telepeink elővájásait vannak hivatva gépesíteni. A jelenleg is folyamatban lévő üzemi kísérletekből máris kiviláglik, hogy különösen lapos dőlésű telepek csapásvágatainak gyorsütemű előrehaladásánál — a jövesztés és rakodási munkafolyamatok egyesítésével — beváltják az alkalmazásukhoz fűződő reményeket. Szükséges azonban, hogy a kísérletek során felszínre hozott tapasztalatok és kívánalmak alapján kiforrott javításokkal tökéletesen üzembiztossá tegyünk a gépeket. Így azok alkalmasak lennének arra, hogy a maradiságból eredő ellenszenvet bányászainknál legyőzzék. A maradiságot ugyanis olyan gépek bevezetésével lehet eredményesen felszámolni, amelyek a bányásznak — általuk rögtön megíthető — hasznos segítséget tudnak nyújtani.

Az előadó szavaiból kitűnően mindkét hazai gépnél meg kell találnunk annak a lehetőségét, hogy új fejtési rendszerhez is idomítottan a tömegtermelés szolgálatába állíthatók legyenek. Másszóval a gépekhez kell olyan fejtési módokat kidolgozni, amelyek alkalmazási területüket kiszélesítik. Ehhez szükséges többek között annak a dőlési határértéknek az ismerete is, amely mellett a gépek még gazdaságosan és üzembiztosan haladhatnak előre. Továbbá szükségesnek tartom azt is, hogy a gépkísérleteket megelőzve, vagy legfeljebb velük párhuzamosan haladjon oly irányú főtegonozási kísérlet, mely a biztosítási módok gépesítésével hivatva lenne a jövesztőgépekhez megfelelő nagyméretű munkaterületet teremteni. Mi gyakorlati-kivitelező bányászok, örömmel vehetjük tudomásul *Krupár* kartárs elhangzott előadásából kicsendült ily irányú kísérletek megindulását. Az említett kamrapillérfejtési rendszerrel *Péczy* kartárs 6 m-es kamraszélesség alkalmazását tételezi fel. Ez a mai gyakorlat szerint egyik gép alkalmazásánál sem érhető el. Az *Ajtay*-féle F—4 gépnél ez azt jelentené, hogy a homlokkal párhuzamosan, egymással egyvonalban elhelyezett két db 3 m-es főtegerenda támfáit a fejtés vonalában ki kellene váltani több mint 7 m-es hosszban, hogy a géppel a homlok egyik szárnyából a másik 3 m-es szárny támadásához átjárhassunk.

Dorogon a X-aknán végeztünk hasonló kísérletet a *Mihalics—Sárdi-féle* kamra-pillérfejtések leművelésénél $3,6\text{ m}$ talpszélességű, 20 m hosszú kamrákban, ahol mint csúcsot elértük az előadó által feltételezett 5 m/műszak előrehaladást. Ezek szerint a teljesítmény kalkulációja teljesen alátámasztott, csupán a kamraszélesség felére csökkentése miatt a gépi jövesztés termelékenysége (9 emberrel) napi 20 tonna helyett a pillérfronton dolgozók termelésére fog leredukálódni, ami a két Kombájnos üzemmenetnél $2,0\text{ t/műszakos}$ összkoefficientst nyújtana. Ez így is igen értékes eredményt jelentene.

Dorog abban a szerencsés helyzetben volt, hogy az említett két kísérleti gép beindításánál segédkezett, s így a »Petőfi« fejtőgép rövid üzemeltetéséből is levonhatta a következtetéseket. Ezeket hosszadalmas volna ezen a helyen és ebben a tárgykörben feltárni, csupán annyit kívánok megjegyezni, hogy jövesztőszerszáma — a lánoszönyög — tökéletesen fejt, jöveszti a szenet, sőt a szívós beágyazásokban, márgákban sem válogató. Ezért nézetem szerint alkalmas lesz nemcsak szén, de egyéb ásványtelepeink jövesztésére is. A $0,2\text{—}0,5\text{ m/perc}$ munkasebesség jccgal megkívánhatja a gépi, automatikus biztosítással való kombinációt. Oldalkihordásának létjogosultságát erősen vitatom, mert vágatkihajtásnál és kamra-pillérfejtésekben nem nyújt praktikus elszállítási lehetőséget, de vitatható az is, hogy frontális fejtésekben a hátsó kihordás nem teremtené-e kedvezőbb főtegonozási megoldásokat.

Azonošítom véleményemet az előadóval abban, hogy nem szabad az adott lehetőségek mellett elsiklani és a millszekundos robbantást a tömegtermelés érdekében össze kell kapcsolni a gépi rakodás immár adott mechanizmusával, a szovjet Sz—153-as rakodógéppel. Rendületlenül hiszem, hogy ha a millszekundos robbantás a maga nemében olyan fokra tökéletesedik, mint az említett felrakógép, akkor e két eljárás kombinációja, méltó vetélytársa lesz — különösen hazai viszonylatban — tömegtermelő gépeinknek.

Hozzászólásomban azt óhajtottam kifejezésre juttatni, hogy bányáink tömegtermelésre való fejlesztése terén egyformán fontos minden munkafolyamatnak egyidejű kimunkálása — akár az egyik, akár a másik véleményt valljuk is.

Végezetül ; úgy érzem, hogy ezen a helyen is honorálnunk és legmesszebbmenőkig támogatnunk kell azoknak a gépszervezőknek lendületes kezdeményezéseit, akik bányászatunk felfutása érdekében a fáradtságosabb — több kísérleti időt igénylő — új géptípusok megteremtésével szolgálják hazánk szocialista bányászatának felépítését.

KÖZETNYOMÁSKUTATÁS

Dr. Ing. SPACKELER G. professzor (Freyberg)

Mindenekelőtt elnézésüket kell kérnem, hogy előadásomat nem készítettem elő. Írásbeli jegyzeteim és fényképeim ugyanis otthon maradtak, s így kénytelen vagyok sok mindent emlékezetből előadni. Pontatlanságaimat ezért — kérem — bocsássák meg. Későn és utazás közben kaptam az értesítést, hogy a német küldöttség egyik tagjaként, én is tegyek eleget a budapesti meghívásnak, így már nem tudtam jegyzetemeimért hazamenni.

Kereken 25 évvel ezelőtt, amikor a kőzetnyomáskutatáshoz hozzákezdtem, az, tudományos szempontból még ismeretlen terület volt. Elvértve ugyan már azelőtt is ismertetésre kerültek ily természetű problémák, pl. az alagútépítők részéről. Itt *Comerell* és *Willmann* alapvető munkáira emlékeztetek. (1911—12). A legtöbb alagútépítő azonban túl nagy súlyt helyezett a számításra és túlkeveset a megfigyelésre. 1925. óta azonban a kőzetnyomáskutatás hatalmasat fejlődött. A világ összes jelentős bányavidékéről nyilvánosságra hoztak megfigyeléseket, melyeket egymással összehasonlítva ma már megállapíthatjuk, hogy a kőzetnyomás minőségi elemzése lényegében tisztázott. Nekünk azonban a mennyiségi elemzéshez kell eljutnunk. Ennek előfeltétele, hogy a megfigyeléseken túlmenően mérjünk is, a kőzetek tulajdonságait kellőképpen tisztázzuk és olyan elméletet állítsunk fel, amely a valóságnak megfelel és *matematikai egyenletek felállítását lehetővé teszi*. A *boltozatelmélet* és a *lemezelmélet* képviselői közötti küzdelemnek ezért el kell dőlnie, hogy előbbre jussunk. Ezt a kérdést azonban nem segíti elő, ha az egyik oldal képviselői a másik irányzat híveit ostobáknak nevezik és a másik véleményét egyszerűen elvetik, mint ahogyan ez, sajnos, megtörtént.

Előadásom első részében ezért ismertetni fogom, hogy a kőzetnyomáskutatás terén eddig mennyire jutottunk, milyen vizsgálatok állnak már rendelkezésünkre, ezek eredményei milyen általános érvényű következtetések levonására jogosítanak, s hogy ezeket a vizsgálatokat milyen irányban kell tovább folytatnunk.

1. A kőzetek tulajdonságainak kísérleti úton történő vizsgálata

A kőzetekkel nyomó- és húzó-szilárdsági kísérleteket korábban bányászok csak igen ritkán végeztek. Az építészmérnökök azonban, az építészeti tudomány érdekében, már gyakrabban folytattak kísérleteket. A bányász szempontjából

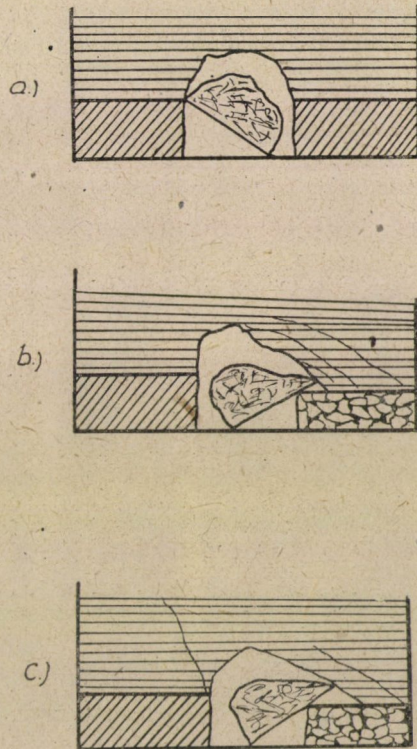
igen fontos hajlító- és nyírószilárdságokat azonban alig vizsgálták, továbbá a próbatestekkel az összes kísérleteket a szabad levegőn, nem pedig a hegy-szerkezetben, vagy legalább is minden oldalról ható nyomás alatt végezték. Elsőnek *Kármán* (1911) márvánnyal, később *O. Müller* és *Wöhlbier* (1931) karbonkorú kőzetekkel, mégpedig Zechstein-képződményekkel végeztek nyomóvizsgálatokat. Kísérleteik úgynevezett köpeny-nyomás mellett, vagyis a próbatest oldalfelületeire kifejtett, tetszés szerint szabályozható, nyomás mellett történtek. Ezek a vizsgálatok azt mutatták, hogy köpenynyomás segítségével a nyomószilárdság lényegesen emelhető. Pl. egy kereken 1000 kg/cm^2 kockaszilárdságú felsősziléziai homokkő törőszilárdságát 800 kg/cm^2 köpeny-nyomás alkalmazása mellett 4000 kg/cm^2 fölé emelkedett. Emellett feltehető, hogy a présforma bizonyos mértékig engedékeny volt; enélkül lényegesen nagyobb nyomószilárdságot lehetett volna elérni. A kísérletek továbbá azt mutatták, hogy valamennyi kőzet, mégha kis mértékben is, de összenyomható. Az összes megvizsgált kőzetek közül 2,5%-os értékével a kőszén bizonyult legnagyobb mértékben összenyomhatóknak. A legtöbb kőzet, közel a törési határig, rugalmasnak mutatkozott, vagyis a nyomás megszüntetése után visszanyerte eredeti alakját. Egyes kőzetek azonban a rugalmas alakváltozás mellett már plasztikus alakváltozást is szenvednek; ilyen például több agyagos kőzet. Ez a jelenség legfeltűnőbb a kőszén esetében. A tiszta kőszénél, már 40 kg/cm^2 igénybevétel esetében, rugalmas alakváltozás mellett plasztikus alakváltozás is fellép, ami folyamatosan fokozódik, míg 200 kg/cm^2 igénybevételnél úgyszólván csak plasztikus alakváltozás észlelhető. Éppen a legutóbbi két hónap folyamán állapítottam meg freiburgi laboratóriumomban, hogy néhány északnémet barnaszén is hasonló tulajdonságokkal rendelkezik. Egyes szénfajtáknál törésmentes alakváltozásokat kaptunk, melyek 50%-ban rugalmasiak, 50%-ban pedig plasztikusnak bizonyultak. Ugyanazon telepen belül teljesen rugalmas szénü teleppadok félplasztikusokkal változhatnak. Egyes szenek kemények és tökéletesen rugalmasok. Ily szénü széntelepek esetében bányarengések nem fordultak elő.

O. Müller és *Wöhlbier* kísérletei továbbá azt mutatták, hogy a kőzeteknél a rugalmassági modulus (E) értéke nem állandó, hanem a nyomás nagyságától függ. Egyes kőzeteknél, pl. a homokkőnél, a nyomással együtt nő, míg másoknál, pl. a palánál, a nyomás növekedésével csökken. Ez a magyarázata annak, hogy a bányarengés szempontjából a homokkő veszélyes, a pala pedig nem, noha a szokásos mérések szerint a pala rugalmassági modulusa nagyobb mint a homokkőé. Egyáltalában a kőzetek rugalmassági modulusa egyelőre még titokzatos jelenség. Az 1950-ben tartott leobeni kőzetnyomás-kongresszuson az egyik előadó, úgy hiszem *Bendel-Schweiz*, kimutatta, hogy a rugalmassági modulusra teljesen különböző eredményeket kapunk, ha azt nyomásmérés útján állapítjuk meg, vagy ha számítással a rugalmassági hullámok terjedési sebessége alapján. Hasonlóképpen, a rugalmassági modulusra egymástól egészen eltérő értéket kapunk próbadarab esetében és az anyakőzetben. Alpesi gneiszek-

kel végzett mérései oly értékekre vezettek, amelyek 50 és 500 kg/cm² között ingadoztak. Éppen ezért ezen a területen még hatalmas kutató munkát kell végeznünk, hogy a mennyiségi nyomásmeghatározáshoz pontos adatokat kaphassunk.

2. Modellkísérletek

A háború előtt Breslauban kísérleteket folytattam a minden oldalról nyomás alatt álló kőzetben fellépő jelenségek utánzására. Pontosan becsiszolt



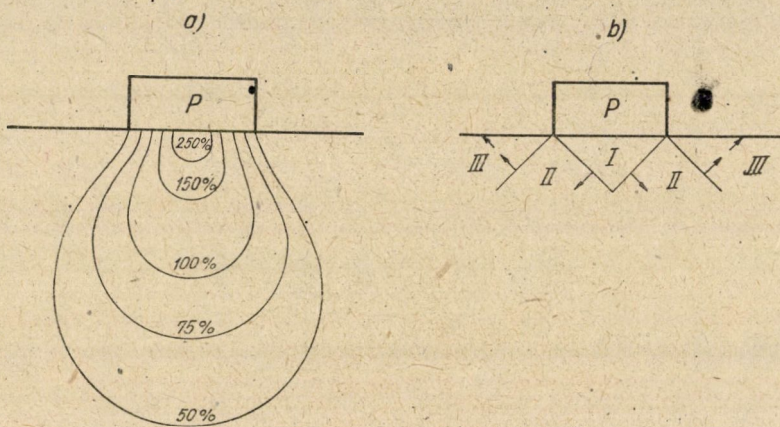
1. ábra

kockákat egy acélformában, a legkülönbözőbb feltételek mellett nyomás alá vettem. Erre néhány példa látható az 1. sz. ábrán.

Az 1/a ábra szerint a kőzetkocka acéllemezen állt, melynek közepén a fejtési üreget képviselő négyzet alakú lyuk volt. A terhelés hatására a lyuk fölött boltozat képződött, mely határozottan felismerhető volt arról, hogy a terhelés fokozása után a boltozatmag kinyomódott. Az 1/b ábrán látható kísérlet frontfejtést akart ábrázolni: a kocka alatt baloldalon vaslemez volt, mely a telepet helyettesítette. A középen levő üreg a nyitott fejtési üreget képviselte, míg a jobboldalon levő engedékeny fa a tömedék szerepét töltötte be. Itt is látható

volt a boltozat, amely a baloldalon élesen és meredeken emelkedett ki, jobbra, a tömedék felé, azonban ellaposodott, miközben több párhuzamos repedés is képződött. A legelső, 1/c ábrán, olyan eset látható, ahol a boltozatképződésen kívül, az ismert törésszögnek megfelelő repedés is jelentkezett. Ez utóbbi repedéseket arra vezettem vissza, hogy az acélforma ennél a kísérletnél nem volt eléggé lecsavarozva, s jobboldali irányban egy kis engedékenység állott fenn. Ilyen kitérés, nagyobb fejtési üregeknél, a bányászásban is lehetséges, tehát az 1/c ábra a gyakorlatban szokásos esetet ábrázolja.

Szememre vetették, hogy a boltozatelmélet híve vagyok, ezért kemény kőzet kiválasztásával a boltozatképződés szempontjából különösen kedvező feltételeket kerestem. Erre a vádra csak azt válaszolhatom, hogy minden kutató-



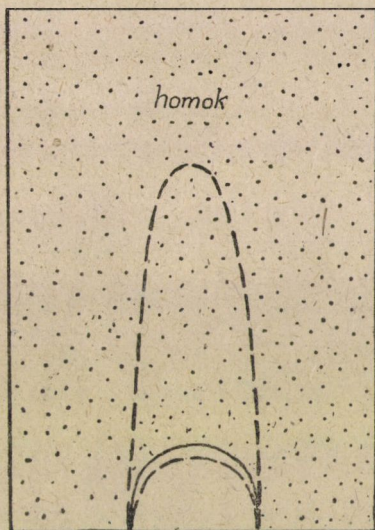
2. ábra

nak olyan feltételeket kell a maga számára teremtenie, amelyek világos ismeretekhez vezetnek. Visszautasítom azt is, hogy egyoldalúan a boltozatelmélet mellett török lándzsát. Véleményem az, hogy a boltozat-elmélet és a lemez-elmélet a jelenségeket csak együttesen tudják felderíteni, s a legtöbb jelenség a boltozathatáson alapszik.

Ezekhez a vizsgálatokhoz érdekes kiegészítő adatokat mutattak be a leobeni kőzetnyomáskongresszuson. A képeken bemutatott kőzetkockákban a vágatokat fúrt lyukak képviselték. Ezeken a vágatok éles sarkainál igen jól lehetett látni a kőzet belső összetöredezését. Mivel a vágatoknak a ma már általánosan alkalmazott boltozatos alakot adták, az üreg fölött a boltozatmag, természetesen, nem nyomódhatott ki.

A laza kőzetekre vonatkozó modellkísérletek közül jól ismertek a helyileg koncentráltan, súlyokkal terhelt homoktömbön végzett nyomáseloszlási vizsgálatok. Ezek során az ú. n. nyomási hagymaalakot kapjuk. (2/a. ábra)

A görbék az egyenlő feszültségű pontokat képviselik, s a P súly következtében előálló normál terhelés százalékáiban vannak felrakva. Kéményalapozásokra vonatkozó vizsgálatokhoz kapcsolódva dolgoztam ki a 2/b ábrán látható nyomáseloszlási vázlatot, amely nemcsak homokpakkolásokra, hanem szilárd kőzetekre is érvényes. Mivel a kőzetnyomás lefelé kúpszerűen terül szét, három különböző zónát kapunk: I. zóna, a *magas nyomó terhelés zónája*; a II. zóna az *egyoldalú igénybevétel zónája*; a III. zóna pedig a *nyomásmentes zóna*. A I. és II. valamint a II. és III. jelű zónák határvonalai mentén nyíróerők lépnek fel, melyek repedésképződésekre vezetnek, mint azt a frontfejtéseknél is gyakran megfi-

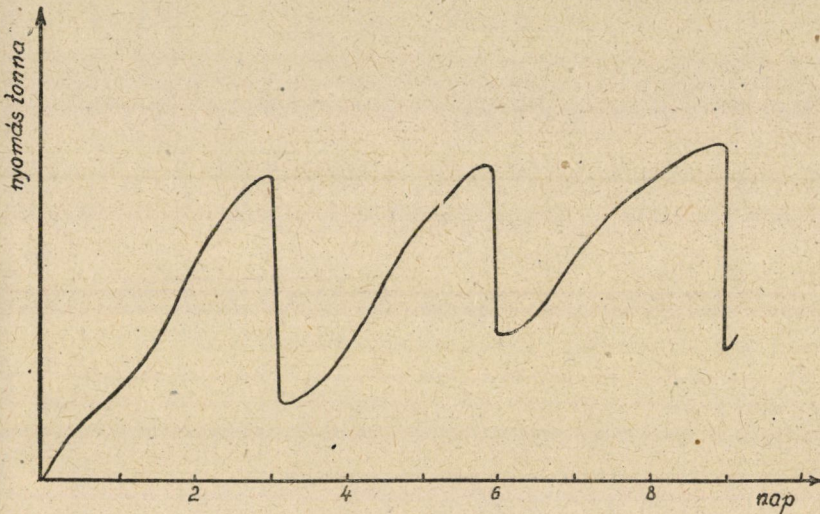


3. ábra

gyelhetjük. Ezzel egyidejűleg a függőlegesen ható terhelés a nyomás-esés irányában elterítődik, úgy, hogy a III. jelű zónában egy ferdén felfelé irányuló mozgás lép fel, mely a talaj ismeretes megemelkedésében nyilvánul meg. A modell kísérletek éppen ezen a téren fontos útmutatásokat adtak a bányászati megfigyelések tisztázásához. Loos és Brette az elmúlt év folyamán tanulságos kísérleteket végeztek — emlékezetem szerint Karlsruheban — a vágatok és alagutak fölött lévő homok viselkedésére vonatkozóan. Modelljüket a 3. sz. ábra tünteti fel. A táró szelvényét a falazat boltozatának süllyesztésével folyamatosan csökkentették. Eközben a homokban nyílt repedések képződtek, melyek a laza homokban is egy lassan mind magasabbra felfelé terjedő boltozatot képeztek, hasonlóan a gabonasilóknál és egyéb esetekben ismert jelenségekhez.

3. A kőzetnyomás közvetlen mérése

A legkülönbözőbb módokon megkísérelték a kőzetnyomás közvetlen mérését vagy legalábbis azt, hogy bizonyos mérési eredményekből a fennálló kőzetnyomás nagyságát kiszámítsák. A kőzetnyomás nagyságának megállapítására pl. felhasználták a gyűrűalakú vágatbiztosítások alakváltozását. Figyelmen kívül hagyták azonban azt, hogy a vágat körül a *Trompeter*-féle zóna már kialakult, tehát a vágatbiztosításnak nem a tulajdonképeni kőzetnyomást, hanem csak a vágatkerület mentén visszamaradó erők sugárirányú összetevőit kell felvennie. Bár kétségtelen, hogy az acélívek alakváltozásából a nyomás



4. ábra

időbeli és térbeli eloszlására következtetni lehet, a *Trompeter*-féle zónán kívül ható nyomás abszolút nagyságát azonban kiszámítani nem lehet. A biztosítás alakváltozásának az idővel együtt kell változnia. Így pl. a *Trompeter*-féle zóna nagyobbodása következtében — bár a kőzetben a feszültség ugyanaz marad — a biztosítás alakváltozásának csökkennie kell. Hasonlóan érvényes ez a kőzetnyomásnak az acéltámok megrövidüléséből történő kiszámítására is. Ennek alapján ugyanis csak a tám terhelését lehet megállapítani, mely csupán a fejtési terület fölött lévő boltozatmag fellazult tömegei súlyának felel meg, s a megbontatlan kőzetben lévő erők nagyságára és irányára vonatkozó végső következtetés levonására nem jogosít. A táma ható terhelésnek, többnyire a tám alá helyezett mérődobozok segítségével történő mérése is ugyanezen hátránnyal jár. Ennek ellenére ezek a mérések mégsem céltalanok. Fontos útmutatásokat nyújtanak ugyanis a feszültségek időbeli kialakulására és térbeli eloszlására. Éppen ezért folytattam tovább a német barnaszénbányászatban azokat a nyomásméréseket, amelyeket annakidjén elődöm, *Wöhlbier* professzor,

a »Braunkohle« című folyóiratban már ismertetett. A mérések folyamán módomban volt regisztráló készülékeket is alkalmazni. Ezek a mérések világosan mutatják, hogy a támara ható nyomás a szabad fejtési felület növekedésével erősen fokozódik, azonban — mint azt az egyik kartárs tegnapelőtt a *Péczeley*-féle előadással kapcsolatos hozzászólásában helyesen jegyezte meg — a nyomás hirtelen lecsökken, ha a szomszédos pillérfejtést vagy a prontfejtés egyik mezejét beomlasztják. A 4. sz. ábra egy omlasztásos pillérfejtés vágatában elhelyezett mérődoboz nyomás-diagramját tünteti fel. A görbén jelentkező mindenegyes hirtelen süllyedés omlasztást jelez. A mérések egyúttal azt is bizonyítják, hogy laza kőzetben, sőt még homok alatt is, bekövetkezik a boltozatképződés. A támara ható terhelés ugyanis csak egy töredék részét képezi a fejtési üreg fölött, a főte és a külszín között mozgó tehernek. 50—80 m. mélységben a fejtési terület egységére vonatkoztatva, 6 t/m²-es támara nyomásokat kápunk, midőn az üreg fölött levő kőzetek össz súlya 100—200 tonna/m² volt.

Újabban több ízben megkísérelték a tömedékre ható nyomás mérését, villamos távregisztrálással ellátott mérődobozok segítségével. A készülékeket beépítésük alkalmával többnyire ismertették, a mérések eredményeit azonban nem mindig közölték. Ez annak a jele, hogy a kísérletek csalódással jártak. Kb. 1930-ban a Bruch-i szénbányánál (Csehország) egy 350 m mélységben fekvő, teljes agyagtömedékes frontfejtésben egy ilyen természetű jól sikerült kísérletet végeztek. Az agyag tömedékbe egy vízzel töltött gömböt építettek be, amelyből csövet vezettek a fejtés közelében elhelyezett manométerhez. Ezzel nem a fedőtől származó terhelést, hanem az agyagra minden irányból ható nyomást mérték. A nyomás eleinte csekély maradt; 3—4 hét eltelte után egészen lassan 3 atm-ra növekedett, majd 1—2 nap alatt, amikor a front előrehaladása a 100 m-t meghaladta, hirtelen 39 atm-ra szökött fel. A gömb sajnos ekkor felhasadt. Ebből látható, hogy itt is képződött boltozat, továbbá hogy a tömedék eleinte a boltozatmag súlyának nyilvánvalóan csak kis részét hordta, ezután azonban az odáig jutott boltozatnyomás a tömedéket tömörítette és gyors nyomásemelkedést idézett elő. A mérés rávilágított a boltozat eddig el sem képzelhetően hatalmas feszítávolságára és magyarázatot adott arra az óriási nyomásra, amely a mélyebben fekvő fejtési szelet tömedékének átnyomódásában jelentkezett (itt ugyanis szelet-fejtés volt).

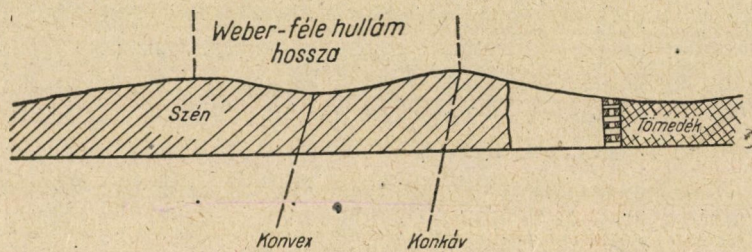
4. Optikai feszültségmérések

A *Trompeter*-féle zónán belül lévő bonyolult feszültségviszonyokba jó bepillantást nyújtottak a *Dorstewitz* által (»Archiv für Bergbauliche Forschung«) és újabban *Jacobi* által (Leobeni kőzetnyomáskongresszus) végzett optikai feszültségvizsgálati kísérletek. Nevezettek a különböző vágatalakokat egy olyan műanyagból készült lemezbe vágták, amelynek az a tulajdonsága, hogy nyomás alá kerülve kettős fénytörésűvé válik. A kísérleti testet sugárirányban

ható nyomás alá helyezték és keresztezett nikolok között átvilágították, mikor is a kettős törés következtében az ismert világos és sötét vonalak képződtek. A vonalak erős tömörülése nagy feszültséget jelez. A kísérletek során fel lehetett ismerni a vágat éleslű sarkain lévő nyomáeloszlást, különösképpen pedig az ellenállóképes biztosító szerkezetek felett és alatt fellépő nyomáskoncentrációt. *Dorstewitz* megállapította a nyomó- és húzófeszültségek zónáit is és ezzel megindokolta, hogy a legkedvezőbb vágatalakot elliptikus szelvény mellett érjük el. Ennél ugyanis a húzófeszültségeket a vágatkerülettől távol lehet tartani. Félve a modellek tönkremenésétől, a kísérleteket sajnos csak kis nyomás mellett végezték. A repedések, különösen a kagylós leválások, amelyek a *Trompeter*-féle zónára jellemzőek, azt mutatják, hogy a bányában fellépő feszültségek meghaladják a kőzetek törőszilárdságát. Ebből a szempontból a kísérletek kiegészítésre szorulnak. Ugyancsak szükséges, hogy a kísérleteket a fejtési üregekre is kiterjesszék.

5. Bányafelmérői mérések

A kőzetekben, bányaműveletek következtében lejátszódó események felderítésére értékes munkát végeztek a bányafelmérők, akik nemcsak a bányá-



5. ábra

károk csökkentése érdekében mérték a bányában és a külszínen a kőzetmozgásokat, hanem kifejezetten a fejtések következtében előálló kőzetmozgások kutatása céljából is nagypontosságú méréseket végeztek. A méréseket és eredményeiket ismertnek tételezem fel, annál is inkább, mivel *Krupár* kartárs tegnapelőtti előadásában erre is kitért. Ezért csupán egy utalásra szorítokozom, amelyet azonban szükségesnek tartok, hogy a mérések téves értelmezésének elejét vegyem. A felmérő helyi elmozdulásokat mér, tehát mm-ben mér. Viszont amit mi bányászok tudni szeretnénk, az a kg/cm^2 -ben kifejezett feszültség és a feszültségek térbeli eloszlása. A felmérő méréseiből a nyomás eloszlására tudunk következtetni; a feszültségek nagyságára azonban a mérések nem mindig adnak kifogástalan felvilágosítást. Ennél a kérdésnél minden a helyes értelmezésen múlik. Igazolásul szolgáljon az alábbi példa. *Niemczyk*, aacheni

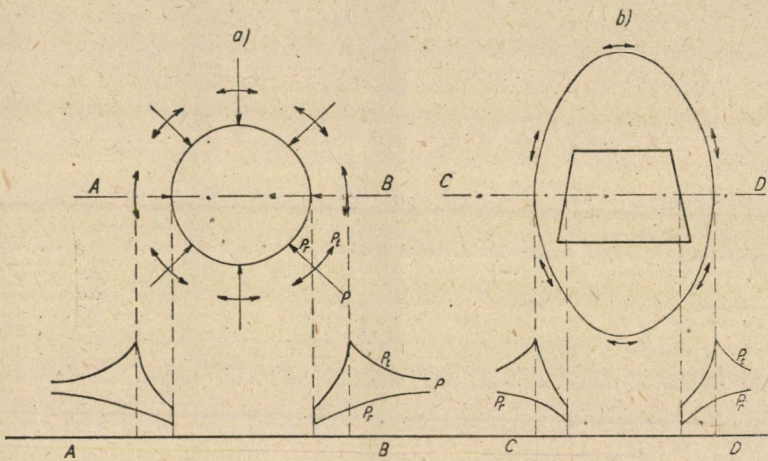
professzor, aki »Bányakáro« (»Bergschadenkunde«) című művében mindezen kérdésekkel behatóan foglalkozik, felmérései segítségével igazolta a *Wéber*-féle hullám létezését, amit én 1928-ban makroszkópos megfigyelések alapján állapítottam meg. A *Wéber*-féle hullám a le nem fejtett teleprész fölött levő fedüretegek süllyedési mozgásának hullámszerű kifutása, amely az egyvégén befogott tartó negatív forgatónyomatékából származik, mint azt az 5. sz. ábra szemlélteti. Ezt a hullámszerű mozgást *Niemczyk* a fejtést megelőzően kihajtott vágatokban állapította meg. A vágat főtéje ezért, mint az 5. sz. ábra is mutatja, a fedü hullámmozgásának helyzete szerint, a hullámnak hol a konvex, hol pedig a konkáv részébe esik. Tehát a felmérő, midőn a vágat főtéjében lévő fix pontjainak egymástóli távolságát határozza meg, felváltva meghosszabodást és megrövidülést állapít meg. Téves lenne, ha ebből a tényből érzékelhető nagyságú húzó- és nyomó-feszültségekre következtetnénk. E jelenségek ugyanis a hajlítás következtében állnak elő. Mivel a vágat körül a *Trompeter*-féle zóna már kialakult, a feszültség alatt álló eredeti kőzet számunkra láthatatlan: ezért csak azokat a kis hajlító-feszültségeket látjuk, amelyek a *Wéber*-féle hullám következményeként a *Trompeter*-féle zónába átterjedtek. Éppen ezért a felmérések eredményeit csak olyan szakértő értékelheti ki, akinek a kőzetnyomáskérdés terén kellő jártassága van.

6. Matematikai-mechanikai számítás

A kőzetnyomás pontos megismerésének nehézségei főleg abban jelentkeznek, hogy a kőzetben fellépő feszültségek jóval a rugalmassági határ fölé, nagy mélységekben pedig már a törési határ közelébe esnek. A számításnál a *Hooke*-féle törvénnyel szokás számolni, amely viszont minden oldalról ható nyomás és kompresszió esetében a kőzetre egyáltalán nem lehet érvényes. Az alagútépítők számításai emiatt jártak kudarccal. A bányászati viszonyok mellett végzett első vizsgálatot *Kühn* ismertette (*Glückauf*, 1931.) Számítása azonban ellentétben volt a megfigyelésekkel. Szerinte ugyanis a *Trompeter*-féle zónában egyensúly soha nem jöhet létre, vagyis a fellazulás mindig tovább terjed. Ez viszont a valóságnak nem felel meg. Ezt a felfogást *Fenner*, aki idevonatkozó átfogó munkájával Breslauban nálam doktorált, 1938-ban (*Glückauf*) helyesbítette. *Fenner* elméletének fő nehézsége azonban az, hogy oly magasfokú egyenletekre jut, amelyek ellenőrzése egy matematikai professzornak több heti munkával jár. Ezért munkájából csak az alábbi két fontos eredményt ismertetem.

a) A 6/a sz. ábra egy akna szintes keresztmetszetét tünteti fel. Mivel a nyomás alatt álló kőzet az üregbe minden oldalról benyomulni törekszik, az erőket sugárirányú és tangenciális összetevőkre bonthatjuk. Ez utóbbiak a kőzet belseje felé irányulnak. Az akna kerületén a biztosítással szemben csak a sugárirányú összetevők hatnak, a meglévő erőknek tehát csak a kisebb része.

A biztosításnak tehát nem az a feladata, hogy a teljes kőzetnyomásnak ellenálljon, hanem csak a sugárirányú összetevőket kell felfognia. A teljes kőzetnyomás nagyobbik része ezért a vízszintes irányú összetevőkben vezetődik le. Nyilvánvaló, hogy a tangenciális összetevők vonala azonos a bányász által a *Trompeter*-féle zóna határán megfigyelt boltozatvonallal. A 6/a ábra alsó részén lévő diagramm egy átmérőbe eső profilsík terhelését tünteti fel. Ezen a boltozatvonal jól látható. Vágat esetében a befolyásolt zónában lévő tömegek súlyát kell figyelembevenni. A kialakuló vonal ezért nem kör, hanem ellipszis lesz. *Fenner* bebizonyította, hogy csak az ellipszis nyújtja a legkedvezőbb alakot, amely mellett a vágat kerületén húzófeszültségek nem lépnek fel. A 6/b ábra *Fenner* vázlatát tünteti fel, mely lényegében megegyezik a Krupár kartárs



6. ábra

által tegnapelőtt ismertetett ábrával, melyet Labasse a Lüttichi kongresszuson mutatott be s amelyet a kongresszus túlnyomó többsége helyesléssel fogadott.

b) A második fontos eredmény, hogy *Fenner* kiszámította a német kőszénbányászat kőzeteire érvényes mélységi zónákat. Számításai alapján az alábbi mélységi zónákat különbözteti meg:

1. Kis mélységben fekvő, *felső zóna*, amelyben a kőzetnyomás kis mértékű. Az összes feszültségek a törési határ alatt maradnak és csak rugalmas alakváltozások lépnek fel. Karbonkorú kőzetekben ez a határ 400 m fölött van.

2. *Középső zóna*, amelyben, főleg a nyíró erők, meghaladják a kőzet szilárdságát, tehát fellazulás következik be, a vállapokon fellépő súrlódás azonban, *Fenner* bizonyítása szerint a mozgás bekövetkezését megakadályozza. Karbonpalában ez a zóna 400—600 m között van, homokkőben a 800 m mélységet is meghaladhatja.

3. *Nagymélységbeli zóna*, amelyben a fellépő erők a súrlódó erőt legyőzik és a vágathomlokok benyomódnak.

Az első zónában a biztosítás mellőzhető; illetve az csak a mállás következtében jelentkező közhullás elleni védelmet szolgálja. A második zónában a biztosítás már ajánlatos, a harmadikban pedig feltétlenül szükséges és a kiválás után azonnal beépítendő, hogy a fentebb már említett sugárirányú nyomóerők ellen azonnali ellenállást fejtsen ki s így az egyensúlyt helyreállítsa.

c) A bányatárség hatása minden egyes kőzetben másképpen jelentkezik. A *Trompeter*-féle zóna pl. ezért nem tartja meg réteges kőzetben az ideális ellipszis alakot, hanem különböző formákat vesz fel.

Ezzel a fejezettel kapcsolatban befejezésül még annyit szeretnék mondani, hogy a *Fenner*-féle számítás bonyolultsága miatt nem szabad visszariadnunk a feladat megoldásának matematikai úton való keresésétől. A megfigyelésekkel párhuzamosan lehetővé kell válnjon, hogy részkérdésekben — a gyakorlat kívánalmait kielégítő — megközelítő megoldásokra találjunk.

7. Geofizikai mérések

A geofizikusok az ásványtelepek felkutatásával kapcsolatban nagy eredményeket értek el. Méréseiket azonban a külszínen végezték s velük a bányába nem mentek le. Kétségtelen, hogy e mérések a bányában lényegesen nehezebbek is. Éppen a kőzetnyomáskutatás számára azonban a geofizikai méréseknek, szerintem, a bányában is alkalmazhatóknak kell lenniök. Mindazok után, amelyek a villamos ellenállás-mérésekről ismeretesek, nem kétséges, hogy pl. a kőzet vezetőképességére a kőzetekben lévő feszültségek hatással vannak. Ha egy kőzet vezetőképessége ismeretes, a mérés útján megállapított megváltozott vezetőképességből nemcsak a feszültségeloszlás, hanem a feszültség abszolút nagysága is meghatározható. A magam részéről a geofizikai mérésekben látom az egyetlen lehetőséget a kőzetcsoportok feszültség abszolút nagyságának mérés útján való meghatározására, annál is inkább, mert a *Trompeter*-féle zóna képződése következtében a feszültség alatt álló kőzetet egyáltalán nem látjuk, s így mérőműszereket sem tudunk benne elhelyezni. A geofizikát kőzetnyomáskutatásra eddig még nem alkalmazták. Természetes, hogy az alkalmazás lehetősége érdekében új mérési módszereket kell kidolgozni.

Üzemi megfigyelések és tapasztalatok

Befejezésül néhány megfigyelést szeretnék ismertetni, melyek a fejtés és a kőzetnyomás irányítása szempontjából, véleményem szerint, különös jelentőséggel bírnak:

1. Bár azon a véleményen vagyok, hogy a boltozatelmélet és a lemezelmélet csak együttesen tudják megmagyarázni a jelenségeket, mégis a legnagyobb jelentőséget a boltozatnak, főleg magára a telepre ható vállnyomásnak

(boltozati nyomásnak) tulajdonítom. Ennek nagyságáról csak nehezen tudunk magunknak képet alkotni. Biztosra veszem, hogy többszöröse, valószínűleg sokszorososa a hegynyomásnak (a telepre települt kőzetek súlyából eredő nyomásnak). A hegynyomás 600 m mélységben kb. 150 atm., így a telepre, a vállnyomás (Kämpferdruck) zónáján belül valószínűleg 1000 atm-t, vagy még többet is elérő nyomások hatnak. Hogy ez így van, azt széles réseléssel, 4. m. hosszú réselőkarral végzett kísérleteknél tapasztaltuk, a bekövetkezett óriási gáz- és porképződésből. De más példákat is említhetek; ha egy üzemben lévő frontfejtéssel szemben a széntelepben vágatot hajtunk, legkésőbb a fronthomlok előtt 10 m-rel, oly nyomások lépnek fel, hogy a vágatot a legtöbb esetben egyáltalán nem lehet nyitva tartani. Vagy ha egy fronthomlok a vele párhuzamosan fekvő vágathoz közeledik, úgy ez utóbbi elkerülhetetlenül összemegy. A széles homlokú frontfejtés sikere nemcsak az elővájással és szállítással kapcsolatos előnyeiben rejlik, hanem jelentős mértékben abban az egyenletes nyomásban is amely a telepre hat, s amely a fejtéssel folyamatosan együtthalad. Ez a nyomás a telep és a fedőkőzetek terhelését már viselő tömedék között mindig ugyanazon feszítávolságú, úgynevezett dongaboltozat (Tonnengewölbe) képződése következtében áll elő. Ily dongaboltozat keresztvezését feltétlenül el kell kerülni.

2. A telep fejtése kihatással van a szomszédos telepre, akár a fekében, akár a fedüben van is az. A fejtés alatt álló telep *Trompeter*-féle zónáján belül a szomszédos telep szene kemény és nehezen jöveszthető, míg a boltozatvonalban magától beomlik, bányarengésekre hajlamos és erős biztosítást követel. Azokat a vágatokat, amelyeknek ezen a zónán át kell haladniuk, a fejtés előtt kell kihajtani, hogy a *Trompeter*-féle zóna kialakulhasson és a vágat körül védőkőpenyként szolgálhasson.

3. A karbonkoru lágy kőzetek közül az égőpala és néhány márga, mindenekelőtt azonban a szén, a kőzetnyomás hatása alatt a kisebb nyomás (nyomási árnyék) irányában, különösen a vállnyomás zónájából a boltozatmag felé vándorol. Itt a lágy rétegek vastgasága nagyobb lesz. Ezáltal a mélyebben fekvő rétegekre nagyobb nyomást fejtenek ki és azokat roncsolják. Ahol vékony kőzetrétegek között ily lágy beágyazások vannak, a vágatok főtéje lemezesen felrepezedik és beomlik. A kőzetekben, de különösen a széntelepben, az anyagvándorlásnak egyébként is sokkal nagyobb szerepe van, mint azt a bányász feltételezi. Állításom helyességére bizonyíték az a tény, hogy mély bányák fölött is a külszínnek a fejtés miatt bekövetkező süllyedése már akkor megfigyelhető, amikor az úgynevezett »teljes fejtési felületet« még el sem érték, vagyis mielőtt még a fejtési boltozat csúcsa a külszín érintené.

4. A kőszénbányászatban a széntelep gáztalanodása a kőzetnyomástól függ. A szén a gázt adszorpció útján köti le. Tehát a gáz felületképződés, vagyis a szén fellazulása következtében szabadul fel, legtöbbszörre a vállnyomás (Kämpferdruck) zónájában. A gázlecsapolás sikere akkor a legvalószínűbb,

ha a telepet a mellékközeten keresztül megfúrjuk, mielőtt még a telepben vagy egy szomszédos telepben hajtott fejtés boltozatnyomása odaérne.

5. A barnaszénbányászásban az a kérdés, vajjon a fedőkőzetek nagyobb fejtési felületek előállítását megengedik-e, vagy pedig, mint pl. a homokfedű, csak kis térségek kiképzését teszik lehetővé. Az első esetben tömedék, vagy öntömedék (omlasztás) alkalmazása és »dongaboltozat« kialakulása mellett főtessüllyesztéses frontfejtést alkalmazunk. A második esetben kamrafejtést alkalmazunk, melynek kisméretű ürege fölött saját magát tartó kupolaboltozat képződik. Hogy a kamra biztosítása ne legyen túlságosan igénybevéve, a boltozatmagnak a többi kőzektől való elválását meg kell akadályoznunk. Így elérjük, hogy a boltozatmagot a fölötte levő kőzet tartja. Itt ismét a 3. sz. ábrára utalok. A barnaszénbányászásban a homok alatti omlasztásos kamrafejtések sikerének a titka abban rejlik, hogy a biztosítás lehető leggyorsabb beépítésével a főte legkisebb mérvű áthajlását vagy süllyedését elkerüljük.

Fejtegetéseim azt mutatják, hogy a kőzetnyomás mennyiségi elemzéséhez vezető út szabaddá tétele érdekében még sok munkát kell végeznünk. Ehhez szükséges, hogy a kutatóintézetekben ne csak sorozatvizsgálatokat végezzenek, hanem az alapelvek kutatásával is foglalkozzanak. A feladat megoldása sürgős, ha biztosítani akarjuk, hogy a bányászat az ötéves tervben reá váró feladatokat teljesítse és egyúttal az ásványkincssel is gazdaságosan bánjon. Ha majd egyszer az elméletet teljesen kidolgoztuk, még akkor is szükség lesz a kőzetek megfigyelésére, a bányász szemére és fülére. Mert el kell érünk a kitűzött célt: a kőzetek fölötti uralmat.



LIÁSZ-SZENEINK SZÉRELÉSÉNEK LEGÚJABB EREDMÉNYEI

Írta: MARTINY KÁROLY

A száraz szénelőkészítő eljárásoknak a vizes mosással szemben mutatkozó kétségtelen üzemviteli előnyei az 1920-as, de méginkább az 1930-as években a különböző légszerek és pneumatikus ülepítőgépek fejlődésének látszólag nagy lendületet adtak. Számtalan próbálkozásról, újításról és szabadalomról olvashatunk a külföldi szakirodalomban. A háború kitörése előtt azonban ez a fejlődés egy bizonyos fokon megállt. Ennek természetes oka az volt, hogy az eljárásoknak majdnem mindegyike a levegőben, mint ülepítőközegben, bekövetkező süllyedési sebességkülönbségek, vagy együttülepedés elméleti alapelvein épült fel — a vizes eljárások analógiájára — s így a levegőnek a vízzel szemben elhanyagolhatóan kis fajsúlya miatt már eleve olyan elméleti hátránnyal indult, hogy a növekvő követelményeknek nem tudhatott megfelelni.

Hazában a brennbergi bányánál pontosan 30 évvel ezelőtt elsőnek üzembeállított Finkey—Bamert-féle légszerek képviselték ezt a típust. Ugyanilyen gépek kerültek felállításra később Dorogon, Nagymányokon, Kisterenyén és Komlón. Beállításuk elhatározásánál döntő fontosságú volt a száraz úton történő hamucsökkentés egyszerű volta. Ez volt az egyedüli megoldás, mivel ezen szenek vízzel történő mosása nem jöhetett volna számításba.

Hazai szeneink legnagyobb részénél ez a helyzet ma is fennáll. Nemcsak az általánosnak mondható vízhiány, az elfolyó vizekben maradó szennyeződés, az iszapkezelés nehézkes volta, a vizes szén téli összefagyásának veszélye és hasonló okok gördítenek akadályokat a vizes szénmosás elé, hanem a beruházási és üzemköltségek figyelembevételével is azt mondhatjuk, hogy alig van olyan hazai szénünk, mely a vizes mosásra érdemes. A közvetlen eltüzelésre kerülő ipari szeneknél ez általánosítható is.

A régi légszerek üzemi eredményei azonban nem kielégítőek. Több berendezést éppen ezért le is állítottunk. A nyers szénnek az ismert okokból és a gépi tömegtermelés következtében nálunk is bekövetkező minőségromlása, szembeállítva Tervünk fokozott minőségi követelményeivel, előkészítéstechnikánk tökéletesítését parancsolja. Ha pedig a száraz eljárás célszerűségét egyes adott esetekben megállapítottuk, meg kell keresnünk a módokat, amelyekkel a követelményeknek meg tudunk felelni. Közelebb kell jutnunk az elméletileg tökéle-

tesebb vizes eljárások hamu- és kihozatali eredményeihez, nehogy a száraz üzem előnyeit a másik vonalon elveszítsük.

Ezt a célt szolgálták elgondolásaim, melyek új légszértípus kialakítására vezettek. Magát a légszért és annak elvi működését *dr. Tarján Gusztáv* professzor az 1949. évi bányászati kongresszuson tartott előadásának keretében ismertette.¹ Ezért most csak azokat a megfontolásokat szeretném röviden ismertetni, amelyek előadásom kiegészítéséhez szükségesek. Amint mondtam, a régi légszterek kiinduló elméleti alapelve már önmagában is hátrányban van a levegőnél sokkal nehezebb folyadékkal dolgozó mosási alapelvekkel szemben. Ezért kutatásaimmal legalább részben új kiindulási pontokat kellett keresnem. Ki kellett kapcsolnom a levegőben történő ülepedés klasszikus elméletét,² és a levegő munkáját olyan szükséges rossznak tekintve, amire bizonyos fokig rá vagyunk utalva, a levegőnek, mint ülepítőközegnek, a szerepét a lehető legkisebb mértékre kellett leszorítanom.

Idevágó régebbi kísérleteim tehát a levegővel való takarékoskodás vonalán indultak el, amihez az elemi levegőlökések lefolyását iparkodtam újszerűen kialakítani egy lüktetési perióduson belül. Ezzel sikerült a lüktető légszér működését átvinni az anyagréteget alig lazító, viszonylag nagyfrekvenciájú rezgések területére. A szemnagyságösszetételnek legjobban megfelelő rezgési jellemzők beállításával — amit »kritikus rezgési állapotnak« nevezhetünk — a szemcsés anyagalmaz ily módon olyan száraz folyadékállapotba kerül, amelyben a valóságos folyadékok fizikai törvényeit követi és az ülepedés az így előállított száraz szuszpenzióban következik be.

Ezek a fizikai jelenségek, amelyeket újabban »fluidizáció« néven más területeken is iparkodnak kihasználni, a mi szempontunkból azt a jelentős előnyt hozzák, hogy az ülepítendő rétegben levő szemnagyság- és alakkülönbségek sokkal kisebb mértékben zavarják a fajsúly szerint történő rétegződést, mint a levegőben való ülepítésnél, vagy rázószérelésnél.

Természetes, hogy az említett jelenségek elsősorban az aprószemnagyságú anyagnál és a pornál állnak elő, azonban bizonyos mértékig a durvább szemcséjű anyagalmaznál is követhetők. Itt nehéz a határt megvonni, mert a szemnagyság növekedésével azt mondhatnánk, hogy a folyamat átmenetet képez az előbb említett száraz folyadékállapot és a hátráltatott ülepítés között. A magából az anyagból képezett sűrű szuszpenzióban mozgó szemcsék útjának elméleti követésénél³ egyébként is igen nehéz a szuszpenzió számbaveendő sűrűségének és a folyadékfázishoz tartozó iszaphatárszemnagyságnak a meg-

¹ Bányászati és Kohászati Lapok, 1950. 2–3. sz. 158. old.

² *Finkey*: Die mechanischen Grundgleichungen der pneumatischen Kohlenaufbereitung. Sopron, 1938.

³ *L. Dr. Tarján*: A szilárd szemek sűrű szuszpenziójának befolyása az ülepítés eredményére. Magyar Technika, 1948. 2. sz.

állapítása. Az elmélet csak arra a biztos következtetésre vezet, hogy minél sűrűbb a szuszpenzió, annál tökéletesebb lesz a fajsúlyelkülönülés, még tágabb szemnagysághatárok között is. Ennek szembeötlő kísérleti igazolását láttuk a komlói szérelési kísérleteknél. Többször előfordult, hogy a rezgést befolyásoló tényezőknek az amplitudót csökkentő finom beállításánál — megfelelő nagy frekvencia mellett — a réteg megülni látszott és sem rétegmozgást, sem levegő-átfúvást nem tudtunk észlelni, úgyhogy azt hittük, hogy a szér valami okból megállt. A gép kikapcsolása után azonban a szérszítán az elég vastag réteg keresztmetszetében a meddőt és a szenet abszolút élesen elválasztó határvonalat találtunk, mégpedig a szemnagyságtól függetlenül, mert a leülepedett réteg az egészen finom meddőport és a papírvékony lapos palát is magában foglalta. Gyakorlatilag tehát ezen az úton szárazon is tökéletes elkülönítés lehetséges. Az alkalmazásnak csak a megengedhető ülepítési idő szab határt, mert a gépnek ilyen munkánál igen kicsi a feljesítménye.

De ha a megkívánt gépteljesítmény mellett ilyen tökéletes elkülönítéshez nem is ragaszkodunk, a finom meddőpor legnagyobb részét akkor is mindig megtaláljuk a szítán áthullott anyagban és az elkülönített meddő ritkán tartalmaz nagyobb szemnagyságú tiszta szenet. Sőt érdekes, hogy tökéletlen gépműködésnél a meddőbe került szén szemek inkább aprók, jeléül annak, hogy a rezgési állapot és a réteg tömörsége a nagyobb szemcsék kiúsztatásának felett meg jobban.

Az előadott jelenségek elméleti magyarázatához, elgondolásom szerint az ellenkező végtelből, a folyadékból kiindulva is eljuthatunk. Ha ugyanis a folyadékállapot kritériumának azt vesszük, hogy a molekulák, jelen esetben a véges nagyságú szemcsék, minden irányból jövő nyomás elől ki tudnak térni, és úgy fogjuk fel, hogy ennek a kitérésnek a szemcsék egymás közötti súrlódása áll ellen, ami függ az anyag érdességétől, az alaktól, a szemnagyságtól és a réteg tömörségétől, — a folyadékok belső súrlódásával, ha nem is azonos, de rokon fogalomhoz jutunk. Azt mondhatjuk tehát, hogy a lazán kiöntött száraz anyag-halmaz belső súrlódása megfelelően nagy, fajsúlya pedig a térfogatsúly. Ha mármost ennek az anyag-halmaznak a felületére egy, a térfogatsúlynál nagyobb fajsúlyú szemcsét helyezünk, annak lesüllyedését a viszkozitáshoz hasonló ellenállás gátolja, amit itt még a tömörítő nyomás is komplikál. De ha olyan ideális kenőanyagot tudnánk a szemcsék közé bevinni, amely a súrlódást teljesen megszüntetné, a behelyezett idegen szemcse a fajsúlyviszonyoknak megfelelően úszna vagy lesüllyedne. Ilyen kenőanyag szerepét tölti be a rázás, a levegővel történő lazítás és jelen esetben a rezonanciát megközelítő nagy periódusszámú, de a szemcseátmérőnél sokszorosan kisebb amplitudójú rezgés is.

Mint hogy az anyagszemcséknek a rezgéseket levegőrezgéssel közvetítjük, nem hagyhatjuk teljesen figyelmen kívül a felfelé áramló rezgő levegő befolyását, ennek a minimumra való leszorításában azonban a szemcsék egymáshoz ütközése is segítségünkre van.

Ezeket a meggondolásokat tartottam fontosnak megemlíteni, hogy mélyebb bepillantást nyerjünk az előadásom folyamán ismertetni kívánt folyamatokba, mert az eredményeket a légzérekre vonatkozó eddigi elmélettel nem tudnánk megmagyarázni.

A Komlón és legutóbb Pécssett poros liász- aprószenekkel végzett kísérletek ebből a szempontból különösen tanulságosak voltak. Hogy az eredményeket értékelhessük, egyelőre az egyéb légzérektől, tehát az egyéb száraz eljárásoktól várható eredményekkel hasonlítsuk azokat össze. Ez a légszér nem akar az újabb és tökéletes vizes eljárások versenytársa lenni, mert az nem is lehet. A mostani pécsi kísérletek adták az első alkalmat arra is, hogy azokon a területeken, ahol a nagy portartalom egyébként nehézségeket okoz, a Rheo-mosóval és a vizes finom-ülepítőgépekkel összehasonlításokat végezhesünk.

Hazai viszonyaink között a szén további feldolgozásához, elsősorban pedig a kokszoláshoz szükséges hamucsökkentés terén tehát ez a légszér a legújabb vizes mosási eljárások alkalmazását nem teszi fölöslegessé, legfeljebb szűkebb körre korlátozza. Talán más lenne a helyzet, ha szeneink moshatósági tulajdonságai egyes jó külföldi szenek moshatóságához hasonlóak lennének. A liász-szenekkel folytatott szérelési kísérletek gyakorlati jelentősége elsősorban abban rejlik, hogy a bányáktól nagy távolságra további előkészítésre szállítandó, nagyon változó hamutartalmú nyers szeneknek a bányauzemnél egy standard minőségre történő mosására hoznak megoldást.

A legújabb kísérletek előzményeihez tartozik, hogy a komlói szén helyi előkészítésére eljárásom alkalmazásával lefolytatott szérelési kísérletek elsősorban azért hoztak sikeres megoldást, mert Komlón nincs víz és így a nedves mosást el kellett ejtenünk. Pécssett viszont van egy működő vizes mosó. Eredetileg tehát annak korszerűsítését és bővítését vették tervbe. Az erre vonatkozó tervfeladatot, az újabb követelményeknek megfelelően *Dr. Tarján* professzorral együtt, *Szontágh Ferenc* pécsújhelyi üzemfőnök közreműködésével ki is dolgoztuk. Pécssett a vizes eljárás alkalmazása azért is indokoltnak látszott, mert a pécsvidéki szenek a komlóinál sokkal nehezebben moshatók.

Mindezekről függetlenül azonban Pécssett is felmerült a 0—6 mm-es aprószen száraz előkészítésének gondolata, mert az az alábbi igen nagy előnyökkel járna :

1. A mosómű szempontjából:

Lényegesen egyszerűbb lenne a belső anyagmozgatás, a bunkerezés, a rakodás és a szállítás a száraz szén esetében, szemben a nedves mosóból származó vizes termékekkel. Elesne továbbá a víztelenítés kérdése. Nem kellene a kokszolóműhöz fölösleges vízsúlyt szállítani, és elmaradna a vizes szén téli összefagyásának a veszélye is.

Elmaradnának Pécssett a víz- és iszapgondok és a nehézkes iszapkezelés. Elesnék az iszap víztelenítésének problémája, helyesebben a durva szén minden-

képpen szükséges vizes mosásával kapcsolatban mindez csak igen szűk körre korlátozódnék.

Önmagától elesne a vizes mosó esetében szükséges tökéletesebb portalanítás problémája.

2. A kokszolómű szempontjából :

Lényeges előnyt jelentene a kokszolómű számára, ha a szenet szárazon kapná. Elmaradnának a vizes szén szállításával, tárolásával és rakodásával járó gondok, a körülményesebb bunkerezés, a töltő- és levonószerkezeteknél és az adagolószerkezeteknél felmerülő nehézségek, és az utánmosóműben a száraz pécsi szenet pontosabban tudnák az ugyancsak szárazon előkészített komlóí szénnel megfelelő arányban keverni.

3. A pécsi új erőmű szempontjából :

Sokkal egyszerűbb lenne a száraz középterméknek a tervezett szalagszállítással való odavitele, a szén rakodása, tárolása, mérése és adagolása, végül pedig elmaradna a porszénkázánok őrlőberendezései előtt szükséges vízpárologtatás. Az erőmű a vizes szénnel szemben nagyobb fűtőértékű tüzelőanyagot kapna.

A kísérleteket a MESZHART pécsi mosóműve üzemvezetőségének segítségével az ott felállított — jelenleg egyedül rendelkezésre álló — régebbi típusú légszérémmel végeztem, azzal az elgondolással, hogy a tökéletlen géppel elért eredményeket a Komlóra is tervezett újabb típusú gépekkel méginkább biztosítottak vehetjük.

A kísérletsorozat alkalmával vett kb. 500 szénminta vizsgálatát a pécs-újhelyi laboratórium végezte.

A kísérletekhez nem fűztünk túlzott reményeket, éppen a pécsvidéki szenek nehezen mosható voltára való tekintettel. Elvégzésüket inkább tapasztalatszerzés végett vállaltam azzal a gondolattal, hogy negatív eredmény esetén is tanulságosak lesznek. Ennek ellenére a kísérletek váratlanul jó eredménnyel jártak.

A kísérletek azt mutatták, hogy a száraz ülepítéssel, a mosott szén ugyanazon hamutartalma mellett, jobb kihozatalokat lehet elérni, mint a jelenlegi Rheo-mosóval. Sőt annyira megközelíthetjük az eredetileg tervezett vizes finomülepítőgépektől várható eredményeket, hogy az előbb felhozott indokokra való tekintettel, véleményem szerint, a mosó korszerűsítési és bővítési tervénél komolyan kell foglalkoznunk a száraz ülepítés alternatívájával is. Ezt erősíti meg a portalanítás nehézsége is. A portalanító berendezés korszerűsítése után is számolnunk kell ugyanis azzal, hogy a gyakran befutó vizesebb szeneknél a portalanítás elkerülhetetlenül tökéletlenebb, ami a vizes ülepítést zavarni fogja, a száraz ülepítésnél viszont nincs szükség tökéletes portalanításra.

A kísérletsorozat folyamán pécsvidéki szenekkel 21 főkísérletet végeztünk, mindegyiken belül több részleteredménnyel, melyek kombinációjával többirányú következtetést lehet levonni. A 21 főkísérlet közül négy esett a pécsbányatelepi,

17 pedig a szabolcs vasasi szénre, mely utóbbi szénfajta a kokszolás szempontjából jön tekintetbe. Az alkalmat felhasználtuk arra is, hogy a mázai szénnel hat, a komlói szénnel pedig két kísérletet végezzünk. Ezek ugyancsak jó eredménnyel jártak.

Természetes, hogy a beállítási próbálkozások miatt nem sikerült kísérletek is voltak. Ilyenek voltak főként az első kísérletek, de közben is előfordultak. Meg kell említenünk, hogy minden egyes sikertelen kísérletnek megállapítottuk az okát, és az analízisek ezeket az okokat nagyon szépen követik és igazolják. Így nagyon értékes adatokat kaptunk arranézve, hogyan nem szabad és hogyan kell dolgoznunk. Egyben megnyugtatót kaptunk abban a tekintetben is, hogy egy bizonyos eredményt ugyanazon beállítással mindenkor el tudunk érni.

A pécsi kísérletek 0—6 mm névleges szemnagyságú szénnel folytak. A szemnagyságanalízis szerint azonban a 6 mm-en felüli frakció majdnem mindig 7—10%-ot tett ki. Ez a szérelést természetesen zavarta. Ténylegesen 0—6 mm-es szemnagyságú szénnel az eredmények jobbak lettek volna.

A következőkben főként a szabolcs-vasasi szénnel foglalkozom, mivel erre a szénre szélesítettük ki a kísérleteket. Minthogy azonban a pécsbánya-telepi szén mosási viselkedése hasonló, nyers hamutartalma viszont valamivel kisebb, az eredményeket értelemszerűen erre is vonatkoztathatjuk.

A szabolcs-vasasi nyers aprószén szemnagyságösszetételét hét jellemző minta átlagaként, némileg kerekített számadatokkal, az 1. sz. táblázat tünteti fel.

1. TÁBLÁZAT
Szabolcs-vasasi nyers aprószén jellemzői

Szemnagyság	Súly %	Hamu %	Kum. súly %	Rész-átlag hamutartalma	1951. évi minta hamutartalma
0,00—0,25	12	29	12	29,7	27,0
0,25—0,5	18	30	30		
0,5—1,0	13	34	43	38,6	37,8
1—2	18	36,7	61		
2—4	18	38,5	79		
4—6	14	42	93		
+6	7	45	100		
	100	35,9	—	35,9	34,2

Az 1. sz. táblázat adataival szerkesztett szemnagysághullási görbét az 1. sz. rajzon látjuk, a szemnagyság és hamutartalom összefüggését pedig a 2. sz. vektorgörbe mutatja. Utóbbinál az egyes szemnagyságrakciók hamutartalmát a megfelelő súlyrészsázalékok vízszintesei közé egymáshoz kapcsolódóan berajzolt vektordarabok iránya adja meg. A hamuvektor irányát a *P* póluspontnak a hamuskála megfelelő pontjával való összekötése segítségével kaptuk.

A hamuvektorgörbe szemléltetően hozza össze a három változó: a szemnagyságrakció, annak súlyszázaléka és a hamutartalom közötti összefüggést. A görbe bármely két pontja közé berajzolt húr — mint eredő vektor — iránya

az ezen pontokhoz tartozó szemnagyságok közé eső részleg átlaghamutartalmának felel meg. Ha ezzel az iránnyal a *P* póluspontból párhuzamos vonalat húzunk, ez az egyenes a hamutengelyen kimetszi az idetartozó hamutartalmat. Minél kevésbé meredek a görbe kérdéses szakasza, annál nagyobb az illető frakció hamutartalma.

A hamuvektorgörbe azt mutatja, hogy a pécsvidéki aprószeneknél a hamutartalom a szemnagyság növekedésével emelkedik. A 0—6 mm-es poros szén átlaghamutartalma 35,9%-ot, a 0,25 mm-en pormentesített széné 36,8%-ot, a 0,5 mm-es por kivonása után kapott pormentes szén pedig 38,5%-os hamutartalmat mutat. Tulajdonképpen ez volt a kísérletekhez kapott első hét minta átlaga, később azonban rosszabb szeneket is kaptunk, úgyhogy az átlag hamutartalmakat valamivel nagyobbra kell felvenni.

A portalanított aprószén mosási görbáját a 2. sz. kísérlet anyagával a 3. sz. rajzon látjuk. Ennek átlaghamutartalma (39%) kb. megfelel a fenti adatoknak. A mosási görbéből látjuk, hogy ez a szén nem tartozik a könnyen mosható szének közé.

Az átlagnál nagyobb hamutartalmú nyers aprószén mosási görbáját mutatja a 4. sz. rajz, a poros szénre vonatkoztatva. Átlagos hamutartalma 39,28% volt. A fajsúlyozásánál a 0,5 mm-en aluli port nem frakcionáltuk, hanem a mosási görbe megrajzolásánál nyers hamutartalmának megfelelő rétegbe iktattuk be. A mosott szénre így kapott elméleti kihozatali görbe mellé berajzoltuk a széreléssel tényleg elért kihozatalok pontjait. A rajzból azt látjuk, hogy — a komlói szénnel annakidején kapott eredményekhez hasonlóan — a szérelési pontok majdnem ráesnek az elméleti kihozatali görbére. Ennek az a magyarázata, hogy az elméleti görbe a 0,5 mm-en aluli por hamucsökkenését nem tételezi fel, viszont a szér a finom port is valamennyire megjavította. Így magyarázható, hogy ennél a szénél pl. a (15+17) sz. kísérlet kombinációja a berajzolt elméleti kihozatali görbénél jobb eredményt adott. Hasonló eredményeket mutat az 5. sz. rajz, ahol ugyancsak a 0—6 mm szemnagyságú poros szén mosási görbéje látható egy másik minta alapján, amelynek átlaghamutartalma 36,40% volt. Ide is berajzoltunk néhány kihozatali pontot, melyek mellé a négyszögben, az illető kísérlethez kapott nyersszén kezdeti hamutartalmát is beírtuk. Látjuk, hogy amikor a kihozatali pont az elméleti görbétől távolabb esik, a kiinduló hamutartalom is magasabb, mint amilyen szénre a mosási görbe vonatkozik. A fentiekből mindenekelőtt azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a száraz ülepítésnél nincs szükség előzetes portalanításra. Sőt sok esetben nem is előnyös. Intenzív porelszívással ugyanis elveszítjük az ülepítéssel javítható finom szemnagyságú szén jelentős részét. A szérelésnél pedig a finom por egy bizonyos hányadára szükség van, mint a hézagokat kitöltő száraz szuszpenziós anyagra. Ezért előnyösebbnek látszik csak részlegesen portalanítani, azaz csak a szérelésnél zavaró porfölösleget eltávolítani. Ez automatikusan bekövetkezik, ha első lépésnek olyan előszérelést iktatunk be, amelynél jó meddőkivonásra állunk

be, az elszívás megfelelő beszabályozásával. Helyes beállításnál az elszívással csak a legfinomabb por (kb. a 0,2 mm alatti) távozik, míg a pornak az a része, amelyik már elkülönül, illetőleg amiből a meddőpor kivonható, a rétegben marad. Ez az előszérelés, a pécsi viszonyok között esetleg vízesebb szenek száritását is elintézi, úgy, hogy a külső nedvesség a további munkát már nem zavarja.

A száraz ülepítésre jellemző, érdekes eredményeket ad az egyes szem-nagyságfrakciók ülepedési viszonyainak vizsgálata. A 0—6 mm-es szenet egy, vagy legfeljebb két lépcsőben (0,2 és 2—6 mm között) szérelve és utána a szérelt szenet szétszítva, a nyers szén ugyanazon szem-nagyságfrakcióival összehasonlítva a következő eredményeket kapjuk :

2. TÁBLÁZAT

A nyersszén és a szérelt szén szem-nagyságfrakcióinak hamutartalma

Kísérlet sorszáma	(S z a b o l c s - v a s a s i a p r ó s z é n)				
	7.		20—22.		7.
Szem-nagyság-frakció mm	H a m u t a r t a l o m %				
	Nyersszén	Szérelt szén	Nyersszén	Szérelt szén	Meddő
0,00—0,25	29,10	26,14	28,84	30,23	56,05
0,25—0,5			29,21	18,00	
0,5 —1,0	33,25	20,35	31,55	12,35	71,50
1—2	36,70	10,85	36,79	12,18	71,38
2—4			40,72	13,29	
4—6	44,20	16,32	42,36	17,07	79,03
+6			46,42	17,00	
Átlag hamutart.....	37,50	18,22	36,36	15,25	75,95
0,5—6 mm átlag hamutartalma	40,50	17,18	39,20	14,90	76,05

A táblázatból azt látjuk, hogy pl. a 20—22. sz. kísérletnél a legfinomabb por hamutartalma a nyers szénben volt 28,84%-ról a szérelt szénben 30,23%-ra emelkedett. Ennek oka, hogy a legkönnyebb port elszívtuk és az a ciklonporba került. Ugyanakkor azonban a meddőben a 0—0,25 mm-es frakciónál 39,18%-os hamutartalmat találtunk, tehát ennél a legfinomabb anyagnál is volt némi meddőkiválasztás. Viszont a ciklonpor hamutartalma a 7. sz. kísérletnél 21%-ra ment le a feladott por 28,84%-os hamutartalmával szemben.

A 0—0,5 mm-ig számított porfrakciónál, amikor az elszívás túl erős volt, ugyancsak nagyobb hamutartalmat kaptunk a szérelt szénben, mint a feladottban, jeléül annak, hogy a könnyebb rész a ciklonporba került. Viszont amikor a depresszió megfelelő volt, ez a frakció is pár százalékkal mindig javult. A 0,25—0,50 mm-es »durvább« por azonban már minden esetben lényegesen javult, pl. a fenti táblázat szerint hamutartalma 11%-al csökkent.

Még feltűnőbb volt az egyes szemnagysághfrakciók nyers és szérelt hamutartalma közötti különbség a komlói szénél, mint az alábbi táblázatból látható.

2/a TÁBLÁZAT

A nyers szén és a szérelt szén szemnagysághfrakcióinak hamutartalma komlói szén esetében (0—8 mm-es szén egyben szérelve)

Frakciók	Nyers szén		Szérelt szén	
	súly %	hamu %	súly %	hamu %
0,00—0,25	6,2	20,30	1,5	21,39
0,25—0,5	5,1	18,69	7,2	12,17
0,5 —1,0	15,5	18,19	14,8	9,10
1—2 mm	33,7	19,24	33,5	8,65
2—4 mm	15,0	20,48	20,0	8,64
4—6 mm	24,5	25,95	23,0	8,90
Átlagminta ..	—	21,03	—	10,10

Természetes, hogy száraz ülepítéssel a finom pornál ezen a módon lényeges javulást nem várhatunk. Ennek más lesz a megoldása. Jellemző azonban, hogy a finom por a 6 mm-es, sőt a +6 mm-es szemnagyságú anyaggal együttkezelve, bizonyos hamucsökkenés, illetőleg a meddőben hamudúsulás, a finom pornál is megállapítható.

A többi szemnagysághfrakciónál a kísérletek szerint kiugróan szembe-tűnő volt az 1—2 mm-es és a 2—4 mm-es frakció hamutartalmának javulása, sőt egyes esetekben a 0,5—1 mm-es frakcióé is. Ugyanezt találtuk a párhuzamosan végzett komlói és mázai kísérleteknél is. Minthogy a pécsi szénél az egyes szemnagysághfrakciók moshatósága a szemnagyság növekedésével rosszabbodik, fel kell tételeznünk, hogy a 0—6 mm-es réteg számára beállított rezgési jellemzők ezeknek a közbeeső szemnagyságoknak feleltek meg a legjobban.

A szabolcs-vasasi szénre az egyes szemnagysághfrakciók mosási görbéinek adatait a 3. sz. táblázat tartalmazza.

A vektorgörbék magyarázatául, mivel azok nem olyan közismertek, mint a *Henry—Reinhardt*-féle mosási görbék, szolgáljanak a következők:

A vektorgörbe alkalmazásának gondolatát a német *dr. Mayer* vetette fel a »Glückauf« 1950. évi 25/26. számában írt cikkében, ahol azt részletesen magyarázza. Lényege, hogy a fajsúlyozással szétválasztott frakciókat vektordaraboknak fogjuk fel, melyeknek irányát a hamutartalom, hosszát pedig az ordináta tengelyre felmért kihozatali százaléknak megfelelő vetület szabja meg. Ha az abszcissa-tengelyre felrakjuk a hamuskálát és az ordináta-tengely felső pontjából — a 0%-os kihozatali pontból — mint pólusból a *P* póluspontok a hamuskála pontjaival való összekötése révén kapott hamuirányokkal az egyes kihozatali pontoknak megfelelő vízszintesek közé egy kötélpoligont rajzolunk, a fajsúlyfrakciók vektordarabjait oly módon raktuk össze, hogy az eredő vektor iránya az átlagos hamutartalmat, annak a két végpont közé eső függőleges

3. TÁBLÁZAT
A szabolcs-vasasi szén szemmagyságrakciói

Szemmagyság	Faj súly határok					
		-1,4	1,4—1,6	1,6—1,8	1,8—2,0	+ 2,0
0—0,25 mm	súly %	38,56	21,96	10,44	5,94	23,10
	hamu %	9,41	20,38	34,14	50,10	71,64
0,25—0,5 mm	súly %	31,45	25,16	11,29	6,21	25,89
	hamu %	9,53	20,05	36,29	51,45	73,10
1,0—2,0 mm	súly %	26,56	23,52	11,85	7,02	31,05
	hamu %	9,03	20,29	37,54	50,91	75,09
2,0—4,0 mm	súly %	23,87	23,93	12,42	7,31	32,47
	hamu %	9,46	20,23	37,78	55,05	75,20
4,0—6,0 mm	súly %	18,04	20,61	13,06	7,92	40,37
	hamu %	10,80	20,12	38,89	50,50	74,78
+ 6 mm ...	súly %	13,85	19,28	12,08	11,25	43,54
	hamu %	15,85	22,83	37,01	49,25	74,69

vetülete pedig a kihozatali százalékot adja meg. Akármilyen sorrendben raktuk is össze a fajsúlyfrakciók vektorait, a 100%-os kihozatalhoz — vagyis az abszcisszatengelyhez — érve az egész keverék átlaghamutartalmát kapjuk.

Ha pedig a fajsúlyfrakciók vektorait a hamutartalom növekvő sorrendjében rakjuk össze, a kötélpoligon töréspontjai egy görbét adnak, amit mosási vektorgörbének nevezhetünk. Ezt úgy foghatjuk fel, hogy ezt kaptuk volna, ha végtelen sok és végtelen kismennyiségű fajsúlyfrakciót kapcsoltunk volna egymáshoz. Ennek a görbének bármelyik pontjához a pólusból húzott húr iránya megadja az eddig a pontig mért ideális mosási kihozatal átlagos hamutartalmát, ugyanennek, a pontnak a vektorgörbe alsó végpontjával való összekötése pedig megadja a maradékrész — a meddő — átlagos hamutartalmát. Ugyanígy megkaphatjuk a görbe két pontjának összekötésével a két pont közé eső rész átlagos hamutartalmát (középtermék). Ez az eljárás a grafikus számítási módok között ismeretes. A mosási görbére való alkalmazása sok esetben kétségtelenül nagy előnnyel jár.

A jelen esetben a 6. sz. ábrán az egyes szemmagyságrakciók mosási görbéit azért rajzoltam így, mert a görbesorozat jó összehasonlítást nyújt azok mosási viselkedésére nézve. Itt is minél jobban behajlik a görbe, annál jobban mosható a szén, egy meghatározott hamutartalom irányának megfelelő egyenes pedig valamennyi görbén kimetszi az ennek megfelelő kihozatali pontokat, illetve egy kihozatalnak megfelelő vízszintes kimetszi a hamuirányok pontjait, melyek minél jobban kifelé esnek, annál rosszabb lesz az eredmény. Azt látjuk

tehát, hogy a 0,25—0,5 mm-es frakciótól kezdve a szemnagyság növekedésével a moshatóság romlik, ami ennél a szénél várható is volt. Az összekevert frakciók átlaggörbét a 7. sz. rajzon látjuk pormentes szén esetében. A por hozzáadásával a 8. sz. mosási vektorgörbét kapjuk. Ezzel szemben pl. a 20—22. sz. kísérlet adatai a következőket mutatják:

Mind a nyers, mind a szérelt szénét szétszitáltuk és mindegyik szemnagysághoz nézve megállapítottuk a nyersszén ugyanazon frakciójából elért kizozatalokat is.

4. TÁBLÁZAT
Az egyes szemnagysághoz tartozó hamu- és kizozatali adatai

Szemnagyság	Nyersszén hamu %	Széreltszén hamu %	Kizozatal %
0—0,25 mm	28,84	28,6	1,4
0,25—0,5 mm	29,21	19,9	14,4
0,5—1,0 mm	31,55	14,20	17,35
1,0—2,0 mm	36,79	14,55	34,9
2,0—4,0 mm	40,72	13,29	22,4
4,0—6,0 mm	42,36	17,07	30,9
+6 mm	46,42	17,00	29,4
Átlag	36,36	15,9	22,5

A szérelt szén hamutartalmára nézve meg kell jegyeznünk, hogy az itt közölteknel jobb eredményeink is voltak; így ugyanezen kísérletnél a 0—2 mm-es részben az 1—2 mm-es frakciónál 12,18% volt a hamu, a 7. sz. kísérletnél pedig a 0—6 mm-es szénét egyben szérelve az 1—2 mm-es frakció hamutartalma 36,70%-ról 10,85%-ra ment le. Így a 4. sz. táblázat adatai üzemileg javítható értékeknek tekintendők.

A 0—0,25 mm-es legfinomabb port tehát teljesen elszívtuk, mert az ennél a frakciónál kapott kicsiny, 1,4%-os kizozatal a szérelés közben bekövetkezett aprózódásból adódhatott. A 0,25—0,5 mm-es durvább pornak már 14,4%-át hoztuk ki, a szérelt szénben majdnem 10%-os hamucsökkenést érve el a frakció nyers hamutartalmához képest.

A 4. sz. táblázat adatait a 9. sz. rajz ábrázolja. Ezen azt látjuk, hogy a nyersszén szemnagysághoz tartozó hamutartalma a görbe szerint a szemnagyság növekedésével állandóan emelkedik. A szérelt szénél kb. 0,2 mm-ig nincs javulás, de azután a két görbe erősen szétválk és az 1—3 mm közötti frakciónál a szérelt szén hamugörbét behorpadása látható. Ugyanide, vagyis 1—2 mm közé esik a legjobb kizozatal is, amit lépcsőzetesen ábrázoltunk. A lépcsők által bezárt összterület átlagos magassága az egészre vonatkoztatott kizozatalt adja.

Az előzetes portalanítás kérdéséhez tartozik az is, hogy a csak szérelés közben portalanodó, illetőleg meddőelvétellel kapcsolt előszéreléssel portalanított végterméknek milyen lesz a szemnagyságösszetétele. A kísérletek eredményezve különböző adatokat szolgáltattak aszerint, hogy milyen elszívást alkal-

maztunk. Egyébként is ez a vizsgálati pont nem sikerült teljesen, mert egyes kísérleteknél ellentmondó adatokat is találtunk, valószínűleg azért, mert nem voltak megbízható üzemi próbaszítáink, illetőleg a szitákban különbözőségek lehettek.

A szitaanalízisek eredményét erősen befolyásolta, hogy a könnyen porlódó szenet ládákkal és kézivedrekkel dolgozva egymásután többször adtuk fel a rendelkezésre álló légszérre. Nagyüzemben, egymásután kapcsolt légszéreknél, ahol a szén folyamatosan megy tovább, ez a porlódási tényező elesik. Állandó üzemi állapotnál feltétlenül kedvezőbb eredményekre számíthatunk. Az említett 20—22. sz. kísérletet előzetes portalanítással kezdtük. Az így szérelt szén szemnagysággörbéjét a 10. sz. rajz mutatja. Ez nagyon kedvezőnek látszik. Mellé rajzoltuk a nyers szén szemnagysággörbéjét is, és összehasonlításul az üzemetőség régebbi adatai alapján a Rheon lemosott és utána centrifugált aprószén szemnagysággörbéjét. Az utóbbi görbe csak elméleti összehasonlítást ad, mert a centrifuga annyira töri a szenet, hogy kokszszen szempontjából nem jöhet szóba. Viszont centrifugálás nélkül igen sok vizet kellene a kokszolóműhöz szállítani.

A jelzett görbe szerint lehetőség van arra, hogy a szérelt szén teljes mennyisége 0,25 mm-en felüli legyen és 0,5 mm alatt is csak kb. 8%-ot kapjunk.

A kísérletek végeredményeit az 5. sz. táblázatban foglaltuk össze, amihez a következő megjegyzéseket fűzöm.

A táblázatok összeállításánál különböző kombinációkat vettünk számításba, melyek gyakorlatilag is előálltak és előállíthatók: pl. csak a szérelt szenet számítottuk, vagy a szérelés előző fázisát vettük figyelembe, mintha ott megálltunk volna; vagy pedig a szérelés túlhajtásánál a túlságosan jó középterméket visszakevertük a szénbe, mindig aszerint, hogy mit akarunk jellemzően kimutatni. Ezekből gyakorlatilag az tűnik ki, hogy valószínűleg a legelőnyösebb lesz a szén részleges portalanítással először 0—6 mm-ig egyben leszérelni, a szérelt szenet 2 mm-es szitán átrostálni, majd a 0—2 mm-es részt elfogadni végtermékként és csak a 2—6 mm-es frakciót szérelni tovább. A végén pedig a két frakciót össze kell keverni. Lehetséges, hogy ez a határ 3 mm-nél lesz. Ezt nem tudtuk kikísérletezni, mert 3 mm-es rostánk nem volt.

A minták átlagfajsúlya és hamutartalma között elég jó tájékoztató összefüggést találunk. Ezt az összefüggést a 11. sz. rajz ábrázolja, ahol az egy kísérletnél ugyanazon anyaggal kapott különböző pontokat kötöttük össze. A menetközben vett mintákat fajsúlyozva mindig tudtuk, hogy a szér hogyan dolgozik.

A sikertelennek jelzett kísérletek kihagyásával kapott eredményeket a 12. sz. rajzon megadott kihozatali pontokkal tüntettük fel, melyek egy szabályos tényleges kihozatali görbét adnak. Szándékosan különböző kihozatalokra dolgoztunk, hogy lássuk az összefüggéseket. Ez a görbe azt igazolja, hogy a széreléssel tetszőleges kihozatalra, illetőleg hamutartalomra — természetesen az elérhető legjobb hamuhatárig — tudunk beállni. Az »A« görbe a poros nyers

szénre vonatkoztatott ténylegesen elért kihozatalok görbéje, a »B« az ugyanerre vonatkoztatott elméleti kihozatali görbe, míg a »C« görbe pormentes szénre vonatkoztatott ugyancsak pormentes kihozatal elméleti görbéje. Ez utóbbit

5. TÁBLÁZAT
Pécsi szérelési kísérletek eredményei

Kísérlet sor-száma	Ny e r s s z é n						S z é r e i t s z é n					
	0—6 mm		+ 0,25 mm		+ 0,5 mm		0—6 mm		+ 0,25 mm		+ 0,5 mm	
	%	h	%	h	%	h	%	h	%	h	%	h
Rovat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
x 1	100	33.5	80,9	35.0	65.7	36.6	48,8	25.57	53,7	25,4	53,4	24,2 x
— 2	100	34.56	87,7	35,3	71,9	37,6	42,6	30,79	47,6	30,6	54,5	30,2 —
— 3	100	35.70	87,3	37,1	68,9	40,5	22,2	21,74	25,0	23,5	28,2	21,7 —
x 4	100	33.91	89.3	38,2	72,1	40,8	36.5	22,10	39,8	22,4	44,4	21,1 x
— 5	100	36.10	—	—	68,0	39,19	35,5	26,95	—	—	45,5	25,6 —
— 5	100	36.10	—	—	68,0	39,19	27,0	25,90	—	—	33,5	23,09 —
x 6	100	32.20	—	—	70,4	35,73	33,0	26,13	—	—	35,8	23,6 x
7	100	36.95	—	—	73,7	40,5	28,2	18,22	—	—	32,9	17,18
— 8	100	36.75	—	—	—	—	20,6	25,09	—	27,0	—	26,7 —
x 9	100	35.40	—	—	75,7	38,4	52,3	29,0	—	—	62,5	30,5 x
x 9	100	35.40	—	—	75,7	38,4	30,0	24,61	—	—	36,7	26,2 x
15	100	39.28	—	—	70,0	40,37	62,0	27,39	—	—	56,8	25,25
15+17	100	39.28	—	—	70,0	40,37	50,4	21,6	—	—	38,6	17,0
18+19	100	35.82	—	—	77,5	37,2	52,5	23,80	—	—	42,0	20,36
20—22	100	37.67	86,0	37,6	72,9	39,1	19,4	15,25	22,6	15,25	26,2	15,25
20—22	100	37.67	86,0	37,6	72,9	39,1	40,3	22,6	47,0	22,6	54,5	22,6
20—22	100	37.67	86,0	37,6	72,9	39,1	34,3	21,6	40,0	21,6	46,4	21,6
20—22	100	37.67	86,0	37,6	72,9	39,1	22,5	15,9	26,2	15,9	30,4	15,9
24	100	41.23	94,6	39,2	86,9	39,7	51,1	23,54	52,5	23,8	48,0	22,2
— 25	100	40.34	—	—	—	—	54,5	28,55	—	—	—	—
— 26	100	34.26	—	—	—	—	24,2	21,12	—	—	—	—
27	100	34.41	—	—	—	—	26,5	18,5	—	—	—	—
28	100	38.54	—	—	74,0	41,0	—	18,0	—	—	—	—
29	100	38.45	—	—	85,0	39,24	34,7	20,65	—	—	—	—
29	100	38.45	—	—	85,0	39,24	19,06	14,95	—	—	—	—
30	100	35.85	—	—	78,7	36,56	38,52	21,8	—	—	—	—
30	100	35.85	—	—	78,7	36,56	25,6	16,6	—	—	—	—
31	100	35.60	—	—	74,7	36,31	39,1	22,9	—	—	—	—
31	100	35.60	—	—	74,7	36,31	23,3	16,6	—	—	—	—
Rovat	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Jelmagyarázat : — Beállítási próbálkozások miatt nem sikerült kísérletek.
× Pécsbányatelepi szén.

csak összehasonlításként rajzoltuk fel és melléje rajzoltunk néhány ténylegesen elért kihozatali pontot, amit úgy kaptunk, hogy a pormentesített szérelt szenet a pormentes nyers szénhez viszonyítottuk. Ezeknek a pormentesre vonatkoztatott pontoknak folyamatos üzem esetén az előzőek szerint az itt feltüntetetteknél jobb eredményeket kell mutatniok.

Az »A« görbéhez kapcsolódó kihozatali pontsorozat poros szénre vonatkozik. A nyílakkal megjelölt vízszintesek jobboldali végén a kísérletek sorozatai vannak, ezek végpontjai pedig a hamuskálán leolvasható nyersszénhamutartalmakat adják. A súlykihozatali százaléknak megfelelő magasságban húzott vízszintes vonalak baloldali végpontjai a szérelési eredményt mutatják a szérelt hamutartalomnak és a súlykihozatalnak megfelelő helyen. A vízszintesek hossza pedig a hamuskálán leolvasható hamucsökkenést adja a nyíllal jelölt irányban.

Ezeket a kihozatali pontokat először felrakva utólag próbáltuk az »A« görbével összekötni. A ténylegesen elért kihozatalok görbéje szabályosságot mutat. Nemcsak azt látjuk, hogy a különböző kihozatalokra dolgozó kísérletek a szérelési eredményeket egyértelműen érték el — vagyis szabályos görbét adtak — hanem érdekes, hogy ez a görbe ugyanazt a kihasadást mutatja, amit a poros szén elméleti mosási görbéinél kapunk és ami az elméleti »B« görbén is látható. A tényleges kihozatali görbe az elméletit kb. 2,5% hamupontdifferenciával párhuzamosan követi.

Ha az elméleti és a tényleges görbét a kihozatalok szempontjából hasonlítjuk össze, már lényegesen nagyobb eltérést kapunk. 20%-os hamutartalomnál az eltérés kb. 10%-os kihozatali különbség, ami a száraz előkészítésre nézve még mindig túlságosan kedvező eredményt mutat. Itt is figyelembe kell venni azonban, hogy az elméleti görbe a poros szén olyan mosási görbéjének alapulvételével készült, amelynél a 0,5 mm-en aluli port, annak átlaghamutartalmával, változatlanul iktattuk be a megfelelő hamurétegbe, tehát elméletileg annak javulását nem tételeztük fel. A valóságban azonban ennél is volt javulás. Ezek az összehasonlítások egyébként tanulságosak lehetnek, de a nyersszén változó hamutartalma pontos számításokat nem tett lehetővé. A 13. ábrán két egymástól nagyon különböző mosási görbét rajzoltunk meg (2/1 és 15/1. sz. minták) és a kettő közé interpoláltunk egy közepes mosási görbét, hasonlóképpen a fajsúly görbéjét is. Ugyanezt végeztük a 14. sz. ábrán vektorgörbével. Ez utóbbin közvetlenül látjuk, hogy ugyanazon szénfajtánál pl. a 20% szérelt szén hamutartalomhoz tartozó elméleti kihozatalokban 21% különbség adódhatik. A 12. sz. rajz tényleges kihozatali pontjainak az elméleti görbével való összehasonlítását tehát ennek figyelembevételével kell értékelni.

A 14. sz. rajz két mosási vektorgörbéje közé interpolált görbe alapján megszerkesztettük a 15. sz. rajz kihozatali görbéjét és mellérajzoltunk egy pár tényleg elért kihozatali pontot, melyek összekötése ugyancsak mutatja a poros szénnél várható kihasadást. Ugyanide rajzoltuk be egy kiugróan szélső értékű

minta (24/1) elméleti kihozatali görbáját is, amelyhez a 24. sz. kísérlet kihozatali pontja elég közel esik. A 15. sz. rajzzal szemben a 12. sz. rajz»B« görbéje annyiban tér el, hogy utóbbinál a kísérletek végén külön elvégzett vizsgálat alapján kapott mosási vektorgörbét (8. sz. rajz) vettük figyelembe.

Mindenesetre érdekes, és jellemzőnek mondható, hogy a 12. sz. rajzon azt látjuk, hogy az erősen különböző nyersszénhamutartalmakból kiinduló szérelések mind egyetlen kihozatali görbével jellemezhető eredményekhez vezettek. Ez azt mutatja, hogy a száraz ülepítésnek ez a módja a nyersszén hamutartalmának változásával szemben bizonyos fokig érzéketlen, illetőleg arra automatikusan beáll.

A mosási eljárás jóságának megítélésére legjellemzőbbek a mosásnál kapott Tromp-görbék, melyeket a 16. sz. rajzon láthatunk.

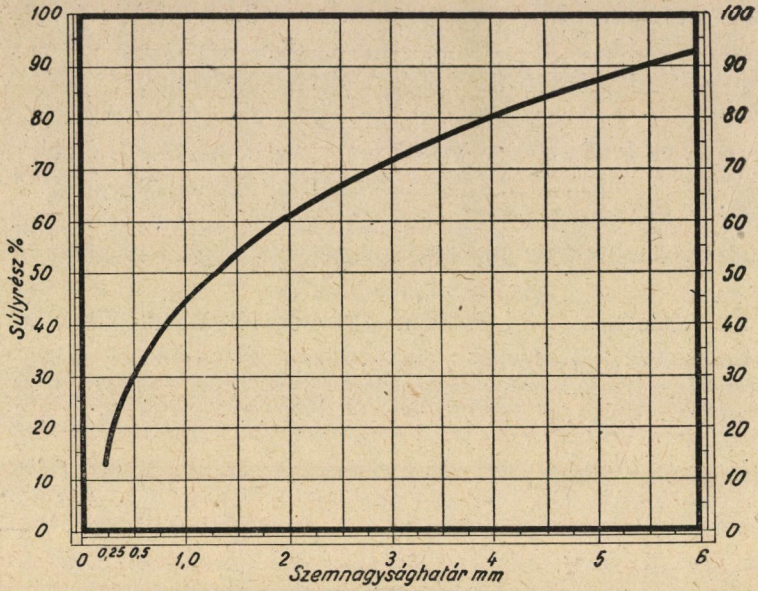
A 16/a sz. rajz 0—6 mm-es poros szénrel elért eredményt mutat, amellyel nem lehetünk teljesen megelégedve. Itt azonban hivatkozhatom a berendezés említett tökéletlenségére. A szénrel először részlegesen portalaníttuk, utána 2 mm-es szítán átszítva a két szitafrakciót külön széreltük. A görbe a szérelt szeneknek megfelelő arányban történt összekeverését mutatja, a 0—6 mm-es szénre, az eredeti poros szén fajsúlyfrakcióihoz viszonyítva. A porvesztés miatt a görbe nem kezdődhetik a 100%-nál. A széreléseknél beálló elporlódás és elszóródás is jelentkezik a görbén. Ettől függetlenül azonban az előbb mondott okok miatt a görbét nem tekinthetjük teljesen megbízhatónak. A finom rész fajsúlyozása ugyanis a 0,5 mm-en aluli por kiszitálása után történt és az így kivont por százalékos mennyisége a különböző mintáknál nagy eltérést mutatott.

Megbízhatóbb Tromp-görbéket kapunk a 2 mm-en felüli szemmagyság szérelésénél. A 16/b ábra külön mutatja a meddőelvételel, és a második szérelésnél a középtermékkelvételel Tromp-görbét, mindkettőt a nyersszénre vonatkoztatva. A két görbe közé esnek a középtermékihozatal százaléka az egyes fajsúlyfrakciókból. Ez a görbe elég kedvezőnek mondható.

A 16/c ábra egyszer szérelt, tehát a meddőelvonás után kapott 2—6 mm-es szénnek második szérelésénél kiadódó Tromp-görbét mutat, a második széreléshez feladott anyagra vonatkoztatva. Látjuk, hogy 16% hamutartalomra való leszérelés esetén kb. 13% szénvesztésünk volt, ami a középtermékbe megy, viszont a szérelt szén elég tiszta.

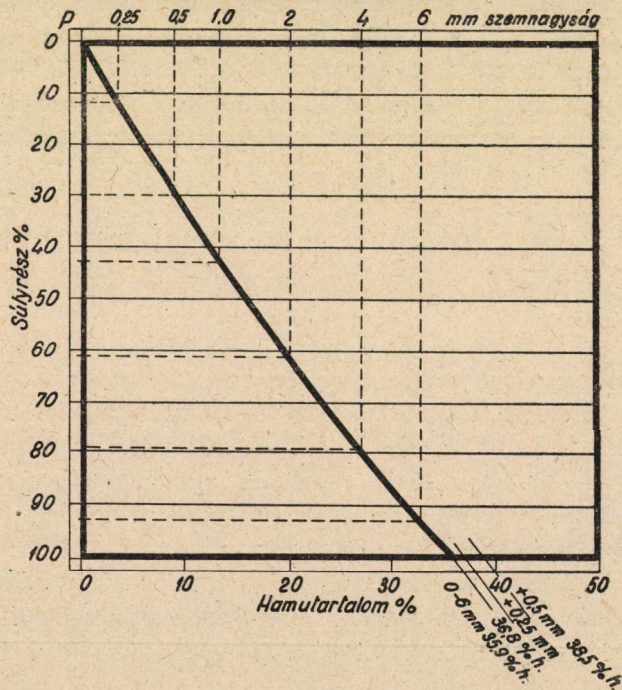
Összehasonításul a 16/d ábrán a Baum ülepítőgépre a Colliery Engineering 1950. augusztusi számában közölt Tromp-görbéket másoltuk át, és pedig két görbét a 4,76—0 mm és 19—4,76 mm szemmagyságfrakciókra nézve. A szérelési kísérletek e kettő közé eső szemmagyságú szénrel történtek, de közelebb az apróbb szénre érvényes és kedvezőtlenebb Tromp-görbéhez. Ha ezt figyelembe vesszük, a különbség nem túl nagy, és így talán azt mondhatjuk, hogy az újabb, tökéletesebb géptípussal és folyamatos üzemből a száraz ülepítéssel jól meg tudjuk közelíteni a vizes, finomülepítőgépektől várt eredményeket.

Szabolcs-Vasasi nyers aprószén szemnagyság-eloszlása

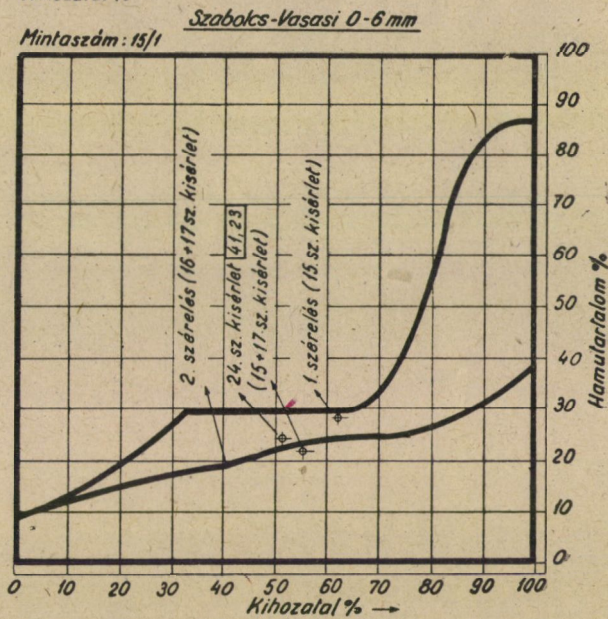
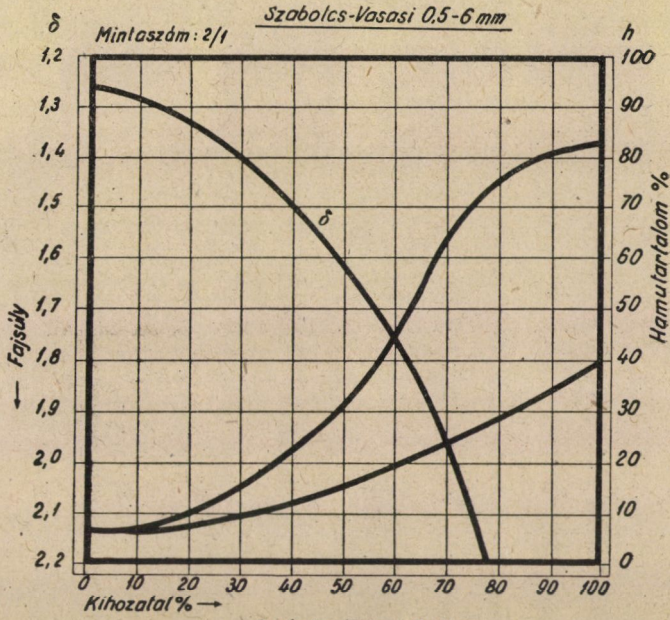


1. ábra

Szabolcs-Vasasi nyers aprószén szemnagyság és hamu vektorgörbéje

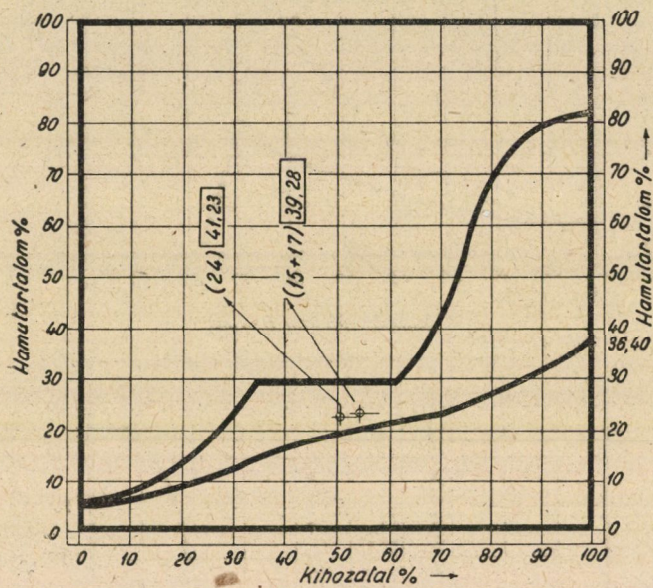


2. ábra

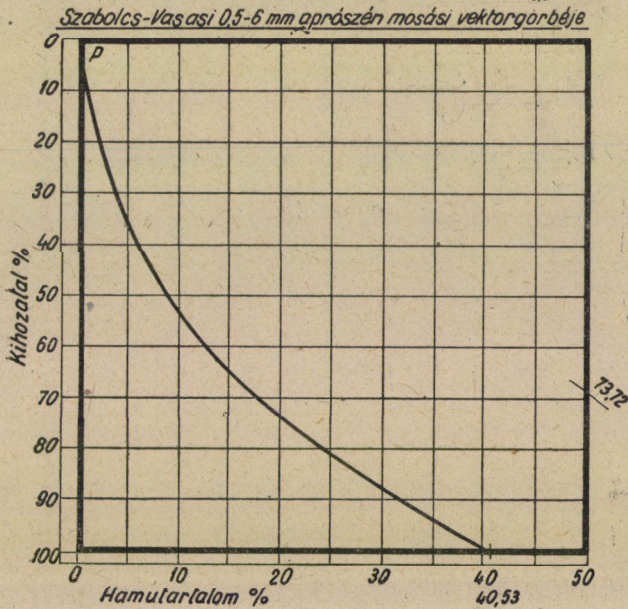
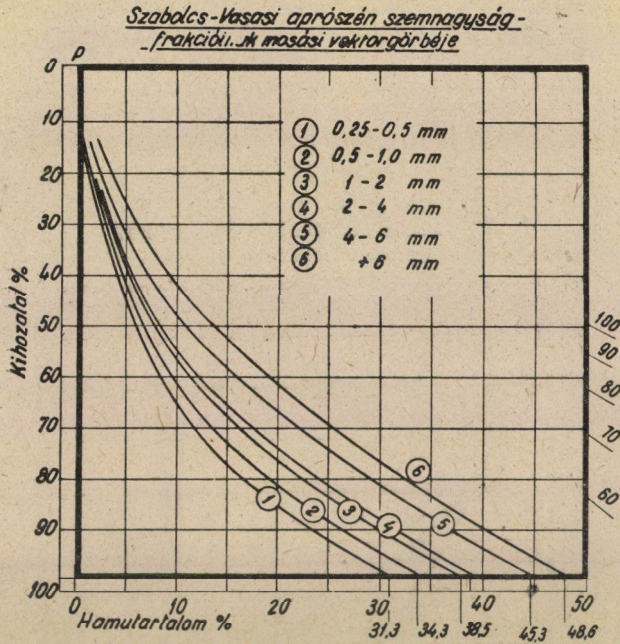


3-4. ábra

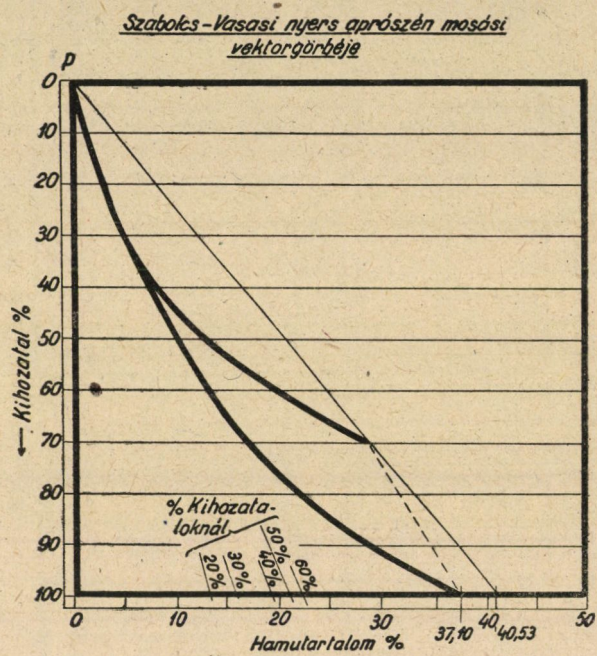
Szabolcs-Vasasi 0-6mm (poros) 2/1 sz. minta



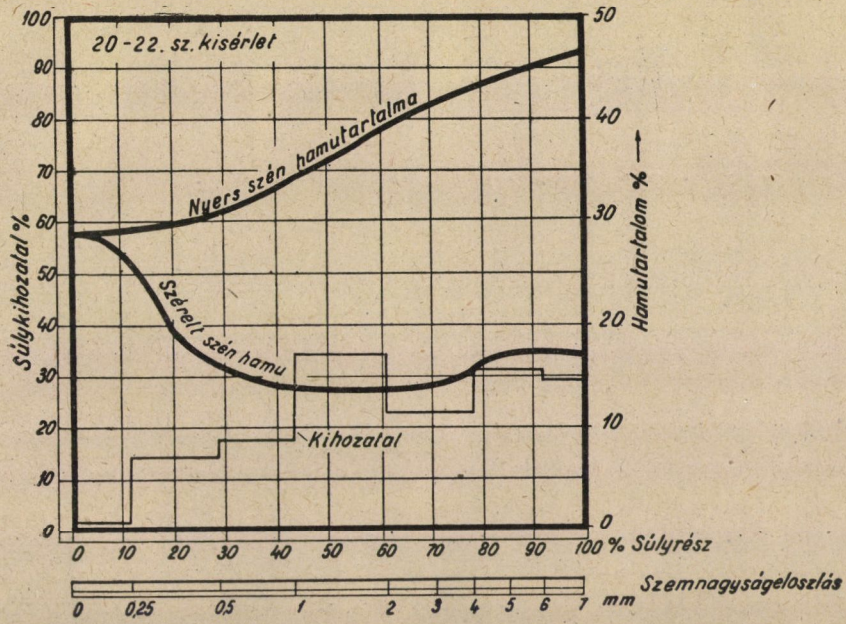
5. ábra



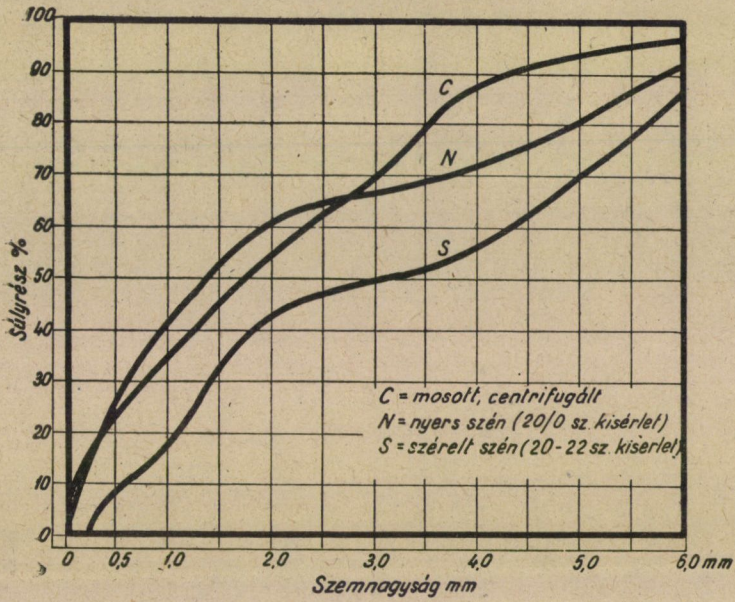
6—7. ábra



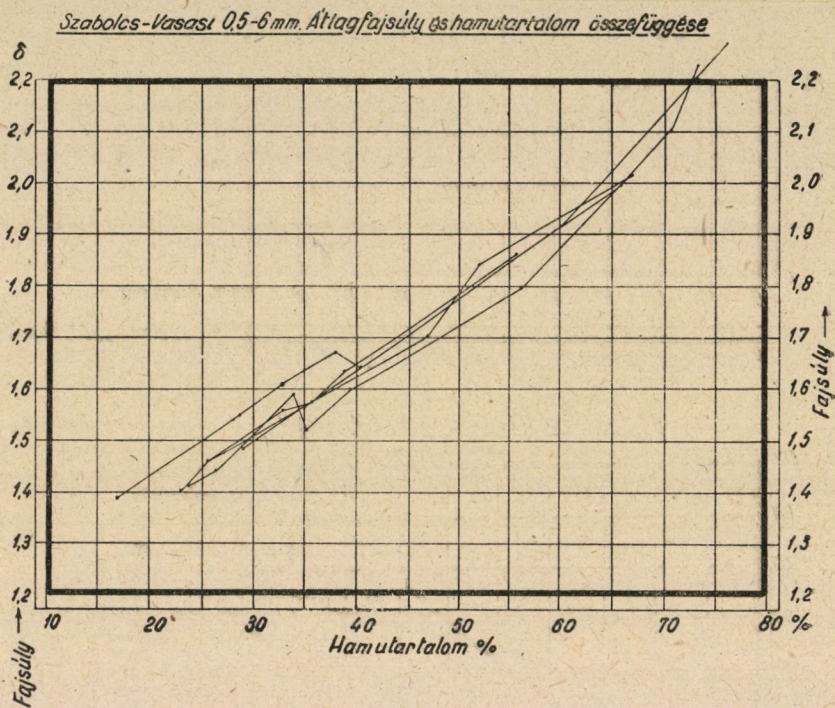
8. ábra



Szabolcs-Vasasi szén szemmagyság görbék

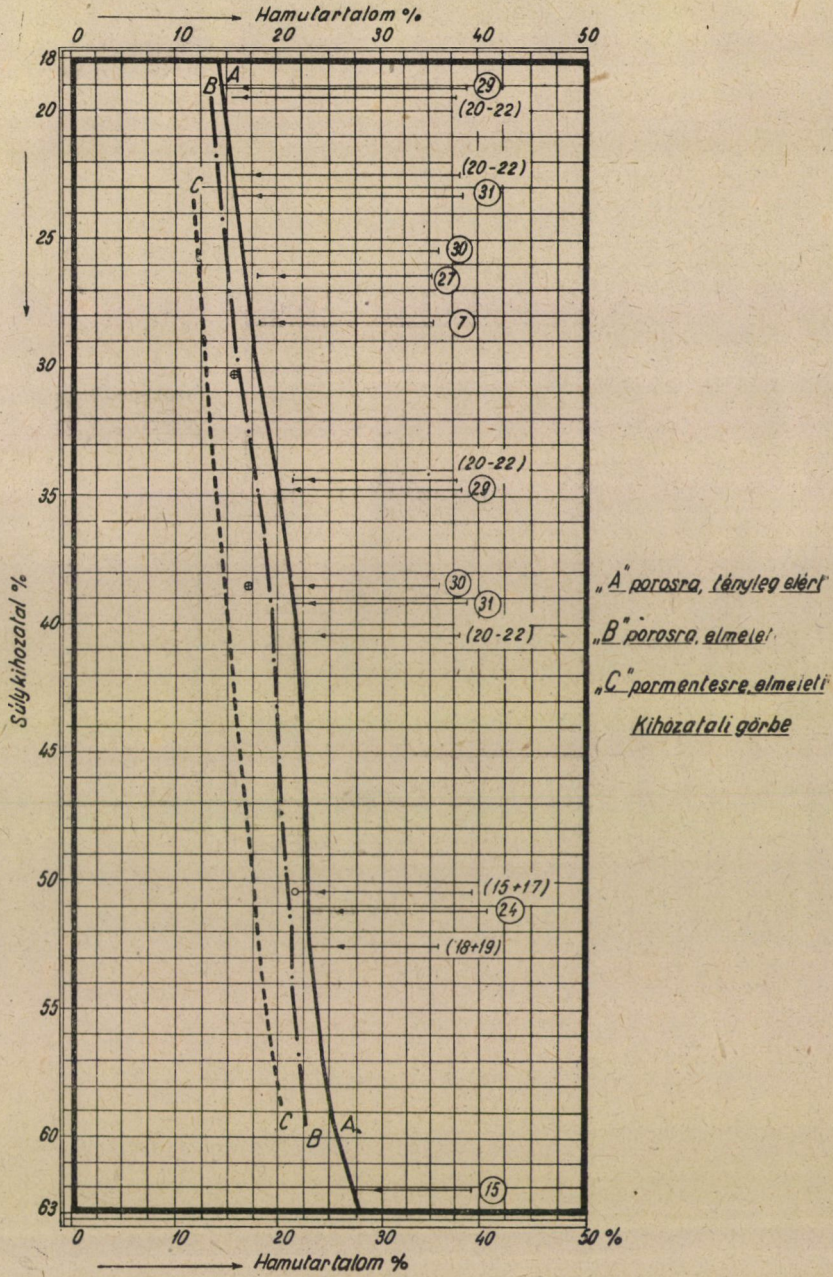


9-10. ábra

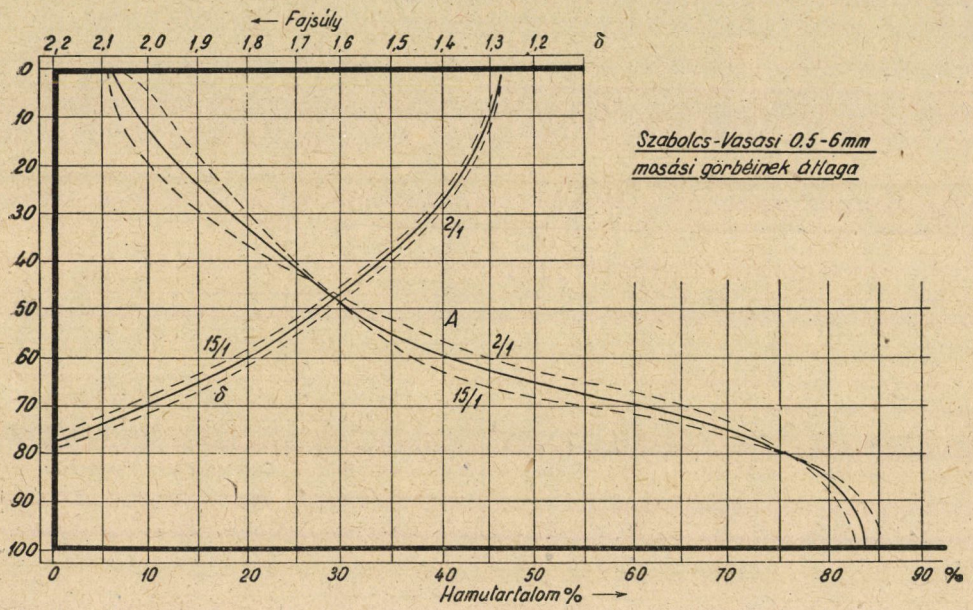


11. ábra

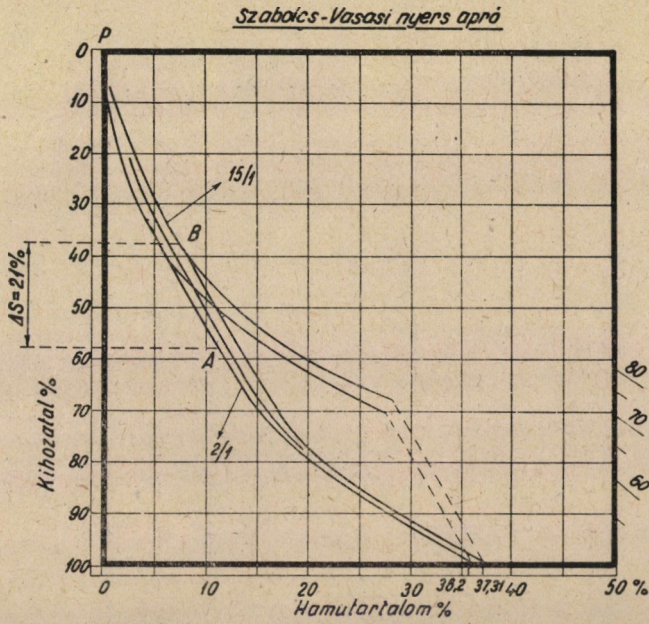
Szabolcs-Vasasi 0-6mm aprózón szérelési eredményei



12. ábra

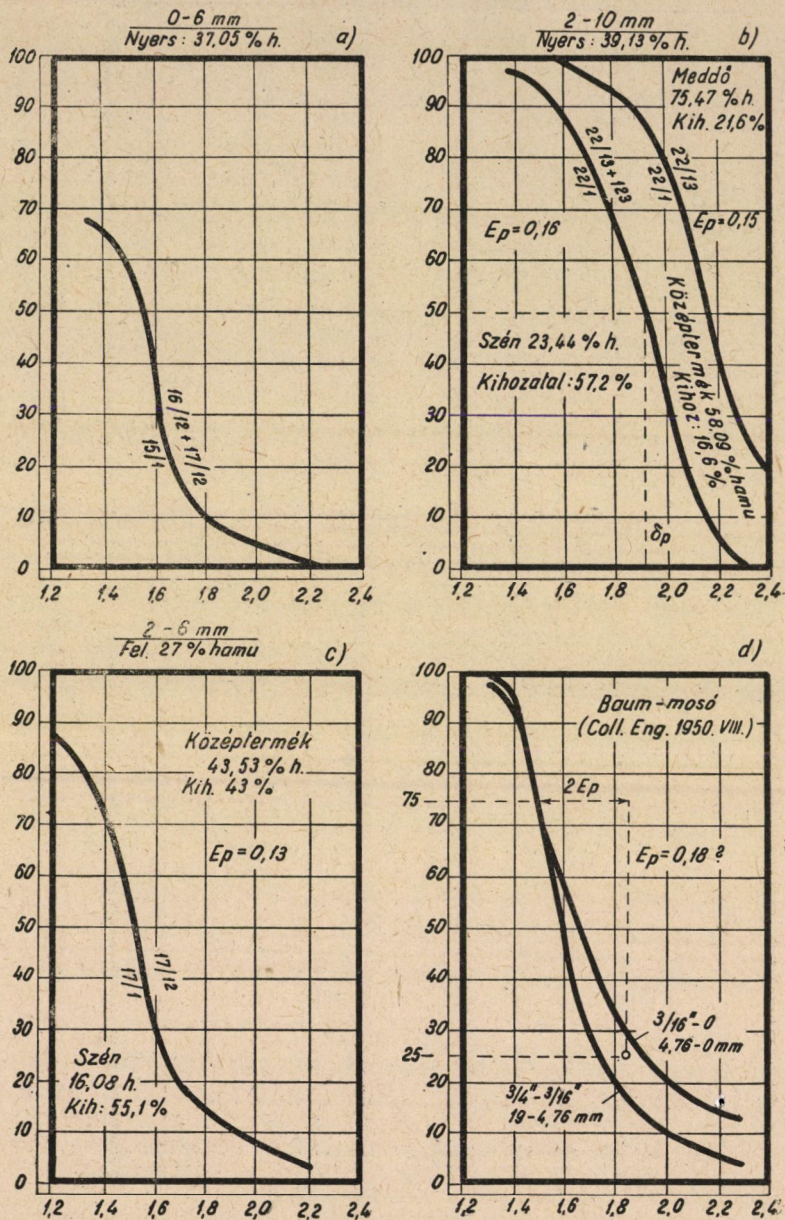


13. ábra



14—15. ábra

Szételési Tromp görbék



16. ábra

HOZZÁSZÓLÁSOK

MARTINY KÁROLY

»Liasz-szeneink szérelésének legújabb eredményei« című előadásához.

TARJÁN GUSZTÁV I. tag hozzászólása.

Előadásának bevezető részében *Martiny Károly* azokat az elveket ismerteti, amelyek az ülepítés lényegének magyarázatául abban az időben általánosan elterjedt elmélettel szemben légszérének (ill. pneumatikus ülepítőgépnének) kialakításában vezették. Ezek az elvek, mint pl. a minél kevesebb levegőát-fuvasítás alkalmazása, a szérre feladott anyagrétegnek »fluidizálása«; »száraz folyadékká« való alakítása, amelyből a »saját folyadékfajsúlynál« kisebb fajsúlyú szemek a folyadékokra érvényes felhajtóerő következtében kiúsznak, ill. a nehezebb szemek benne lesülyednek, stb., már készülékének 1937. évi szabadalmi leírásában is nyomtatásban megtalálhatók. A szabadalmi bejelentés 1936. májusában történt.

Ezt azért tartom érdemesnek megemlíteni, mert az újabb szakirodalomban lépten-nyomon találkozunk az ülepítés elméletének olyan magyaráztával, amely lényegében megegyezik a *Martiny* által már 1936-ban vallott nézettel, melynek alapján ő légszérét megszerkesztette.

F. W. *Mayer*¹ szerint pl. ülepítéskor a vízlökés által fellazított anyag-halmazban a fajsúly szerinti elrendeződés az entrópia-elv értelmében »magától«, önként következik be, mert a szétrétegződött anyaghalmaz helyzeti energiája kisebb, mint az eredeti kevert anyaghalmazé. A szétrétegződéssel ugyanis az anyaghalmaz súlypontja mélyebbre kerül, s a vízáramlás egyedüli rendeltetése az anyaghalmaz fellazítása, hogy az egyes szemek a szomszéd szemekhez képest elmozdulhassanak. A vízáramlás hatására együttülepedés szerinti osztályozás történik, ami az ülepítés szempontjából nem kívánatos, sőt egyenesen káros jelenség. A vízáramlás tehát egy szükséges rossz.

W. *Andres*² felfogása szerint az ülepítőgépben az anyagréteg fellazított állapotában »nehéz folyadéknak« tekinthető, melyből a kisebb fajsúlyú szemek kiúsznak, a nehezebb fajsúlyú szemek pedig lesülyednek benne.

A *Martiny*-légszér megszületését megelőző irodalomban *H. Heidenreich*³ vallott a fajsúly szerinti előkészítés lényegéről a *Martiny*éval rokon nézetet, aki egy 1929. évi közleményében a Rheo-csatornában mozgó anyaghalmazt térfogatsúlyával azonos fajsúlyú folyadéknak tekintette. Tudomásom van *Heidenreich* egy érdekes régi javaslatáról is, amelyben a fajsúly szerinti való szétrétegzést a közegáramlás teljes kikapcsolásával kívánta létrehozni, a Briart-rácsra emlékeztető készülékben, amelynél a szomszédos rácsrudak felváltva emelkednek-sülyednek, miáltal a rácsra feladott anyagréteg egyes darabjai a szomszédos darabokhoz képest helyzetüket és helyzetüket változtatják, s a fajsúly szerinti szétrétegződés így létrejön.

¹ *Mayer, F. W.*: Eine neue Erklärung des Setzvorganges und ihre Folge für die zweckmäßige Gestaltung des Setzhubdiagramms. Glückauf 87 (1951. Aug.) S. 776—783.

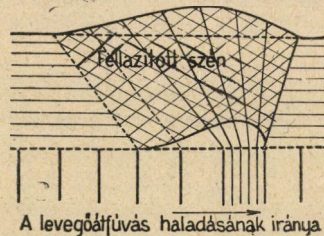
² *Andres, W.*: Die Schichtung des Setzgutes nach der Wichte. Glückauf 86. (1950. Jan.) S. 17—19.

³ *Heidenreich, H.*: Beiträge zur Theorie der Sortenbildung im Rheobette. Mont. Rundschau 21 (1929.) S. 473—479.

Evvel rokon jelenség a Dyer⁴ által leírt »fordított osztályozás« is. (T. i. az együttülepedéssel fordított osztályozás az eredmény: a nehéz nagy és a könnyű kis szemek kerülnek egy osztályba.) Különböző fajsúlyú és nagyságú golyók keverékét egy edényben rázogatva azok úgy rendeződnek, hogy alulra kerülnek a kicsi nehéz, e fölé a nagy nehéz, e fölé a kicsi könnyű és legfelül a nagy könnyű golyók.

De függetlenül attól, hogy milyen elmélettel próbálták magyarázni az ülepités jelenségeit, kétségtelen, hogy az ülepitéskor régebben is ugyanazok a törvények hozták létre az anyag fajsúly szerinti szétrétegzését mint ma, s a jó eredmény érdekében a régebbi légszereket is úgy kellett járatni, hogy a szérlepon az anyagréteg »lebegő állapotba« jusson: »fluidizálódjék«, de gejzirszerű kifúvások fellépése nélkül, mert ezek a szétrétegződést megszüntetik.

A Martiny-szér szerkezetéből következik az a sajátsága, hogy az anyag fluidizálását a gejzirszerű kifúvódások veszélyének erős lecsökkenése mellett képes megvalósítani. Itt a levegő a szítának egy vékony sávján fúvódik át, s már a szénrétegben, mielőtt annak a tetejét eléri, oldalirányban is kiterjedhet, különösen a közvetlenül megelőző átfúvás által fellazított szénréteg irányában.



1. ábra

Az 1. sz. ábra érzékelteti ezt a jelenséget. A lényeges az, hogy a réteg alján keskenyebb sávban nagyobb sebességgel fúvódik át a levegő mint a réteg tetején. Alul nagyobb légsebességre is van szükség a nyugvó szénréteg megemeléséhez. A levegő sebessége a magasabb rétegekben fokozatosan csökken, összhangban a csökkenő szénréteg csökkenő ellenállásával, s a szénréteg tetején kilépő levegő sebessége már annyira lecsökken, hogy a szén gejzirszerű kifúvásától s a szétrétegzett anyagnak evvel együttjáró újbóli összekeverésétől nem kell félni.

Más típusú légszerekknél, ahol a levegő nem egy vékony sávban, hanem a szita teljes felületén egyszerre fúvódik át, annak oldalirányban való kiterjedésére, vagyis a réteg tetején lecsökkent sebességgel való kilépésre nincsen meg a lehetőség. A réteg meglazításával tehát együtt jár a gejzirképződés veszélye.

Ami a pécsi szén légszerezésekor elért eredményeket illeti, azok igen jónak minősíthetők. Valamely mosóberendezés jóságát legjobban annak Tromp-görbéje alapján, s közelítőleg a Tromp-görbékről leolvasható » E_p « (= valószínű eltérés = a 25 és 75 súlyszázalékhoz tartozó fajsúlyértékek különbségének fele) alapján lehet megítélni. Minél kisebb E_p , annál tökéletesebben dolgozik a

⁴ Dyer, F. C.: The Scope for Reverse Classification by Crowded. Settling. Eng. Mining J., 127 (1929.) p. 1030—1033.

berendezés. A Martiny-féle kísérleti légszérre 0,13—0,16 közötti E_p értékek adódtak a 6—2, ill. 10—2 mm szemmagyságú szén szérelésénél. (1. táblázat.) Hogy ezeket az értékeket legyen mihez hasonlítani, a 2. táblázatban közlöm a

1. TÁBLÁZAT

Martiny - szer.		
mm	δ_p	E_p
6—2..	1,52	0,13
10—2..	1,92	0,16
10—2..	2,16	0,15

2. TÁBLÁZAT

Colliery Eng. 1950 Aug. p. 307.			
Mosóberendezés	mm	δ_p	E_p
Nehéz szuszpenzió	+6,7	1,56	0,011
Nehéz szuszpenzió	30—10	1,50	0,031
Ciklonmosó	1,17—0,42	1,63	0,042
Ciklonmosó	2,36—0,074	1,74	0,024
Ülepítógép	80—33	1,45	0,057
Ülepítógép	33—6,7	1,70	0,130
Ülepítógép	33—0	1,63	0,088
Ülepítógép	80—0	1,53	0,103
Ülepítógép	26—0	1,72	0,130
Rheo-csatorna	107—8	1,63	0,096
Rheo-csatorna	8—0	1,70	0,294
Nedves-szér	6,7—0	1,70	0,103
Hydrotátor	18—0,6	1,83	0,099
Légszér	13—6,7	1,68	0,131
Légszér	6,7—4,7	1,76	0,255
Flotálás	1,6—0	1,57	0,127
Flotálás	1,6—0	1,69	0,234
Humphrey-spir.	2,4—0	2,04	0,367

Colliery Engineering 1950. augusztusi számában található, különböző üzemi mosóberendezések E_p -értékére vonatkozó összeállítást, továbbá a 3. táblázatban a soproni Érc- és szénélőkészítéstani tanszéken egy kis laboratóriumi hidrociklonnal és lab. ülepítógéppel történt kísérleteknél talált E_p -értékeket. δ_p a Tromp-görbék 50 súly%-ához tartozó fajsúly = a szétválasztás fajsúlya.

A 2. táblázatból láthatjuk, hogy üzemi légszérre is nyertek a Martiny-szérével azonos $E_p = 0,13$ értéket, de jóval nagyobb szemmagyságú és szűk határok között osztályozott (13—6,7 mm) szén feldolgozásakor. Finomabb szén légszérelésekor $E_p = 0,255$, jöllehet a szemmagysághatár egész szűk volt (6,7—4,7 mm). A 8—0 mm szemmagyságú szén feldolgozó Rheo-csatornára — (ez a szemmagyság kb. megfelel a pécsújhegyi Rheo — szemmagyságnak) — $E_p = 0,294$ értéket találtak, vagyis ez a Rheo-mosó is rosszabbul dolgozott, mint a Martiny-szér. Ez az adat is megerősíti Martiny véleményét, t. i. hogy az ő légszérével elért eredmény jobb mint a jelenlegi pécsi Rheomosóban elért eredmény. Az üzemi ülepítógépeknél öt közül két esetben találunk $E_p = 0,13$ értéket, ismét összhangban Martiny véleményével, amely szerint a légszér a mosás eredményének jósága szempontjából is versenytársa lehet a hidraulikus ülepítógépnek. Itt ismét fel kell hívni a figyelmet arra is, hogy az ülepítógép Tromp-görbéje a durvább szemmagyságoknál — általában — meredekebb, vagyis a durvább szemmagyságokra az E_p rendszerint kisebb! A 2. sz. táblázatban szereplő öt üzemi ülepítógépre az átlagos E_p egyébként 0,10-re adódik, a soproni kísérletek laboratóriumi ülepítógépére pedig (3. táblázat) 0,085 az átlagos E_p -érték.

A kísérleti Martiny-szérrel a pécsi szén előkészítésénél eddig elért eredmények alapján azt javasolom, hogy e kísérletek során nyert tapasztalatok

felhasználásával Martiny Károly tervezzen egy »üzemszerűbb« üzemeltető légszűrőt, amelynél az előszűrőt szén nem kell vödörrel visszaadagolni. Ez a szűrő sürgősen gyártassék le és állíttassék fel a pécsújhegyi mosóműben, hogy folyamatos üzemeltetése során kapott eredmények alapján eldönthető legyen, vajjon légszűréssel, vagy hidraulikus ülepitéssel történjék-e a sztálinvárosi szénmosómű részére szállítandó pécsi szén előzetes hamucsökkentése.

Csak folyamatos, üzemszerű kísérletek adhatnak ugyanis felvilágosítást számos kérdésre, melyek döntő fontosságúak lehetnek az eljárás megválasztásánál (pl. hogyan dolgozik a légszűrő az időnként befutó vizezsebb szén feladásakor, stb.)

3. TÁBLÁZAT

Soproni kísérletek			
Mosókészülék	mm	δ_p	E_p
Lab. hidrociklon ... (4 cm \varnothing)	2-0,5	1,652	0,077
		1,714	0,090
		1,78	0,079
Lab. hidrociklon ..	2-0,5	1,414	0,068
		1,519	0,080
		1,530	0,082
Lab. hidrociklon ...	2-0,5	1,312	0,071
		1,421	0,059
		1,461	0,059
Lab. hidrociklon ...	2-0,5	1,380	0,070
		1,425	0,053
Lab. ülepitőgép....	8-0,5	1,49	0,075
		1,60	0,083
		1,81	0,092
Lab. ülepitőgép....	15-3	1,30	0,10
		1,35	0,10
		1,41	0,12
		1,49	0,067
		1,68	0,040

SZONTÁGH FERENC hozzászólása.

Martiny Károly előadását különösen értékesé tette az a körülmény, hogy egy olyan szénelőkészítő-gépen végzett kísérletek eredményeiről számolt be, melyet saját elméleti elgondolásai alapján saját maga szerkesztett meg. Tehát egy teljesen új dologról van szó, amely a nyilvánosság előtt ismertette még nem volt A berendezéseket az ő elgondolásai szerint állították össze és a kísérleteket az ő utasításainak megfelelően végezték.

Ezeket a kísérleteket alkalmam volt állandóan figyelemmel kísérni és ennek megfelelően észrevételeimet közvetlen megfigyeléseim alapján tehetem meg.

Előre kell bocsátanom, hogy a kísérletek eredményeihez nem sok reményiséget fűztem, mert a pécsi szénnel a multban Finkey-Bamert, Birtley-Gröppel,

stb. szérekben részint itthon, részint külföldön több kísérletet végeztem, melyek még megközelítően sem jártak a kívánt eredményekkel, s így ezek alkalmazásáról le kellett mondanunk.

Ezek a kísérletek csak akkor adtak félig-meddig elfogadható eredményeket, ha a szemnagyság-határokat igen szűkre szabtuk és előzetesen a 0—1 mm szemnagyságot a szénből eltávolítottuk. Ezeknél a kísérleteknél 1—10 mm szemnagyságot külön-külön kellett 1—2, 2—3,5 és 3,5—5 mm, valamint 5—10 mm szemnagyságokra felbontani és ezeket külön-külön szérelni. A pécsi szén hamutartalmát legfeljebb 19,25%-ra lehetett lecsökkenteni. Pontosabban az 1—2 mm-es szemnagyságút 17,85%-os, a 2—3,5 mm-est 18,95%-os, a 3,5—5 mm-est 19,85%-os, az 5—10 mm-est pedig 20,8%-os hamutartalomra tudtuk előkészíteni, mikoris a feladott 1—10 mm-es szén hamutartalma 35,95% volt.

A Martiny-szérrel végzett kísérletek ezzel szemben meglepően jó eredményt adtak.

Azok az elméleti megfontolások, amelyek Martinyt ennek a szérnek szerkesztésénél vezették, ügylátszik helyesnek bizonyultak. Különösen meglepő a nyert meddő kifogástalan volta. Csaknem teljesen tiszta meddőt lehetett kihozni, mely alacsony hamutartalmú részeket nem tartalmazott. A kísérletek azt mutatták, hogy a szérelést megelőző portalanításra nincs szükség, ami igen előnyös és a szérelés műveletét egyszerűsíti.

A kísérletek eredményeivel nem kívánok részletesebben foglalkozni, mivel Martiny azokat előadásában behatóan ismertette. Csak arra óhajtok rámutatni, hogy azok alapján jogosan lehet arra következtetni, hogy a szér, megfelelő javítások után, az elért eredményeknél lényegesen jobbat fog nyújtani. A kísérletek alkalmával ugyanis azt tapasztaltuk, hogy pl. a szita lyukacsainak megváltoztatásával az eredményeket nagymértékben befolyásolni lehet. Sajnos, többféle lyukasztású szita nem állott rendelkezésre, s így a kísérleteket csak kétféle lyukasztással lehetett elvégezni. A rezgésszámnak és az amplitúdónak megfelelő beállításával, továbbá a szérszita lyukasztásának — lyuknagyság és lyukforma — megfelelő megválasztásával, majd az ismételt szérelési műveletnek egy széren való egyesítésével, minden valószínűség szerint, elérhetjük, hogy a szér megfelelő kihozatal mellett a pécsi szénnél is a kívánt hamutartalmat szolgáltatassa.

Ez már azért is fontos, mert a MESZHART a pécsi szénelőkészítőmű korszzerűsítését és teljesítményének növelését tervbe vette, s az erre vonatkozó tervezési munkálatok már folyamatban is vannak. Ha a fentebb említett üzemi kísérletek azt mutatnák, hogy a pécsi szén szérelését Martiny-szérrel a kívánt eredményre lehet előkészíteni, akkor a száraz előkészítés nagy előnyeire való tekintettel az átalakítandó művet már Martiny-szerek alkalmazásával kellene tervezni.

Martiny előadásában ismertette azokat az előnyöket, amelyekkel a száraz előkészítés járna. Ezeknek az előnyöknek kihasználása szénkincsünk jobb értékesítését eredményezné és így népgazdaságunk javára szolgálna. Ezért indokolt és szükséges, hogy a kísérleteket tovább folytassuk. A pécsi szénelőkészítőműben egy nagyobb teljesítményű, már eleve úgy szerkesztett szért kellene felállítani, amely alkalmas arra, hogy a jobb eredmény elérése céljából szükségesnek látszó változtatásokat rajta el lehessen végezni.

Martiny előadásában nem említette, hogy milyen a szér energiafogyasztása a vízzel dolgozó ülepítőgépekhez viszonyítva. Én úgy gondolom, ha az ülepítőgépek vízzel való ellátásához szükséges szivattyómunkát is figyelembe vesszük,

akkor az egész rendszerre számított energiafogyasztás a Martiny szérrel dolgozó előkészítőkénél kisebb lesz.

Nem tűnt ki Martiny előadásából az, hogy hogyan viselkedik a Martiny-szér a szén víztartalmával szemben. A Pécsen végzett szérelési próbák alkalmával a szén bányanedves állapotban került a szérre. A szérnek ezzel a bányanedves szénrel való működése nem adott okot észrevételre. A szérre történt feladás előtt a száradás csak csekély mérvű volt. Figyelembe kell vennünk azonban azt, hogy a kísérletek nyáron, száraz időben folytak. Kérdés, hogy esős időben, amikor a szén nagyobb víztartalommal kerül előkészítésre, ez a nagyobb víztartalom nem befolyásolja-e károsan a szér működését. Azt tapasztaltuk ugyanis, hogy a szén portalanítása, ha víztartalma egy bizonyos határon felül akár csak rendkívül csekély mértékben is megnövekszik, már lényegesen nehezebb.

A javasolt üzemszerűen használható kísérleti szér egyébként erre a kérdésre is biztos választ fog adni.

A pécsi szénelőkészítőműben Martiny-szerek alkalmazásának kérdését a többször említett üzemi kísérletek adatai alapján, természetesen csak az előkészítőmű gazdasági eredményeinek mérlegelése után lehet véglegesen eldönteni. Egyetlen részletkérdés kiragadása ehhez természetesen nem elegendő. Lehetséges például, hogy a kokszzén megkivánt hamutartalomra történő leszérelésénél a kihozatal kisebb lesz, mint pl. ülepítőgépek alkalmazása esetén. Mégis lehetségesnek tartom, hogy a szerek alkalmazása a gazdaságosságot tekintve előnyösebb, mint az ülepítő-gépeké, ha a szerek alkalmazása mellett nyert összes termékek nagyobb gazdasági értéket képviselnek.

KONCZ ISTVÁN hozzászólása.

Nagy érdeklődéssel hallgattam az előadó értékes fejtegetéseit és örömmel hallottam, hogy a szérelő-berendezéssel végzett kísérletek újabb eredményeket hoznak.

Eddig is nagy érdeklődéssel figyeltem a Martiny-féle légszerek fejlődését, hiszen áramlástanilag foglalkozom és ezekkel a szerkezetekkel is közvetlen kapcsolatba kerültem.

A száraz szén nemesítési módszerek iránt azonban fokozott mértékben érdeklődöm, amióta a Hőtechnikai Kutató Intézetben tüzeléstechnikával kapcsolatos problémákkal is foglalkozom.

Hazai gyenge minőségű szeneink kazánokban való eltüzelése sok nehézséggel jár és ezzel kapcsolatban újabb feladatok merülnek fel. Az az eddig követett elv, hogy bányáink gyengeminőségű szénét közvetlenül erre a célra épített kazánokban eltüzelve hasznosítsák, ma is a nagy vonalakban követendő szempont. Meg kell azonban azt is állapítani, hogy bizonyos minőség- vagy fűtőérték-határon alul már nemcsak gazdasági hátrányok származnak abból, hogy a gyengeminőségű szeneket mindenképpen nyers állapotban akarjuk eltüzelni, hanem az igen nagymértékű beruházási költségek ellenére még komoly üzemzavarok is előállhatnak.

Véleményem szerint sok esetben indokoltnak látszik ezeket a szeneket magán a kazántelepen is eltüzelés előtt bizonyos mértékig nemesíteni.

Itt elsősorban a Hőtechnikai Kutató Intézetben az erőművi szénzsáritás terén megindult kutatásra utalok, amely külön berendezés alkalmazása esetén

is, a kazánüzemet annyira előnyösen befolyásolja, hogy nemcsak a teljesítmény vagy a hatásfok növekszik, hanem még a legrosszabb minőségű szeneknél is nyugodt, üzembiztos működést eredményez.

Az is közismert, hogy a főlösegesen nagy salaktartalmú szén a kazánüzemnél milyen hátrányokkal jár, különösen akkor, ha az eltüzelésre kerülő szén hamutartalma nagymértékben ingadozó.

A jó hatásfokú tüzelés egyik alapfeltétele ugyanis az, hogy állandóan homogén tüzelőanyag álljon rendelkezésre.

E megfontolások alapján vetődött fel bennem az a gondolat, hogy ott, ahol a felesleges tiszta meddőtartalom a kazán előtt egyszerű eszközökkel kidobható, az erőművi szénemesítést ezen a vonalon is javasoljam.

Láncrostélyú kazánüzemnél, de főképpen olyan erőművekben, ahol szén portüzelésű kazánok vannak üzemben, a szénelőkészítésnek kedvező feltételei lehetnek. Elsősorban a szénportüzelésű kazánokra gondolok, ahol már 10—12%-ra leszárított és 0—5 mm szemnagyságra előaprított szén kerülhet a malmokba. A száraz szén ezen állapotában egy közbekapcsolt légszéken történő meddő-kiválasztásra is alkalmas, ami a malom és a kazán üzemi viszonyait kedvezően befolyásolná.

Az előadó által közölt szép eredmények arra bátorítanak fel, hogy most már ezen kérdéssel határozott formában forduljak hozzá, vajjon a fentvázolt elgondolás szerint lehet-e szó ilyen erőművi száraz szénelőkészítő berendezés létesítéséről, olyan kivitelben, amely a különleges feltételeknek megfelel. Ezen különleges követelményeket elsősorban a kis energia-fogyasztás, üzembiztonság, olcsóság és kis helyszükséglet jellemzi.

MARTINY KÁROLY válasza a hozzászólásokra.

Nagyon köszönöm *Dr. Tarján* professzor, *Szontágh* és *Koncz* kartársak értékes hozzászólásait, melyek egyben biztatást is adnak nekem arra, hogy kísérleteimet a megkezdett úton és újabb elgondolásaim kipróbálásával is továbbfolytassam.

Dr. Tarján és *Szontágh* felvetették azt a kérdést, hogy vizesebb szén esetén hogyan dolgozik a légszér. Erre vonatkozóan megemlíthetem, hogy a régebbi kísérleteknél a vizes és tapadós szénnel tényleg voltak nehézségek, de csak akkor, ha a szén agyagtartalmú volt. Lehet, hogy egyes rendkívüli esetekben liász szeneknél is zavarokat fog okozni a nagyon vizes szénpor összetapadása. Mivel azonban szeneink nehezebb moshatósága mindenképpen több fokozatban való szérelést, azaz duplex- és triplex légszerek alkalmazását teszi szükségessé, az első fokozat előreláthatólag létrehozza azt a minimális szárítást, amely a továbbiakban az apróbb szemcsék szérelését lehetővé teszi. Erről az »előszérelésről« említést tettem, aminek egyébként a durva meddő kiválasztása lenne a főcélja. A régebbi próbák azt mutatták, hogy ennek a durva meddőnek a kiválasztását a víztartalom kevésbé zavarja. Ez természetesen csak a normális bányanedvesen kitermelt és téli időben, vagy esőben útközben nedvességet felvett szenekre vonatkozik. A vizes munkahelyekről származó, agyagos szenet tartalmazó csilléket a feladásnál külön kell választani, ami mindenesetre a száraz előkészítés hátrányára írható a vizes mosással szemben ; ahol ez rendszeresen előfordul, ott a szérelésnek nehézségei vannak.

Teljesen egyetértek azzal és javaslatomba magam is felvettem, hogy pécsi viszonylatban egy üzemi légszér felállítására lenne szükség, hogy folyamatos üzemi kísérletekkel is igazolva lássuk az eddigi eredményeket. Ha ez megvalósul, remélem, hogy a szakaszos kísérletek tökéletlenségeinek kiküszöbölésével az eredményeken is sikerül majd javítani.

Szontágh kartárs felvetette az energiaszükséglet kérdését a vizes ülepítőgépekkel való összehasonlításban. Erre azért nem akartam itt kitérni, mert légszéreimre vonatkozóan pontos méréseink még nincsenek; nagyjából azonban máris igazolhatom Szontágh azon feltevését, hogy ha a vizes ülepítőgépnél a szivattyúmunkát is figyelembe vesszük, az egész rendszerre számított energiafogyasztás a légszéreknél kisebb lesz. Itt egyébként is elmarad a víztelenítő rázószíták, sőt a centrifugálás energiaszüksége is.

Koncz kartárs kérdésére azt válaszolhatom, hogy magam is foglalkoztam a kazántelegen történő utólagos hamucsökkentés gondolatával. Ennek egyes esetekben szerintem is megvan a lehetősége és az értelme is. A porszénkázán őrlőberendezéséhez tartozó légszeparátor maga is egy olyan légszér, amely a legnehezebb pirites meddőt őrlés közben is kidobja. Különösen a malomkopások csökkentését célozná, ha egy olyan egyszerű szerkezetet iktatnánk be az őrlés folyamatába, amely megfelelő előaprítás révén történő feltárás után a nyilvánvalóan tiszta meddőt — ha tökéletlenül is — nagyrészen eltávolítaná. Itt az aprítás közben történő szárítás — mint Koncz is említette — különösen kedvező feltételeket biztosít. Mivel újabb elgondolásaim szerint ezt a légszértípust porkivonásra is megpróbálnánk felhasználni, ez lehetne a légszeparátor (Wind-sichter), amely a kellő finomságra még nem őrölt szemcséknek a malomba való visszajuttatása mellett a tiszta meddőt a további folyamatból kikapcsolja. Természetes, hogy ennek maga a kazántüzelés is csak előnyét látná. Köszönettel venném, ha a Hőtechnikai Intézet a Koncz-féle javaslattal való továbbfoglalkozásával kapcsolatosan módot nyújtana az együttműködésre.

A Bányászati Kutatóintézet is foglalkozik a rostélytüzelésre kerülő aprószemek portalanítási kérdéseivel, melyekkel kapcsolatosan ezzel a légszérrel is óhajtunk kísérleteket végezni. Itt azonban olyan porkivonás lehet, amelynél a tiszta meddőt egyidejűleg eltávolítjuk.

Ára: 20,— Ft

Akadémiai Kiadó (Budapest V., Alkotmány-u. 21.) Felelős: Mestyán János

Akadémiai nyomda, Gerlőczy-utca 2. — 16714/52 — Felelős vezető: ifj. Puskás Ferenc

MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

IV. KÖTET 2. SZÁM

SZERKESZTI
HEVESI GYULA

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
1951. DECEMBER 9-15-ÉN MEGTARTOTT NAGYGYŰLÉSÉN
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA GÉPÉSZETI FŐBIZOTTSÁGA
RENDEZÉSÉBEN TARTOTT ELŐADÁSOK ANYAGA



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BUDAPEST, 1952

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
HEVESI GYULA
IV. KÖTET 2. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST, V., GÉZA-UTCA 2.
KIADÓHIVATAL: BUDAPEST, V., ALKOTMÁNY-UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest, V., Géza-u. 2.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzőt ötven különnyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 20 forint, külföldi címre 30 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány-u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 04-878-111-48), külföldi megrendelések a «Kultúra» Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VIII., Rákóczi-út 5. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 45-790-057-50-032) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

Acta Technica

című idegennyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol, vagy francia nyelven jelennek meg lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül oroszul. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni:

Acta Technica szerkesztősége, Budapest, V., Géza-utca 2.

ADATOK A TRAKTOROK DINAMIKÁJÁHOZ

RÁZSÓ IMRE lev. tag

A traktor haladása közben fellépő dinamikai jelenségek ismerete egyaránt fontos a traktor főméreteinek helyes kialakítása és a traktor észszerű üzemeltetése szempontjából.

A traktor igen változatos munkakörülmények között dolgozik. Aszerint, hogy lazább vagy tömöttebb talajon, vagy éppenséggel kemény műúton haladva végzi munkáját, tág határok között változnak a *gördülés* és *kapaszkodás* feltételei; egyes típusoknál elég tekintélyes *sebességkülönbségekkel* is számolni kell, amennyiben a legkisebb és legnagyobb sebességfokozatok között az arány kb. 1 : 8; végül a traktortól megkívánt *vonóerő* is jelentős mértékben ingadozhat az elvégzendő munka jellegétől függően. Ilyen változatos munkafeltételeket egyetlen más járműnél sem találunk. A sokszor eléggé ellentétes követelmények kielégítése fokozottabban teszi szükségessé az erőhatások és főméretek, illetve geometriai kialakítás között fennálló összefüggések tisztázását, nemkülönben a változatos üzemi feltételek gondos mérlegelését.

A traktor kialakítása szempontjából vizsgálat tárgyává kell tenni, hogy megadott motorteljesítményű és meghatározott típusú traktornál: a súly, a súlyeloszlás, a kerékméretek, illetve a járószerkezet, továbbá a tengelytávolság és a vonóerő bekötési helye, illetve a vonóerő iránya, továbbá a lejtésviszonyok és üzem közben fellépő gyorsulások milyen hatással vannak a traktor üzemi tulajdonságaira; üzemeltetés szempontjából pedig még a különböző talaj- és terepviszonyok hatását, továbbá a traktor különböző jellegű mozgásainak befolyását kell elemezni, hogy a traktorral mindenkor észszerűen és a biztonsági szempontoknak kellő figyelembevételével tudjunk dolgozni.

Vizsgálódásainkat olyan kerekes járószerkezetű traktoron végezzük, amely hajtását két hátsó kerekétől kapja.

Annak érdekében, hogy egyszerűbb és áttekinthetőbb összefüggéseket kaphassunk; egyelőre feltételezzük, hogy a traktor — vagy általánosságban jármű — kerekei mind egyforma méretűek és a kerekek, valamint a pálya deformációja elhanyagolható. Feltételezzük továbbá, hogy a jármű a hosszanti függőlegesen szimmetriasíkra részarányos.

Kiindulva a jármű nyugalmi helyzetéből, amikor az vízszintes felületen mozdulatlanul áll, az első és hátsó tengelyekre, illetve az ezeken levő kerekekre jutó terhelés az alábbiak szerint számítható :

$$\left. \begin{aligned} Q_A &= \frac{Qt_B}{t} \text{ illetve } Q_{At} = Qt_B \\ Q_B &= \frac{Qt_A}{t} \text{ illetve } Q_{Bt} = Qt_A \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

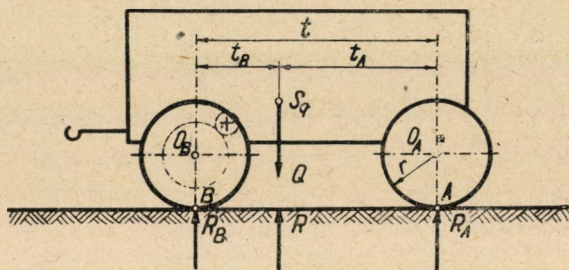
és

$$Q_A + Q_B = Q$$

A jármű nyugalmi helyzetében az első, illetve hátsó kerekre ható, a felfekvő felületre merőleges támasztó (normál) reakcióerők egyenlő nagyok, de ellentétes értelműek, mint a jármű súlyából az első, illetve hátsó kerekre jutó, ugyancsak a felfekvési pontokon ható terhelések. Írható tehát :

$$\begin{aligned} R_A &= Q_A \\ R_B &= Q_B \end{aligned} \quad (2)$$

A támasztó reakcióerők eredője R tehát ugyancsak egybeesik a súlypontban összpontosítva képzelt súlyerők eredőjével Q -val, nagyságra is egyenlő



1. ábra

vele, de értelme ellentétes. — Amint az alábbi vizsgálatokból kitűnik, a járműnek ez az egyensúlyi állapota a gördülési ellenállásból származó nyomaték hatására, valamint a súlyerőn kívül fellépő egyéb külső erők hatására megváltozhat. Vizsgálataink célja éppen e változás törvényszerűségeinek megállapítása, miért is a különféle vizsgált esetekben az R_A és R_B reakcióerők változását mindig a kiindulásul szolgáló nyugalmi állapotra érvényes értékekhez viszonyítva állapítjuk meg.

I. A gördülési ellenállás befolyása a hosszirányú stabilitásra

Feltételezve, hogy a jármű két hátsó kerekétől kapja hajtását és vontatmány nélkül, vízszintes pályán állandósult mozgással, azaz egyenletes, lassú sebességgel halad előre, légellenállása elhanyagolható és a tovahaladás közben fellépő ellenállás egyenlőnek vehető a gördülési ellenállással. Ha a gördülési

ellenállást egyszerűség kedvéért a jármű tova mozgatásához szükséges vonóerővel számítjuk és a gördülési ellenállás tényezője az egész járműre vonatkoztatva f akkor a tova mozgatáshoz szükséges erő :

$$Z_g = fQ \quad (3)$$

ahol

$$Z_g = Z_{A1} + Z_{B1} \quad (4)$$

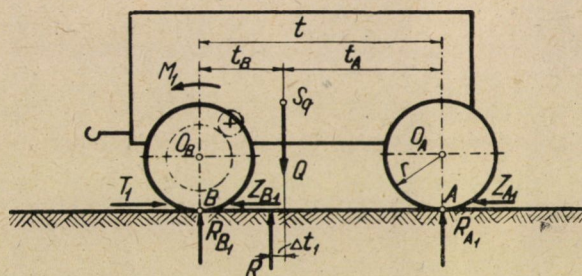
azaz az első és hátsó kerekek gördülési ellenállásainak összege.

Úgy képzelhetjük tehát, hogy a járműre a Q összsúlyon kívül a gördülési ellenállásból adódóan Z_{A1} és Z_{B1} erők hatnak. Tova haladás csak akkor lehetséges, ha a hátsó hajtókerekre a motortól származó, őket forgató nyomatékból adódó kerületi erővel szemben, a felfekvésnél legalább akkora T_1 horizontális támasztó-, reakcióerő hat, amely egyenlő Z_g -vel.

Vagyis :

$$T_1 \cong Z_g = fQ \quad (5)$$

A motor M_1 nyomatéka az utolsó fogaskerék-áttétel révén hozza forgásba a hajtókerekeket, de ugyanakkor magára a járműtestre vagy vázra is ugyan-



2. ábra

olyan nagyságú, de ellentétes értelemben forgató reakció nyomaték hat, amely a jármű elejét megemelni törekszik. Minthogy adott esetben nem a hátsó kerekek, hanem a járműtest egyensúlyát vizsgáljuk, az ábrán csak az erre ható M_1 negatív irányban forgató reakciónyomatékot tüntettük fel. M_1 reakciónyomaték a jármű elejét bizonyos mértékig tehermentesíti, azaz a függőleges támasztási reakcióerők nagyságában eltolódás áll be. Az első tengely ΔQ_1 súllyal tehermentesül, a hátsóra ható nyomás viszont ugyanennyivel növekszik, azaz :

$$R_{A1} = Q_A - \Delta Q_1 \quad (6)$$

$$R_{B1} = Q_B + \Delta Q_1$$

de változatlanul fennáll, hogy :

$$R_{A1} + R_{B1} = (Q_A - \Delta Q_1) + (Q_B + \Delta Q_1) = Q_A + Q_B = Q \quad (7)$$

A járműtestre magára tehát az M_1 nyomaték és Q súlyerő, valamint a tengelyen Z_{A1} , Z_{B1} , R_{A1} , R_{B1} és T_1 külső erők hatnak.

O_B pontra felírva a nyomatéki egyenletet :

$$Qt_B - R_{A1}t - M_1 = 0 \quad (8)$$

mert T_1 , valamint Z_{A1} és Z_{B1} erők a hátsó kerék tengelyén, illetve annak magasságában adódnak át a járműtestre, tehát O_B pontra nyomatékuk nincsen.

A (6) alatti összefüggés szerint :

$$R_{A1} = Q_A - \Delta Q_1,$$

tehát :

$$Qt_B - (Q_A - \Delta Q_1)t - M_1 = 0 \quad (9)$$

vagy a zárójel felbontása után :

$$Qt_B - Q_A t + \Delta Q_1 t - M_1 = 0 \quad (10)$$

de mert :

$$Qt_B - Q_A t = 0$$

tehát :

$$\Delta Q_1 t - M_1 = 0$$

vagy :

$$\Delta Q_1 t = M_1 \quad (11)$$

A hátsó kerekeket forgató, ugyancsak M_1 nagyságú, de vele ellentétes, vagyis pozitív értelmű nyomatékból adódó kerületi erő nagyságra egyenlő, de ellentétes értelmű a T_1 támasztó reakcióval, fennáll tehát az alábbi összefüggés :

$$T_1 = \frac{M_1}{r} \quad (12)$$

viszont (5) összefüggésből az egyenlőséggel kifejezett határesetben :

$$T_1 = Z_g = fQ$$

azaz :

$$M_1 = T_1 r = Z_g r = fQr \quad (13)$$

vagyis (11) és (13) alapján :

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q_1 &= \frac{M_1}{t} & \text{a)} \\ \Delta Q_1 &= \frac{Z_g r}{t} & \text{b)} \\ \Delta Q_1 &= \frac{fQr}{t} & \text{c)} \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

ΔQ_1 tehát azt a különbséget fejezi ki, amennyivel R_{A1} reakcióerő nagysága az eredeti R_A nagyságú reakcióerőhöz képest megváltozott, ahol :

$$R_A = Q_A$$

vagyis egyenlő a nyugalmi helyzetben a jármű súlyából az első kerekre jutó terheléssel. Azaz :

$$\Delta Q_1 = R_A - R_{A1} \quad (14d)$$

A (14b) és (14c)-ből kitűnik, hogy az első kerek tehermentesülése egyenesen arányos a jármű gördülési ellenállásával és a kerék sugarával, viszont fordítottan arányos a tengelytávolsággal. Tehát a gördülési ellenállás tényezőjével, a traktor súlyával és a hajtókerék sugarával arányosan növekszik, a tengelytávolság növekedésével viszont arányosan csökken.

A nyomatéki egyenletet B pontra írva fel, ugyanezt az eredményt kapjuk.

A tovahaladás szempontjából azonban az is szükséges, hogy a kerék talp és talaj közötti csúszó súrlódásból, nemkülönben a talajba mélyedő kapaszkodókból adódó horizontális támasztó reakcióerő nagyobb legyen, mint a gördülési ellenállás.

Ha a kapaszkodási, vagyis adhéziós tényező φ , akkor $Z_g = fQ$ nagyságú vontatási ellenállás mellett a horizontális támasztó reakciónak az adhézióból adódó maximuma :

$$T_\varphi = (Q_B + \Delta Q_1)\varphi \quad (15)$$

ahol :

$$\Delta Q_1 = \frac{fQr}{t}$$

és ezzel

$$T_\varphi = \left(Q_B + \frac{fQr}{t} \right) \varphi \quad (16)$$

Végül meg kell vizsgálnunk azt is, hogy mekkora lesz az első kereknek az a legnagyobb lehetséges tehermentesülése, ami a motor nyomatékából származik. — A motor nyomatéka a hátsó tengelyre maximális N_e , effektív motor-teljesítmény mellett :

$$M = \frac{716,2 \eta_m N_e i}{n} \quad (17)$$

ahol : η_m = a traktor mechanikai hatásfoka, aminek értéke korszerű traktoroknál 0,85~0,9 ;

n = a motor normális fordulatszáma N_e -nél ;

$i = \frac{n}{n_K}$ az áttételi arány a motorfordulat és a hátsó kerék fordulatszáma, n_K között.

ΔQ_1 legnagyobb, lehetséges értéke (11) alapján, ha a túlterhelésnél csökkenő fordulatszám mellett a motor jelleggörbéjének szabályozatlan ágán előálló minimális nyomatéknövekedéstől eltekintünk :

$$\Delta Q_{1m} = \frac{716,2 \eta_m N_e i}{nt} \quad (18)$$

Ez akkor állhat elő, ha például a gördülési ellenállás igen nagyra növekszik. A motor nyomatékából adódó kerületi erő pedig:

$$P_{km} = \frac{716,2 N_e \eta_m i}{nr} \quad (19)$$

A jármű akkor haladhat tova, ha mind a kapaszkodásból adódó vízszintes támaszerő T_φ , mind pedig a motor nyomatékából adódó kerületi erő P_{km} , illetve ennek nyomatéka nagyobb, mint a gördülési ellenállás, Z_g illetve gördülési ellenállás nyomatéka, $Z_g r$. A *tovahaladás feltétele* tehát:

$$\left. \begin{aligned} T_\varphi &\cong Z_g = fQ \\ P_{km} &\cong Z_g = fQ \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Ha a hajtókerekek kapaszkodása nem elegendő, viszont a motor erős, akkor a hajtókerekek *megperdülése*, azaz egyhelybenforgása következik be, feltéve, hogy a jármű önsúlyának továbbításához szükséges vonóerő, amely abszolút értékre egyenlő Z_g -vel, nagyobb, mint a kapaszkodást biztosítani hivatott horizontális reakcióerő. A hajtókerekek megperdülésének feltétele tehát:

$$\left. \begin{aligned} Z_g &= fQ \cong T_\varphi \\ P_{km} &\cong T_\varphi \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

Azaz, ha mind a jármű összsúlyának továbbításához szükséges vonóerő, mind pedig a motornyomatékból származó kerületi erő nagyobb, mint a horizontális támaszerő.

A jármű elejének felemelkedése, az *ágaskodás* jelensége pedig akkor áll elő, ha az első kerekeknek a motor nyomatékából származó tehermentesülése, ΔQ_1 nagyobb Q_A -nál, az első kerekekre jutó sztatikai terhelésnél; továbbá, ha a kapaszkodási feltételek is olyan kedvezőek, hogy a jármű elejének felemelkedéséhez szükséges nyomaték kifejtését lehetővé teszik. Az *ágaskodás feltételei* tehát:

$$\left. \begin{aligned} \text{azaz} \quad \Delta Q_1 &\cong Q_A & \text{a) } \\ \frac{716,2 \eta_m N_e i}{n} &= Q_A t & \text{b) } \\ \text{és} \quad T_\varphi r &= Q_A t & \text{c) } \\ \text{illetve} \quad T_\varphi &= \frac{Q_A t}{r} & \text{d) } \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

A Z_g ellenállással szemben szükséges M_1 nyomatéknak az első kerekeket tehermentesítő hatása felfogható úgy is, hogy R_{A1} és R_{B1} eredője R_1 , amelynek

nagysága természetesen változatlanul egyenlő a traktor összsúlyával, azaz :

$$R_1 = Q$$

egy bizonyos Δt_1 távolsággal eltolódott a hátsó tengely felé. Δt_1 a következő összefüggésből határozható meg :

$$\Delta Q_1 t = \Delta t_1 Q \quad (23)$$

ebből

$$\Delta t_1 = \frac{\Delta Q_1 t}{Q} \quad (24)$$

mert :

$$(Q_A - \Delta Q_1) t = Q (t_B - \Delta t_1)$$

$$Q_A t - \Delta Q_1 t = Q t_B - \Delta t_1 Q$$

és :

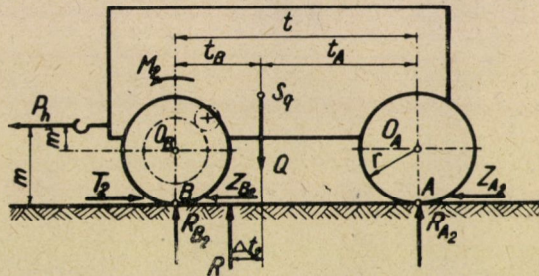
$$Q_A t = Q t_B$$

tehát :

$$\Delta Q_1 t = \Delta t_1 Q$$

II. A gördülési ellenállás és vízszintesen ható vonóerő befolyása a traktor hosszirányú stabilitására

A jármű P_h vízszintes erővel terhet is vontat, de egyébként I. alatti fel-



3. ábra

tételek állanak fenn (vontató traktor esete). P_h vonóerő általában további csökkenést idéz elő az első kerekekre ható R_{A2} támasztó reakciónál, úgyhogy :

$$R_{A2} = Q_A - \Delta Q_2 \quad (25)$$

$$R_{B2} = Q_B + \Delta Q_2$$

ahol : $\Delta Q_2 > \Delta Q_1$, de továbbra is :

$$R_{A2} + R_{B2} = (Q_A - \Delta Q_2) + (Q_B + \Delta Q_2) = Q \quad (26)$$

Megváltoznak az első és hátsó kerekekre ható gördülési ellenállások is.

$$Z_{A2} = (Q_A - \Delta Q_2) f < Z_{A1}$$

$$Z_{B2} = (Q_B + \Delta Q_2) f > Z_{B1}$$

viszont :

$$Z_{A2} + Z_{B2} = (Q_A - \Delta Q_2 + Q_B + \Delta Q_2) f = (Q_A + Q_B) f = Qf = Z_g \quad (27)$$

vagyis az első és hátsó kerekek feltételezett egyenlő méretei mellett a gördülési ellenállás, az első és hátsó kerekre jutó terhelés megváltozása esetén sem változik, feltéve, hogy a terhelés összege állandó marad.

Az erők egyensúlyára felírható tehát :

$$\left. \begin{aligned} Q - (Q_A - \Delta Q_2) - (Q_B + \Delta Q_2) &= 0 \\ Q - Q_A - Q_B &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

$$\left. \begin{aligned} T_2 - (Z_{A2} + Z_{B2}) - P_h &= 0 \\ T_2 - Z_g - P_h &= 0 \\ T_2 = Z_g + P_h &= fQ + P_h \end{aligned} \right\} \quad (29)$$

Azaz a T_2 támaszerő egyenlő a gördülési ellenállás és a vonóerő összegével. A nyomaték egyensúlya O_B -re, a hátsó tengelyre :

$$Qt_B - (Q_A - \Delta Q_2)t - P_h m' - M_2 = 0 \quad (30)$$

Miután a hátsó tengelyen ható T_2 valamint Z_g erőknek nincsen nyomatéka.

Itt $M_2 > M_1$, mert a vontatmánnyal haladó jármű tovamozgatásához természetesen nagyobb nyomaték kell.

A (30) összefüggést rendezve :

$$Qt_B - Q_A t + \Delta Q_2 t - P_h m' - M_2 = 0$$

de mert :

$$Qt_B - Q_A t = 0$$

$$\Delta Q_2 t - P_h m' - M_2 = 0$$

és így :

$$\Delta Q_2 = \frac{M_2 \pm P_h m'}{t} \quad (31)$$

ahol : m' mindig értelemszerűen veendő, tehát — előjelű is lehet.

M_2 azonban T_2 kerületi erővel is kifejezhető :

$$M_2 = T_2 r$$

viszont (29)-ből :

$$M_2 = T_2 r = (Z_g + P_h) r = Z_g r + P_h r = fQr + P_h r \quad (32)$$

ezzel (31) egyenlet a következő alakot ölti :

$$\Delta Q_2 = \frac{fQr + P_h r \pm P_h m'}{t} = \frac{fQr + P_h (r \pm m')}{t} = \frac{fQr + P_h m}{t} \quad (33)$$

ahol m a P_h erő pályaszint feletti magassága.

Ha a nyomatéki egyenletet B -re írjuk fel, az eredmény változatlanul (39) alatti lesz.

(33)-at összehasonlítva (14c)-vel, kitűnik, hogy ugyanazon járműnél, *ugyanolyan gördülési feltételek mellett, mindig nagyobb lesz a mellső kerekek tehermentesülése akkor, ha a jármű vontat is valamit.* A tehermentesülés függ a (14c) alatti feltételeken kívül a vonóerő nagyságától, a vonóerő bekötési pontjának a gördülési pálya feletti magasságától. Minél nagyobb m magasság, annál nagyobb a vonóerőtől származó billentő nyomaték. Az összefüggés arra is utal, hogy a billenékenység leghatásosabban t tengelytávolság növelésével ellensúlyozható, mivel m csökkentésével korlátozva vagyunk. Ennek különösen az agrotechnikai követelmények miatt viszonylag nagy kerékátmérővel készülő, univerzális (kapáló) traktoroknál van fontossága.

P_h értéke a motornyomatékból adódó kerületi erő és gördülési ellenállás különbségével is kifejezhető :

$$P_h = P_{km} - fQ \quad (34)$$

és

$$P_{km} = \frac{716,2 N_e \eta_m i}{nr}$$

P_h értéket ezekkel fejezve ki és az egyenletet rendezve :

$$\Delta Q_{2m} = \frac{fQr + P_h m}{t} = \frac{fQr + (P_{km} - fQ)m}{t} = \frac{P_{km} + fQ(r-m)}{t} \quad (35)$$

A maximális P_h vonóerő tehát :

$$P_{hmax} = \frac{716,2 \eta_m N_e i}{nr} - fQ \quad (36)$$

ahhoz, hogy ez érvényesülhessen, szükséges, hogy a támaszerő nagyobb, vagy egyenlő legyen mint a kerületi erő.

$$T_\varphi \cong P_{km}$$

A *tovahaladás* feltétele tehát a fentebbi megfontolások alapján :

$$\left. \begin{aligned} P_{km} &\cong fQ + P_h \\ T_\varphi &\cong fQ + P_h \end{aligned} \right\} \quad (37)$$

A *hajtókerekek* megperdülésének feltétele :

$$\left. \begin{aligned} fQ + P_h &\cong T_\varphi \\ P_{km} &\cong T_\varphi \end{aligned} \right\} \quad (38)$$

Az *ágaskodás* feltétele :

$$\left. \begin{aligned} \Delta Q_2 &\cong Q_A \\ T_\varphi &\cong P_{km} \\ \Delta Q_{2m} &= \frac{716,2 \eta_m N_e i m}{nr t} + \frac{fQ(r-m)}{t} \end{aligned} \right\} \quad (39)$$

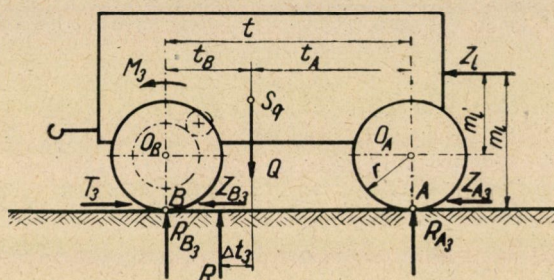
III. A gördülési ellenállás és légellenállás befolyása a traktor hosszirányú stabilitására

A jármű I. alatti feltételek szerint halad, azzal a különbséggel, hogy haladási sebessége nagy, vagyis a légellenállás nem hanyagolható el (pl. személyautónál, vagy teherautónál). A légellenállás a jármű alaktényezőjével, elől-nézeti vetületének F területével és a jármű sebességével (v m/sec) kifejezve:

$$Z_1 = kFv^2 \quad (40)$$

Adott járműre tehát Z_1 legnagyobb értéke k tényezőnek, F értékének, valamint a jármű legnagyobb haladási sebességének ismerete alapján meghatározható.

Az esetleges aerodinamikai emelőhatást nem véve figyelembe, az egyen-



4. ábra

letek teljesen II. analógiájára írhatók fel:

$$Q = Q_A + Q_B \quad (41)$$

$$T_3 = Z_g + Z_l = fQ + Z_l \quad (42)$$

$$\Delta Q_3 t = M_3 + Z_l m'_l \quad (43)$$

ahol: m'_l az F súlypontjának magassága a kerék tengelye felett.

$$M_3 = T_3 r = (fQ + Z_l)r \quad (44)$$

ezzel:

$$\Delta Q_3 = \frac{fQr + Z_l(r + m'_l)}{t} = \frac{fQr + Z_l m_l}{t} \quad (45)$$

A további következtetések teljesen a II. alatt kifejtettek szerint végezhetők, miért is részletezésüket mellőzzük.

IV. A gördülési ellenállás, légellenállás és vízszintesen ható vonóerő együttes befolyása a traktor hosszirányú stabilitására

A III. alatti feltételeken kívül, a jármű vontatást is végez. (Pótkocsit vontató teherautó esete.)

A kerületi erő, amely a tovamozgáshoz szükséges :

$$T_4 = fQ + P_h + Z_l \quad (46)$$

Ennek megfelelő nyomaték :

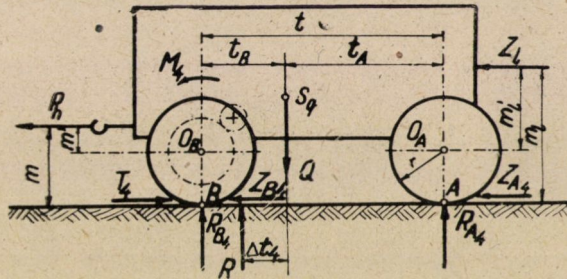
$$M_4 = T_4 r = (fQ + P_h + Z_l) r \quad (47)$$

Az első kerekre jutó támasztó reakció csökkenése :

$$\begin{aligned} \Delta Q_4 &= \frac{M_4 + P_h m' + Z_l m_l'}{t} = \frac{fQ_r + P_h(r \pm m') + Z_l(r \pm m_l')}{t} = \\ &= \frac{fQr + P_h m + Z_l m_l}{t} \end{aligned} \quad (48)$$

A következtetések ismét csak az előbbieket szerint végezhetők.

A légellenállás befolyását a továbbiakban figyelmen kívül hagyjuk és ki-



5. ábra

zárólag a lassú-mozgású traktorok dinamikájával foglalkozunk.

V. A gördülési ellenállás, valamint a vonóerő irányának és bekötési helyének befolyása a traktor hosszirányú stabilitására

Ha a vonóerő P nem vízszintes irányú, hanem a pálya szintjéhez γ szög alatt hajlik, akkor P_v vertikális komponens is keletkezik, amelyre nézve érvényes :

$$P_v = P_h \operatorname{tg} \gamma \quad (49)$$

A vonóerő bekötési pontjának, illetve P_v -nek vízszintes távolsága $B - O_B$ -től x . A vertikális erők egyensúlya :

$$\left. \begin{aligned} P_v + Q - (Q_A - \Delta Q_5) - (Q_B + \Delta Q_5) &= 0 \\ P_v + Q - Q_A - Q_B &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (50)$$

Ennek megfelelően a megnövekedett gördülési ellenállás :

$$Z'_g = f(Q + P_v) \quad (51)$$

Ezzel a horizontális erők egyensúlya :

$$\left. \begin{aligned} T_5 - Z'_g - P_h &= 0 \\ T_5 &= f(Q + P_v) + P_h \end{aligned} \right\} \quad (52)$$

A nyomatéki egyenlet O_B pontra :

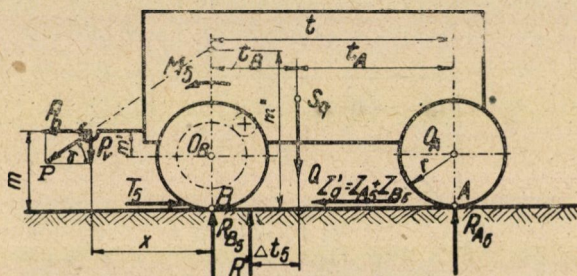
$$Qt_B - (Q_A - \Delta Q_5)t - P_h m' - P_v x - M_5 = 0 \quad (53)$$

ebből :

$$\Delta Q_5 t = M_5 \pm P_h m' + P_v x \quad (54)$$

Kifejezve M_5 értékét T_5 -tel :

$$M_5 = T_5 r = fQr + P_v fr + P_h r \quad (55)$$



6. ábra

és helyettesítve ; (54)-be :

$$\Delta Q_5 = \frac{T_5 r \pm P_h m' + P_v x}{t}$$

$$\Delta Q_5 = \frac{fQr + P_h(r \pm m') + P_v(fr \pm x)}{t} = \frac{fQr + P_h m + P_v(fr \pm x)}{t} \quad (56)$$

A hosszirányú stabilitás tehát II. alattihoz képest romlik, növekszik annak lehetősége, hogy a traktor eleje felemelkedjék ; mégpedig annál inkább, minél nagyobb a γ szög és minél nagyobb x . P_v hatása felfogható úgy is, mintha a tengely függőleges szimmetria vonalába P irányában eltolt P_h erő egy megnövekedett m'' karon hatna.

A mellső kerekek felemelkedésekor a vonóerő bekötési pontja is kimozdul, mégpedig lejjebb kerül, mint eredetileg volt, azaz γ szög csökken és P_v értéke is csökken, nemkülönben m értéke is. A vonóerő bekötési pontjának helyes megválasztásával tehát elérhető, hogy a stabilitás újra helyreáll, a traktor eleje ugyan emelkedhet, de a traktor mégsem vágódhat hátra.

A stabilitás növelésére P_v is felhasználható, ha a bekötési pont a hátsó tengely elé kerül. Ekkor a $P_v x$ nyomaték pozitív értelemben forgat, tehát hatása

növeli a stabilitást. (Az (56) képletben x negatív előjele erre az esetre vonatkozik.) — A stabilitás növelésének ezt a módját főleg a viszonylag könnyű és magasépítésű univerzális traktoroknál alkalmazzák.

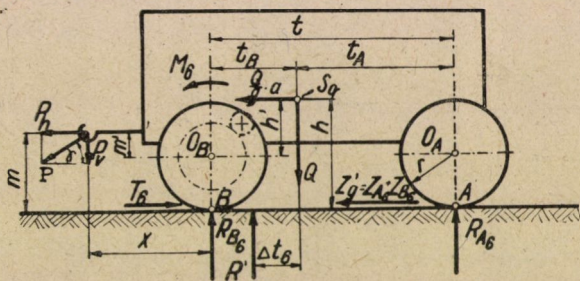
VI. A gyorsulás befolyása

Ha a traktor megadott a gyorsulással halad, akkor V. alattihoz képest annyiban áll be változás, hogy a T_6 vízszintes támaszerőnek még a traktor tömegének felgyorsításából származó tehetetlenségi-, inercia-erőt is ellensúlyoznia kell, nemkülönben a kerekek és forgórészek szög-gyorsulásából származó tehetetlenségi nyomatékokat is, mert ezeket a hajtókerék kerületére vonatkoztatva, szintén mint kerületi erőhatást vehetjük számításba.

$$T_6 = P_h + f(Q + P_v) + \frac{Q}{g} a + \frac{M_{aA} + M_{aB}}{r} \quad (57)$$

ahol: h' = a súlypont magassága a hátsó tengely felett;

h = a súlypont magassága a pályaszint felett;



7. ábra

M_{aA} = a mellső kerekek tehetetlenségi nyomatéka O_A -ra;

M_{aB} = a hátsó kerekek tehetetlenségi nyomatéka O_B -re;

g = a nehézségi gyorsulás.

A súlycsökkenés értéke az első kerekekre:

$$\Delta Q_6 = \frac{T_6 r \pm P_h m' \pm P_v x + \frac{Q}{g} a h'}{t} \quad (58)$$

vagy T_6 értékét (57) alapján helyettesítve és rendezve az egyenletet:

$$\Delta Q_6 = \frac{fQr + P_h(r \pm m') + P_v(fr \pm x) + \frac{Q}{g} a(r + h') + M_{aA} + M_{aB}}{t} \quad (59)$$

$$\Delta Q_6 = \frac{fQr + P_h m + P_v(fr \pm x) + \frac{Q}{g} ah + M_{aA} + M_{aB}}{t}$$

azaz a már ismertetett hatásokon kívül a gyorsításból származó erőhatás, illetve kerekeknél jelentkező inercia nyomatékok is hozzájárulnak a billenékenység növeléséhez. A gyorsulások kérdésével ezért még külön is foglalkozunk.

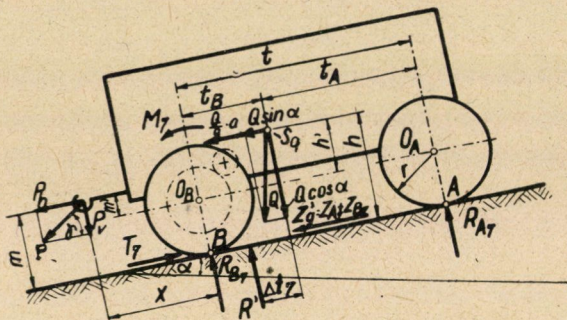
VII. Az emelkedő befolyása

α hajlásszögű emelkedőn a Q súlyerőnek lejtő irányába eső komponense is hatással van. Ennek megfelelően az előbbiekhöz képest a lejtő irányába eső erők egyensúlyából a kerületi erő:

$$T_7 = P_h + f(Q \cos \alpha + P_v) + Q \sin \alpha + \frac{M_{aA} + M_{aB}}{g} + a \frac{M_{aA} + M_{aB}}{r} \quad (60)$$

és a nyomatéki egyenletből:

$$\Delta Q_7 = \frac{T_7 r \pm P_h m' \pm P_v x + \frac{Q}{g} a h + h' Q \sin \alpha}{t} \quad (61)$$



8. ábra

vagy T_7 értékének helyettesítésével (60)-ból: $\Delta Q_7 =$

$$= \frac{fQr \cos \alpha + P_h(r \pm m') + P_v(fr \pm x) + \frac{Q}{h} a(r \pm h') + Q \sin \alpha (r \pm h') + M_{aA} + M_{aB}}{t}$$

illetve:

$$\Delta Q_7 = \frac{fQr \cos \alpha + P_h m + P_v(fr \pm x) + \frac{Q}{g} ah + Qh \sin \alpha + M_{aA} + M_{aB}}{t} \quad (62)$$

Ennek alapján meghatározható az a legnagyobb α szögű emelkedő, amelyen a traktor még dolgozhat.

VIII. A legnagyobb emelkedési szög meghatározása

A traktor nyugvó helyzetében az a legnagyobb α_s szögű emelkedő, amelyen a teljesen lefékezett traktor még megállhat, a felbillenés veszélye nélkül, feltéve, hogy a csúszó súrlódásból adódó súrlódási szög φ_0 nagyobb, mint α , azaz

$$\varphi_0 > \alpha$$

$$Q \sin \alpha_s \cdot h = Q \cos \alpha_s \cdot t_B \quad (63)$$

A (63) egyenlethől:

$$\operatorname{tg} \alpha_s = \frac{t_B}{h} \quad (64)$$

amiből:

$$\alpha_s = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{t_B}{h}$$

Hasonlóképpen felírva lejtőre is:

$$\alpha'_s = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{t_A}{h} \quad (65)$$

Az így számított α_s és α'_s értékek azonban annyira nagyok, hogy gyakorlatilag nem használhatók, mert ilyen nagy lejtők, akár közlekedés, akár traktoros művelés esetében, nem fordulnak elő.

Mozgó üzemre végezve el a számítást, azt az egyszerűsítést tesszük, hogy a traktor mozgását egyenletesnek vesszük, azaz feltételezzük, hogy a zérussal egyenlő, továbbá csak a P_h vízszintes erőhatást tekintjük, vagyis P_v -t szintén 0-sal vesszük egyenlőnek. — A legnagyobb hasznos vonóerő ez esetben:

$$P_{h\max} = \frac{M_m \eta_m i}{r} - Q \sin \alpha - fQ \cos \alpha \quad (66)$$

Az első kereken valóban előálló $R_{A\alpha}$ reakcióerőt kifejezhetjük a nyugvó helyzetnek megfelelő Q_A nagyságú reakcióerőből, ha levonjuk belőle a mindenkori vizsgált helyzetnek megfelelő súlyáthelyeződést. Figyelembevéve az α szögű emelkedő hatását is:

$$R_{A\alpha} = Q_A \cos \alpha - \Delta Q \quad (67)$$

Figyelembevéve továbbá Q_A értékét és ΔQ értékét a vizsgált esetben, ha $a = 0$ és $P_v = 0$, írható:

$$Q_A = \frac{Qt_B}{l}$$

$R_{A\alpha}$ pedig kifejezhető:

$$R_{A\alpha} = Q_A \cos \alpha - \Delta Q = \frac{1}{l} \left[Qt_B \cos \alpha - [fQr \cos \alpha + P_h m + Q \sin \alpha \cdot h] \right] \quad (68)$$

P_h helyébe (66) alatti értékét téve :

$$R_{Aa} = \frac{1}{l} \left\{ Qt_B \cos \alpha - [fQr \cos \alpha + Q \sin \alpha h + \left(\frac{M_m \eta_m i}{r} - Q \sin \alpha - fQ \cos \alpha \right) m] \right\} \quad (69)$$

A beszorzásokat elvégezve és az egyenletet rendezve :

$$R_{Aa} = \frac{1}{l} \left(Qt_B \cos \alpha + fQm \cos \alpha - fQr \cos \alpha + Qm \sin \alpha - Qh \sin \alpha - \frac{M_m \eta_m i m}{r} \right) \quad (70)$$

$$R_{Aa} = \frac{1}{l} \left[Qt_B \cos \alpha - fQ \cos \alpha (r - m) - Q \sin \alpha (h - m) - \frac{M_m \eta_m i m}{r} \right] \quad (71)$$

Vizsgálva azt az esetet, amikor $R_{Aa} = 0$; a (71) egyenletben szereplő utolsó tagot átvive a baloldalra :

$$m \frac{M_m \eta_m i}{r} \leq Q \{ \cos \alpha [t_B - f(r - m)] - \sin \alpha (h - m) \} \quad (72)$$

vagy :

$$m \frac{M_m \eta_m i}{r} \leq Q \cos \alpha [t_B - f(r - m) - \operatorname{tg} \alpha (h - m)]$$

Amíg a jobboldal nagyobb, vagy egyenlő a baloldallal, az előrés nem emelkedik. Elhanyagolva a gördülési ellenállásából adódó $Q \cos \alpha f(r - m)$ nagyságú tagot és α kis értékeire való tekintettel $\cos \alpha \approx 1$ -nek véve, amivel α értékére kiszámított eredmény számszerűleg alig változik, (72) összefüggés így módosul :

$$m \frac{M_m \eta_m i}{r} \leq Q [t_B - \operatorname{tg} \alpha (h - m)] \quad (73)$$

vagy :

$$m \frac{M_m \eta_m i}{r} \leq Qt_B - Q \operatorname{tg} \alpha (h - m) \quad (74)$$

Az a maximális α szög, amelynél még egyensúly egyáltalán lehetséges :

$$Q(h - m) \operatorname{tg} \alpha = Qt_B - \frac{M_m \eta_m i m}{r} \quad (75)$$

ebből :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{t_B}{h - m} - \frac{M_m \eta_m i m}{rQ(h - m)} \quad (76)$$

vagyis dinamikus egyensúly esetén a legnagyobb lehetséges lejtőszög :

$$\alpha_d = \arctg \left[\frac{t_B}{h-m} - \frac{M_m \eta_m i m}{rQ(h-m)} \right] \quad (77)$$

IX. A traktor keresztirányú stabilitása

A stabilitás feltételeit a traktor álló helyzetében vizsgálva, C pontra írva fel az egyensúlyi egyenletet :

$$Q \cos \alpha \frac{(S+s)}{2} = Q \sin \alpha h \quad (78)$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{S+s}{2h}$$

$$\alpha''_s = \arctg \left(\frac{S+s}{2h} \right) \quad (79)$$

ahol : $S = a$ nyomtáv

$s = a$ keréktalp szélessége.

Üzem közben a fordulók jelenthetnek veszélyt. Forduláskor fellép egy P_c nagyságú centrifugális erőhatás, amely a súlypontban hat, azonkívül a kerekek, illetve a motor perdületének nyomatékát is figyelembe kell venni, de ez utóbbit csak akkor, ha a motor tengelye a traktor hátsó kerekeinek tengelyével párhuzamos ; különösen, ha a lendkerék forgásiránya megegyezik a kerekekével. Ezt az esetet vizsgálva, ha a jármű súlypontjának fordulási sugara ϱ , a centrifugális erőhatás :

$$P_c = \frac{Q}{g} \frac{v^2}{\varrho} \quad (80)$$

vagy :

$$P_c = \frac{Q}{g} \varrho \omega_p^2 \quad (81)$$

ahol : $\omega_p = \frac{v}{\varrho}$ a kanyarodás szögsebessége, vagyis a perdület nyomaték szempontjából az u. n. precessziós szögsebesség.

A motor forgó tömegeiből származó perdület :

$$H_m = J_m \omega_m \quad (82)$$

ahol: J_m = a főtengelyen levő forgó tömegek inercia v. tehetetlenségi nyomatéka

ω_m = a motor szögsebessége

egy kerékre viszont:

$$\Pi_k = J_k \omega_k \quad (83)$$

ahol: J_k = a kerék inercia nyomatéka

ω_k = a kerék szögsebessége.

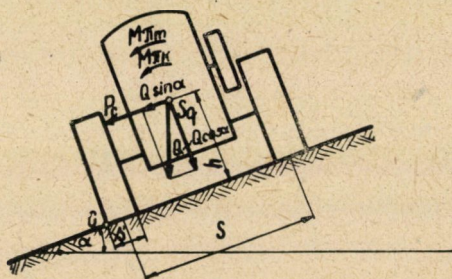
A pörgettyűhatás, vagyis a perdület okozta nyomaték a motoron:

$$M_{\pi m} = J_m \omega_m \omega_p \quad (84)$$

a 4 kerékre pedig

$$M_{\pi m} = 4 J_k \omega_k \omega_p \quad (85)$$

A fordulásnál előálló ω_k szögsebesség különbségeket elhanyagolva, illetve



9. ábra

úgy véve, hogy amennyivel csökken a belső kerekeké, ugyanannyival növekszik a külsőké.

Ha a forgattyútengely párhuzamos a hátsó kerekek tengelyével, és a motor forgásiránya megegyezik a kerekek forgásirányával, akkor, ha a traktor jobbra fordul, a motor perdületnyomatéka balra igyekszik billenteni a traktort, balra fordulásnál viszont jobbra, tehát mindig a centrifugális erővel egyezően hat. Ha viszont a motor forgásiránya ellentétes, akkor a motor perdületnyomatéka a traktor jobbrafordulásánál jobbra, balrafordulásánál balra billent, tehát mindig ellentétes értelemben hat, mint a centrifugális erő. A kerekek perdületnyomatéka mindig a centrifugális erővel egyező értelemben billent kanyarodásnál. — Tehát főként az első változat lehet veszélyes az oldalbillenékenység növelése szempontjából. — Erre példa az egyik legutóbbi típusú hazai traktor, amelynél a motor forgásiránya változtatható és amelynél előfordult, hogy hirtelen kanyarodásnál felborult az esetben, amikor a lendkerék forgásiránya a kerekekével egyezett.

A kereszt-beépítésű motor esetét vizsgálva, tehát a traktor keresztirányú stabilitására, vízszintes terepen, az alábbi nyomatéki egyenlet írható fel:

$$\frac{Q(S+s)}{2} \cong \frac{Q}{g} \frac{v^2}{\varrho} h \pm J_m \omega_m \frac{v}{\varrho} + 4 J_k \omega_k \frac{v}{\varrho} \quad (86)$$

minthogy $\omega_p = \frac{v}{\varrho}$; csúszásmentes gördülésnél $\omega_k = \frac{v}{r}$, ezzel

$$\frac{Q(S+s)}{2} \cong \frac{Q}{g} \frac{v^2}{\varrho} h \pm J_m \omega_m \frac{v}{\varrho} + 4 J_k \omega \frac{v}{r} \frac{v}{\varrho} \quad (87)$$

feltételezve, hogy ϱ kanyarodási sugár állandó. Figyelembevéve, hogy $\omega_m = i\omega_k$ és $\omega_k = \frac{v}{r}$; ezzel $\omega_m = \frac{iv}{r}$; ezt helyettesítve lesz:

$$Q \frac{S+s}{2} \cong \frac{v^2}{\varrho} \left(\frac{Q}{g} h \pm \frac{J_m i}{r} + \frac{4J_k}{r} \right) = \frac{v^2}{\varrho} \left[\frac{Q}{g} h + \frac{1}{r} (4J_k \pm J_m i) \right] \quad (88)$$

A lejtő α hajlásszögét is figyelembevéve, a lejtéssel ellentétes (felfelé irányuló) kanyarodásnál:

$$Q \cos \alpha \frac{S+s}{2} \cong \frac{v^2}{\varrho} \left[\frac{Q}{g} h + \frac{1}{r} (4J_k \pm J_m i) \right] + Qh \sin \alpha \quad (89)$$

A képletben J_m negatív előjele a traktor kerekeivel ellentétes értelemben vett motor-fordulat esetében érvényes. Minthogy a gyakorlatban előforduló esetekben α értéke mindig annyira kicsi, hogy $\cos \alpha \approx 1$ -nek vehető, ezzel (89) képlet egyszerűsül:

$$Q \frac{S+s}{2} = \frac{v^2}{\varrho} \left[\frac{Q}{g} h + \frac{1}{r} (4J_k \pm J_m i) \right] + Qh \sin \alpha \quad (90)$$

Ezzel olyan összefüggéshez jutottunk, amelyből a változónak tekinthető v , ϱ és α tényezők bármelyike kifejezhető, ha a másik kettőt adottnak tételezzük fel. Vagyis meghatározhatjuk azt a legnagyobb sebességet, amellyel a traktor adott α emelkedésű lejtőn, adott ϱ fordulási sugárral, a lejtés ellenében felfelé kanyarodhat, a felborulás veszélye nélkül. — Vagy adott sebesség és adott lejtés esetében meghatározható az a legkisebb megengedhető kanyarodási sugár, illetve adott sebesség és adott kanyarodási sugár mellett az a legnagyobb lejtő, amelyen a traktor még veszély nélkül mozoghat.

Vagyis:

$$v = \sqrt{\frac{\varrho Q \left(\frac{S+s}{2} - h \sin \alpha \right)}{\frac{Q}{g} h + \frac{1}{r} (4J_k \pm J_m i)}} \quad (91)$$

illetve :

$$\varrho = \frac{v^2 \left[\frac{Q}{g} h + \frac{1}{r} (4J_k \pm J_{mi}) \right]}{Q \left[\frac{S+s}{2} - h \sin \alpha \right]} \quad (92)$$

és :

$$\alpha''_d = \arcsin \left\{ \frac{S+s}{2h} - \frac{v^2}{\varrho Q h} \left[\frac{Q}{g} h + \frac{1}{r} (4J_k \pm J_{mi}) \right] \right\} \quad (93)$$

illetve :

$$\alpha''_d = \arcsin \left\{ \frac{S+s}{2h} - \frac{v^2}{\varrho} \left[\frac{1}{g} + \frac{1}{Qrh} (4J_k \pm J_{mi}) \right] \right\} \quad (94)$$

Itt is feltételezzük, hogy a traktor megcsúszása nagyobb lejtési szög esetén következne csak be, azaz

$$\varphi_0 > \alpha''_d$$

Az esetben, ha a traktorba épített motor tengelye felülnézetben merőleges a hátsó kerekek tengelyére, a motor perdületéből származó tényező elesik. — Ez esetben ugyanis a motor perdületéből származó nyomaték — normális, előlről nézve jobbra-forgó motort feltételezve — úgy hat, hogy jobbrakanyarodásnál a traktor elejét megemelni, balrakanyarodásnál a traktor elejét lenyomni igyekszik.

A továbbiakban azt kell megállapítani, hogy a gyakorlatban előforduló esetekben a levezetett összefüggések hogyan módosulnak, illetve, hogy a bennük szereplő egyes tényezőket milyen megfontolások alapján és milyen mértékben kell módosítani.

A kiindulási feltételekből, amelyek szerint a jármű kerekei mind egyformák és sem a kerekeken, sem a pályán magán közvetlenül érzékelhető deformáció nincs, következik, hogy ilyen körülmények között gördülő, egyforma kerék-méretű járművekre (pl. sínautó) minden érdemleges módosítás nélkül érvényesek.

Kemény pályán gördülő, egyforma méretű, légtömles gumiabronccsal ellátott járművek (személy- és teherautók) esetében annyiban áll be változás, hogy a hajtókerekek abroncsának belapulását oly módon kell figyelembe venni, hogy a keréksugár helyett a tengely-középpontoknak a pályafelszíntől vett távolságát vesszük számításba. — Ugyanígy ballongumiabroncsosú traktorok esetében is. — Ez egyúttal arra is rávilágít, hogy az abroncsnyomás bizonyos mértékű csökkentésével (kb. 0,8 atm-ig) lágy talajon miért érhető el nagyobb vonóerő, illetve kedvezőbb vontatási hatások, mint keményre felfújt (nagy-nyomású, 2—3 atm-ás) abroncsokkal. Kisebb tömlőnyomásnál ugyanis nemcsak a talajra ható fajlagos nyomás csökken, hanem a felfekvő felület nagyobbodása-

val a talajba kapaszkodás feltételei is kedvezőbbé válnak, végül a valóságos keréksugár is csökken, aminek révén viszont azonos motornyomatékot feltételezve, a kerületi erő növekszik meg.

Gumiabroncsosású traktorokra végzett számításoknál az első és hátsó abroncsok méretkülönbségeinek elhanyagolása nem jelent számottevő hibát, különösen figyelembevételre azt, hogy terepen végzett munkáknál (szántás, stb.), amikor nagy vonóerőkkel kell számolni, a súly jelentős része általában úgymint mindig a hátsó kerekre nehezedik.

Kapaszkodókkal ellátott acélkerekes traktoroknál az első és hátsó kerék-méreték szintén különböznek. Terepen végzett munkáknál a nagy vonóerő-kifejtés folytán a súly jelentős részben a hátsó kerekre nehezedik, tehát gördülési ellenállás szempontjából a helyzet kedvezőbben alakul, mint akkor, amikor üresen haladó traktornál a súly egy része a kedvezőtlenebb gördülési feltételeket biztosító, kisebb méretű első kerekre hárul. — Viszont figyelembe kell venni azt is, hogy nagy vonóerő kifejtése mellett a tovahaladáshoz szükséges nagyobb nyomatékánál kerékcsúszás (slip) is előáll a hajtókerekeknél, aminek folytán a gördülési ellenállás az üresjáratú állapothoz képest megnövekszik. A változások törvényszerűségei még nem tisztázottak, de valószínűleg nem követünk el számottevő hibát, ha a kedvező és kedvezőtlen változások hatását közelítőleg egyformának véve, a jármű gördülési ellenállását közel állandónak tekintjük.

Kapaszkodókkal ellátott acélkerekeknél figyelembe kell venni azt is, hogy a motor nyomatékából származó kerületi erőhatások eredője nem a hajtókerék talpán, a felfekvés pontokon hat, hanem valahol a kapaszkodók csúcsa és a keréktalp közötti részen, illetve ennek megfelelő sugáron.

Szélső esetben hathat a kapaszkodók csúcsán is, de szovjet szerzők adatai szerint általában 2—3 cm-rel beljebb hat, mint a kapaszkodók csúcsa van a hajtókerék tengelyétől. (A nálunk általánosan használt 145 mm magas tüskés kapaszkodók mellett tehát a kerék sugarát mintegy 100 mm-rel megnövelve lehet számításba venni a kerületi erő számításánál, illetve általában javasolható, hogy a kapaszkodóhossz $\frac{2}{3}$ része veendő számításba.)

A levezetett összefüggések lánctalpas traktorokra is érvényesek, ha értelem-szerűen alkalmazzuk azokat. — Lánctalpas traktoroknál ugyanis a függőleges támasztó reakció nem az első és hátsó tengelyeken hat, hanem a gyakorlatban elterjedt felfogás szerint a lánctalp teljes felfekvő felületén, mint megoszló erőhatás jelentkezik. Ez a megoszló támaszerő oldalnézetben egyetlen eredővel vehető számításba.

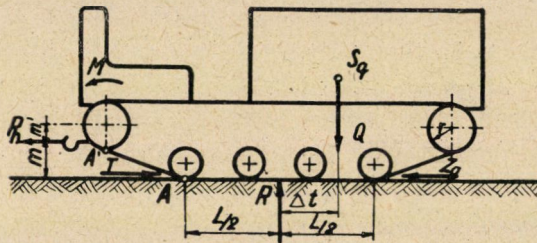
A fentebb vizsgált esetekben a támaszerőkben bekövetkező eltolódás tehát úgy fogható fel, mintha a támaszerők eredője változtatná helyét a kifejtett nyomatéktól, vonóerőtől stb. függően úgy, hogy a nyugalmi helyzethez képest hátrafelé tolódik el bizonyos Δl távolsággal.

A szóbanforgó Δt távolság számítására vonatkozó összefüggést (lásd (24) képletet) levezettük. Lánctalpas traktor esetében tehát a támasztó reakcióerők eredőjének eltolódását a következő összefüggés szerint számíthatjuk, hogy orsulásmentes mozgást, vízszintes terepet és horizontálisan ható vonóerőt tételezünk fel:

$$\Delta t = \frac{M + P_h m}{Q} = \frac{fQr + P_h(r \pm m')}{Q} = \frac{fQr + P_h m}{Q} \quad (95)$$

ahol r a lánckerek osztókörének sugarát jelenti.

A (95) alatti összefüggésből az is kitűnik, hogy a lánCGörgök egyenletes terhelése a motor egyenletes, egyforma megterhelését feltételezve, csak meghatározott nagyságú vonóerő mellett lehetséges. Minthogy pedig a vonó-



10. ábra

erő, egyébként azonos feltételek mellett a haladási sebesség függvénye, nyilvánvaló, hogy a traktor súlyelosztását úgy célszerű kialakítani, hogy nyugalmi helyzetben a súlyvonal a lánctalpak felfekvő felületének oldalnézeti középvonalától annyira kerüljön előre, mint amekkora Δt előáll a traktor leggyakrabban használt sebességi fokozata mellett kifejtett P_h vonóerő esetében.

A levezetett képletek alapján ismert típusú traktorokra elvégzett számítások túlságosan kedvező eredményeket adnak. Például hazai típusainkra vonatkozó, fentiek alapján számított értékek szerint a traktorok stabilitása billenékenység szempontjából kifogástalan, amennyiben még a legkedvezőtlenebb esetben is többszáz kilogramm keréknyomás hat az első kerekeken.

A felbillenés szempontjából még biztonságos, hosszirányú emelkedésre pedig olyan nagy szögértékek adódnak, amelyek még a nyugvó traktorra számított, amúgy is nagy értéket is meghaladják.

A tapasztalat viszont az így kapott eredményekkel számos esetben, illetve több traktortípusnál nem egyezik. — Van olyan típusunk, amelynek ágaskodási hajlama van és a lejtőn való egyensúlya bizonytalan. — Az elméleti eredmények és a gyakorlati tapasztalatok között mutatkozó ellentmondás tehát arra figyelmeztet, hogy az eddig számításba vett tényezőkön kívül egyéb tényezők hatását is mérlegelni kell. Ilyen vonatkozásban több tényező szerepére lehet rámutatni.

Mindenekelőtt figyelembe kell venni azt, hogy a traktor gördülési ellenállása puha talajon nagyobb akkor, ha nagy vonóerőt fejt ki, mintha üresjáratban halad. — Ugyanis a hajtó kerekeknél előálló kerékcúszás — slip — következtében a keréktalp és talaj között csúszósúrlódás keletkezik, ami tiszta gördülésnél ilyen körülmények között általában nem lép fel. — Ez kétségtelenül növeli a gördülési ellenállást. A talajba mélyedő kapaszkodóknak a vonóerő-kifejtés folytán megnövekedett talajtömörítési munkája szintén növeli a veszteségeket. — A gördülési ellenállás megnövekedése viszont nyomaték-jellegénél fogva a motor kifejtett nyomatékából is nagyobb részt igényel; ez viszont arányosan növeli az első kerekek tehermentesülését. Maga a gördülési ellenállás is elég tág határok között ingadozhat.

További el nem mellőzhető tényező a vonóerő nem teljesen vízszintes, hanem általában lefelé irányuló voltából — a P_v összetevőből — adódó billentő hatás. Ez különösképpen messze hátranyúló vonókereteknél gyakorolhat számottevő befolyást. Szántásnál — helyes eke-bekötést tételezve fel — mindig ezzel az esettel kell számolni.

Figyelembe kell venni azt is, hogy üresjáratban a traktormotor mindig jóval nagyobb fordulattal jár, mint terhelés alatt. Tehát az ilyen feltúrázott motor hirtelen bekapcsolása jóval nagyobb nyomatékot származtathat át a rendesnél, ami különösen nagy tehetetlenségi nyomatékú, nehezen indítható hátsó kerekek esetén növelheti a traktor billenékenységet.

Különös figyelmet kell fordítani a gyorsulások hatására, amit eddigi számításainknál teljesen figyelmen kívül hagyunk. Kétségtelen, hogy indulásoknál a legnagyobbak és elkerülhetetlenek a gyorsulások, amit bizonyít az is, hogy a traktorok ágaskodása, illetve hanyatt-bukása általában ilyenkor szokott bekövetkezni a rossz-stabilitású traktoroknál, különösen ha az indítás gondatlan vagy szakszerűtlen, azaz a kapcsolás túl hirtelen történik.

Megfigyeléseink azonban azt mutatták, hogy állandó gyorsulásokkal a terepen dolgozó traktor rendes üzeme közben is számolni kell. A kapaszkodók ugyanis mindig korlátolt számban mélyednek a talajba, mégpedig úgy, hogy a talajbamélyedő kapaszkodók száma változik. — Ha például szélső esetben öt kapaszkodó mélyed a talajba, akkor, ha a leghátrább levő kapaszkodó kiemelkedik, a talajbamélyedő kapaszkodók száma pillanatnyilag eggyel csökken. Ha tehát az előbbi esetben a talaj teherbírása már felső határához közel volt, akkor hirtelen lecsökkentszámú kapaszkodóknál előálló kisebb támaszkodófelület mellett erősebb, szemmel is jól látható megcsúszás áll elő; viszont amikor ismét újabb kapaszkodó mélyed a talajba, az ismét kedvezőbb helyzetet teremt és a traktor igyekszik felgyorsulni. Minthogy ez a folyamat a kerék egy körülfordulása alatt elvileg annyiszor ismétlődhet, ahány kapaszkodó van, kézenfekvő, hogy a gyorsulási — lassulási — folyamat is kisebb-nagyobb mértékben ugyanannyiszor jelentkezik. Hozzávetőleges számítások azt mutatják, hogy ebből adódóan az első kerekeknek szintén tetemes tehermentesülése állhat elő.

Csak melleleg említjük meg, hogy a tárgyalt gyorsulási jelenségekben kereshetjük annak okát is, hogy a traktor valóságos vonóereje mindig kisebb annál, mint ami a kerületi erő és az önsúly továbbításához szükséges vonóerő különbségéből adódik, hiszen a gyorsulások szinte szakadatlanul ismétlődő folyamata a kerületi erő egy részét állandóan leköti. Többek között ezzel magyarázható, hogy a traktormotor szántóföldi üzemben, különösen szántásnál, sohasem terhelhető meg úgy, hogy a motor teljesítménye állandóan a maximális legyen. Tapasztalatból tudjuk ugyanis, hogy a vázolt okokból, valamint a munka közben előálló ellenállások szakadatlan változásából következően, szántási üzemben, mintegy 85%-nál nagyobb átlagos, állandó motorterhelés alig érhető el.

Végül a terepfelszín ú. n. mikro-egyenetlenségeiből is előállnak olyan káros mozgások — bukdácsolás, támoltyás — amelyek szintén energiát emésztenek, illetve a keréknyomásokra is kihatnak.

Láncfalpas traktoroknál a kormányzás jellegéből következően is számolni kell gyorsulásokkal. Mindezek arra mutatnak, hogy a traktorok mozgási jelenségei jelentős mértékben eltérnek a sima pályán, gyorsan haladó járművektől.

Mindezen tényezőknek a számszerű figyelembevétele meglehetősen nehéz és bizonytalan. A gyakorlat viszont — ha az elméleti összefüggések számszerű kimutatása nehézségekkel jár — a méretezés céljaira jól alkalmazható, a megfigyeléseknek és tapasztalati tényeknek nem ellentmondó számítási, illetve ellenőrzési formulákat követel.

Megfigyeléseim és számításaim alapján ilyen szempontból használható módszernek kínálkozik, ha a vonóerő billentő hatását megnövelt mértékben vesszük számításba, mégpedig úgy, mintha a traktortestre még egy külön külső billentőnyomaték hatna, amely egyenlő a vonóerő kifejtéséhez szükséges motornyomatékkal.

Ez annál is inkább indokolt, mert a vonóerő sem teljesen a hátsó kerék tengelyére vonatkoztatott karja arányában ellensúlyozza bizonyos mértékben a motornyomatékokot, hanem a fogaskerék-hatásfok és a csapsúrlódás következtében ennél csak kisebb mértékben, vagyis úgy, mintha a pályaszint feletti bekötési helye a valóságnál magasabban lenne. Továbbá az előbb említett hatások többé-kevésbé a vonóerő függvényei.

Ez esetben a billenésre vonatkozó alaképlet a következőképpen alakul:

$$\Delta Q = \frac{fQr + P_h m + P_{hr}}{t} \quad (96)$$

illetve a motor legnagyobb teljesítményéből számított billentő hatás esetére vonatkoztatva:

$$0 \cong R_{A2m} = Q_A - \frac{716,2 \eta_m N_e i}{nt} \left(1 + \frac{m}{\frac{D}{2} + \frac{2}{3}l} \right) \quad (97)$$

ahol a már ismert jelöléseken kívül D a hajtókerék átmérőjét, illetve az abroncs felfekvésétől számított tengelymagasságot jelenti (pl. a gumibroncs esetén), l pedig a kapaszkodó hosszát. Itt a gördülési ellenállásból adódó tényező el van hanyagolva.

A maximális hosszirányú emelkedésre nézve pedig ellenőrző képletként javasolható :

$$\alpha_d = \text{arc tg} \left\{ \frac{t_B}{h-m} - \frac{716,2 \eta_m N_e i \left(m + \frac{D}{2} + \frac{2}{3} l \right)}{nQ \left(\frac{D}{2} + \frac{2}{3} l \right) (h-m)} \right\} \quad (98)$$

Az így kapott emelkedési szög tekinthető annak a határértéknek, amelyen a traktor még biztonságosan mozoghat.

A kifejtettek alapján táblázatosan összeállítottuk a hazai gyártmányú kerekes traktorok stabilitási adatait.

A táblázat adataiból az tűnik ki, hogy a javasolt ellenőrzési módszer szerint számítva jó stabilitása csak az R—20/22 és G—35 jelű traktoroknak van. — A másik két vizsgált típusnál a stabilitás nem minősül kielégítőnek.

Ennek ellenére az R—50/55-nél mégsem merültek fel panaszok, ez azonban részben annak tulajdonítható, hogy olyan kapaszkodási viszonyok, amelyeknél az ilyen erős motorból származó tekintélyes nyomaték, illetve vonóerő a hátsó kerekeken kifejthető volna, csak egészen kivételesen adódnak. A sokkalta kisebb motorteljesítményű T—20/25 traktornál viszont időnként, átmenetileg, az egész motorteljesítménnyel számolni kell; ekkor viszont ez a traktor már nem elég stabilis, amit a tapasztalat is igazol.

Valójában a billenékenységből származó veszélyességet úgy kellett mérésékelni, hogy a vonóerőnek a traktoron levő bekötési pontját változtatták meg úgy, hogy az előrészt felemelkedésekor ebből folyóan nagyobb stabilizáló nyomték keletkezzék. Így az előrészt emelkedhetik ugyan, de a traktor nem vágódhat hátra. Nagyobb haladási sebességnél (II. sebességfokozat) a stabilitás már teljesen kielégítő.

A táblázat adatai elég jól érzékeltetik, hogy az előadottakban levezetett összefüggések szerint számított értékek a tapasztalattal jobban egyeznek, mint az eddigi leegyszerűsített elméleti összefüggések szerint megállapított értékek.

A hosszirányú stabilitásra vonatkozó levezetésekben az általános gyakorlattól eltérően az összefüggések nem magát a keréknyomást fejezik ki, hanem a keréknyomás változását, ΔQ -t. Ezért ez a módszer alkalmas arra, hogy ezen változást befolyásoló összes tényező szerepe közvetlenül mérlegelhető legyen. Ez irányította a figyelmet egyes eddig elhanyagolt tényezők szerepére.

Hazai gyártmányú, kerekes járószerkezetű traktorok stabilitási adatai

Megnevezés	Jelölés	A traktorok típusjelzése			
		R-20/22	T-20/25	G-35	R-50/55
Motorteljesítmény	N_e (LE)	20	20	30	50
Motorfordulat	n (1/min.)	800	800	760	650
Nyomtáv	S (m)	1,2	1,2	1,27	1,36
Tengelytáv	t (m)	1,68	1,52	1,9	2,28
Üzemi súly vezető nélkül.	Q (kg)	1850	1650	2660	3800
Első tengelyre eső üzemi súly	Q_a (kg)	750	700	1150	1250
Súlyvonal távolsága a hátsó tengelytől	t_B (m)	0,682	0,645	0,82	0,750
Hátsó kerék mérete ...	D/s (m/m)	1,00/0,25	1,00/0,25	1,10/0,3	1,20/0,3
Kapaszkodó hossza ...	l (m)	0,13	0,13	0,145	0,145
Vonóhorog magassága	m (m)	0,38	0,38	0,45	0,49
Súlypont magassága...	h (m)	0,71 ²	0,71 ²	0,735 ¹	0,75 ²
Legkisebb haladási sebesség (I. fok)	V (km/ó)	3,3	3,4	3,2	4,1
Hajtókerék fordulata a legkisebb sebességnél	n_k (1/min)	17,5	18	15,5	18,1
Közlőmű hatásfok	η_m	0,88	0,88	0,88	0,88
Az első kerekekre jutó támasztó reakció nagysága a motornyomatékból számítva ³ ...	R_{A_1m} (kg)	323	240	510	490
Ugyanaz, a motornyomatékból és vonóerőből számítva ⁴	R_{A_2m} (kg)	+50	-50	+70	-40
Nyugvó traktor hosszirányú stabilitásának határszöge	α_s°	44°	42°	48°	45°
Ugyanaz, vontatást végző traktornál ⁵	α_d°	+11°	-11°	+10°	-6°
ill. a lejtés %-a	$\alpha_d\%$	+20%	-20%	+18%	-10%
A keresztirányú stabilitás határszöge nyugvó traktornál	$\alpha_s''^\circ$	46°	46°	47°	48°

1) mért adat.

2) közelítő (számított) adatok.

3) ΔQ_{1m} értéke (18) képlet alapján számítva.4) R_{A_2m} értéke (97) képlet alapján számítva.5) α_d értéke (98) képlet alapján számítva.

A levezetett összefüggések kidolgozásánál főképpen Ie. A. Csudakov akadémikus alapvető munkái szolgáltak kiindulásul.

Remélhető, hogy az előadottak alkalmasak lesznek arra, hogy eddig is jó hírnévnek örvendő traktorgyártásunknak további támpontokat adjanak és hogy a traktorok eredményes és helyes használata terén is a szakismeretek kiszélesedésével további fejlődés következhesse be.

HOZZÁSZÓLÁSOK

RÁZSÓ IMRE

»ADATOK A TRAKTOROK DINAMIKÁJÁHOZ« CÍMŰ ELŐADÁSÁHOZ
KOMONDY ZOLTÁN

Készségesen teszek eleget az Akadémia — reám nézve megtisztelő — fel-szólításának, hogy *Rázsó Imre* tanártársam előadásához szóljak hozzá — annak ellenére, hogy az előadás témája kívül esik jelenlegi műszaki működésem területén. Azok a korábbi vizsgálataim azonban, amelyeket az autók mozgás-tulajdonságaira vonatkozólag végeztem, feljogosítanak arra, hogy az elhangzott előadással kapcsolatban — ha nem is annak gyakorlati vonatkozásait illetően — de általánosságban véleményt nyilvánítsak.

A gépészmérnök technikai alkotásainak használati értékét általában 3 tényezővel: az üzembiztonsággal, gazdaságossággal és az illető szerkezet üzemében felmerülő különleges követelmények kielégítésének mértékével szoktuk jellemezni. Ezek az értékmérők azonban önmaguk is több tényezőnek az eredői, pl. az üzembiztonság függvénye a szerkezeti megoldásnak, méretezésnek, gyártásnak, szerelésnek, kipróbálásnak és ezért még ha csak relatív értékelést is akarunk végezni, ismernünk kell ezeket a tényezőket külön-külön abban a vonatkozásban, amelyet az egyes értékmérőkre gyakorolnak. Régebben ezt az értékelést az ú. n. gyakorlati szakemberek végezték a gyakorlati tapasztalataik által kifejlesztett technikai érzékük alapján. Ez az eljárás az értékelésben nyilván inkább az értékelő egyéniségét juttatta kifejezésre, mint a vizsgált szerkezetét, mert az a bizonyos tapasztalati érzék a rendszerint bonyolult összefüggéseket nem tudta az értékmérésre felhasználható módon és mértékben ki-elemezni, — és valljuk meg nem minden ok nélkül vezetett ez annak a véle-ménynek a kialakulására, hogy technikai tudományok tulajdonképpen nin-csenek, hanem csak technikai gyakorlat van.

Rázsó professzor mai előadásában bemutatta a traktorokra vonatkozólag azt az eljárást, amellyel a tudományos értékelés alapjait meg lehet teremteni. Ez az eljárás — egész általánosságban tekintve a dolgot — a vizsgált folyamatra befolyást gyakorló tényezők szétválasztása, elemzése és vizsgálata különös tekintettel arra a körülményre, hogy ezek a folyamat lefolyását — annak meg-valósítására szolgáló szerkezetben — milyen irányban és mértékben befolyásol-ják. Az ilyen vizsgálat azonban általában nem egyszerű, mert bizonyos mértékű absztrahálást, eszményesítést tételez fel.

Az előadó a traktorok üzemében jelentkező erőjátékot annak továbbozgá-tására, a ráakasztott szerszámok vontatására és felgyorsítására, valamint az emelkedők vételére szükséges erőkomponensekre bontotta szét azzal a részletesség-gel, amilyent az irodalomban seholsem találunk és azzal a világos okfejtéssel és logikus módszerrel, amelyet viszont tőle egyéb vonatkozásokban is megszok-tunk. Az eszményesítést is szerencsés kézzel végzi és ezáltal mindig a valóság talaján marad, ami azt jelenti, hogy eredményeit — a valóság és az eszmé-nyített állapot közötti különbség figyelembevételével — a valóságos viszonyokra is lehet alkalmazni.

Az ilyen értelemben végzett vizsgálatok sohasem kelhetnek ellentétet a tudomány és a gyakorlat között.

A választott *mechanikai* vizsgálati módszert is igen helytállóan és eredményesnek kell minősíteni, mert egyrészt világosan követhetővé teszi a vizsgálat folyamatát, másrészt, ha nem is mindig nyújt számszerű eredményeket, olyan összefüggéseket szolgáltat, amelyeket a szerkesztésnél és az üzemben — az igénybevételek legkedvezőbb feltételeinek meghatározására — fel lehet használni.

A bemutatott vizsgálati módszer, amelyet az előadó a traktorra, a talán legváltozatosabb és legnehezebb körülmények között dolgozó gépre vonatkozólag alakított ki, elvezet a lényeg megismeréséhez, a véletlenek és mellékbefolyások rendszeres kiküszöböléséhez és elvezet oda, ahová *Szabó Gusztáv* professzor szerint el kell jutnunk, »hogy az eszközzel tudatosan végeztessük azt az eljárást, amely elegendő mértékben biztosítja a szükségeset és lehetőleg nem végez semmi feleslegest«.

Ami a vizsgálat eredményeit illeti, azokat legjobban azzal jellemezhetjük, hogy a nyert összefüggésekből minden kiderül, ami a gépszerkesztőt és a traktor üzembentartóját érdekli.

A lényeg ugyanis az, hogy a traktornak a szántóföldön, vagy az országúton való továbbmozgatásához szükséges vonóerő kifejtését a beépített motor végzi és a kerekek járó felületének a talajhoz való tapadása teszi lehetővé. Ezt a tapadást a traktor súlyának a hajtott kerekre eső része létesíti. Ez a súly azonban, amint az előadásból minden vonatkozásban rendkívül világosan kiderül, változik annak következtében, hogy a traktorra munkaközben ható erők — a talajellenállás, az utána akasztott szerszámok vontatása, a gyorsulás, emelkedő stb. — dinamikus súlyáthelyezést létesítenek az első — nem hajtott — kerekekről a hátsó — hajtott — kerekre. Ez a folyamat, amely az előadásban szintén kézzelfoghatóan jelenik meg előttünk, két vonatkozásban érdekes. Az egyik az, hogy az áttolódás által a mozgatást lehetővé tevő adhéziósúly megnövekszik és ezáltal a kerekek megcsúszása ellen nyújt védelmet. A másik az, hogy a súlyáthelyeződés által az első tengely leterhelődik, aminek következtében viszont a traktor veszít stabilitásából. Ez a leterhelődés mindaddig előnyös, amíg az ágaskodás be nem következik, mert csökken az első kerekeken — azok kisebb átmérőjéből amúgy is kedvezőflenebbre adódó — gördülési ellenállás.

A traktorok üzemi viszonyaira kíváncsi hallgató kifogásolhatja, hogy az előadó nem foglalkozott eléggé a négykerék-hajtással, a hernyótalpas hajtással, a gumiabroncsos és kapaszkodókkal ellátott acélkerekes szerkezetek erőjátékaival, továbbá a motor karakterisztikus viselkedésének a vizsgálatba való bevonásával.

Előadása végén *Rázsó* professzor megemlíti, hogy az összefüggések részletes kidolgozása főképpen *Csudakov* akadémikus alapvető munkáinak tanulmányozása alapján vált lehetségessé. Ez a kijelentés félreértésekre adhat alkalmat. A tényállás az, hogy *Csudakov* munkái csak az impulzust adták, a módszer és eredmények azonban az ő egyéni munkájának születtei.

Ezzel kapcsolatban külön rá kell mutatnom arra a körülményre, hogy az eredmények elérésében nagy szerepe volt a dialektikus gondolkodás és feldolgozás módszerének, amelynek *Rázsó* professzor nagy mestere és amelyet az jellemez, hogy »a gondolat nagy átfogó erejét egyesíti a probléma megoldásának állhatatos következetességével«.

Végezetül legyen szabad felhívnom az előadó figyelmét még egy, a mezőgazdaság motorizálását befolyásoló kérdésre. Ez a munkasebesség növelésének

a kérdése. Azt hiszem, felesleges ennek jelentőségét és nemzetgazdasági kihatásait indokolnom. Csupán arra akarok rámutatni, hogy e cél felé való törekvésünkben lényeges nehézséget jelent a meglévő talajművelő eszközeinknek szükségszerű használata. Tehát ezeket kell oly irányban tökéletesíteni, hogy azok a művelősebesség növelését lehetővé tegyék. Meg vagyok róla győződve, hogy *Rázsó* professzor ezen a téren is eredményeket tud nyújtani.

KUND EDE

Előadó a traktor hosszirányú és keresztirányú stabilitásának elméletével kimerítően foglalkozott. Megemlítette azt is, hogy a hosszirányú stabilitás növelése céljából — különösen univerzális traktorokon — a bekötési pontot néha az első és a hátsó tengely között helyezik el. Ennek a kérdésnek teljes megvilágítására az előadást célszerűnek látom a következőkkel kiegészíteni. Újabban növekszik a jelentősége a függélyes tengely körüli stabilitásnak is, ami a traktor kormányozhatóságát befolyásolja. A sorművelésre használt univerzális traktorral szemben kormányozhatóság szempontjából egészen mások a követelmények, mint a szántó traktorral szemben. A függélyes tengely körüli stabilitásnak legnagyobb jelentősége a gyorsjáratú automobiloknál van. Alig néhány évvel ezelőtt még megmagyarázhatatlan volt, hogy 100 km/órán felüli sebességgel egyik autót alig lehetett a 7—8 m széles úton tartani, míg a másik kocsit bármily nagy sebességgel is pontosan és biztosan volt vezethető, jól feküdt az úton. Magyarázata ennek az, hogy a fúvott gumiabroncsos kerék, ha arra oldalirányú erő is hat, nem gördül saját síkjában, hanem gördülési iránya a kerék síkjával szöget zár be, a kerék oldalazva gurul. Az oldalazás szöge függ az abroncs méreteitől és a benne levő légnomástól is. Az oldalirányú erő lehet szélnyomás, de legnagyobb jelentősége a fordulás közben fellépő centrifugális erőnek van. A jármű súlypontjának helyétől függ az oldalirányú erőnek az első és hátsó kerekek közötti megoszlása. Az első kerekek nagyobb szögű oldalazása a jármű iránytartását stabilá, a hátsó kerekekét instabilá teszi. A kerekeknek ez az oldalazása okozza azt, hogy négykerékű járművek hátsó kerekei fordulás közben általában nem járnak az első kerekek nyomán, lassú menetben kisebb sugarú íven járnak, gyors menetben járhatnak nagyobb sugarú — a sebesség növekedésével növekvő sugarú — íven is. A gyorsjáratú járművekkel tovább nem foglalkozom, de ennyit meg kellett említenem egyrészt a továbbiak könnyebb megértésére, másrészt, hogy esetleges ellentmondások látszatát elkerüljem.

Mezőgazdasági traktoroknál a haladás irányával szöget bezáró vonóerőből származnak oldalirányú erők. Ezek hatására a gumiabroncsos kerekek épp úgy oldalaznak, mint az autókerekek. Hasonló jelenség jelentkezik a kapaszkodókkal ellátott vaskerekeknél is, de nem a kerék, hanem a talaj részben rugalmas, részben maradandó alakváltozása folytán. A kerekeknek ez az oldalazása nemcsak nehezíti a kormányzást, hanem lényegesen ronthatja a traktor vontatási hatásfokát, illetőleg vonóhorogteljesítményét. Ha a vonóhorog a hátsó kerekek mögött vagy környezetükben van, akkor a hátsó kerekek a vontatási ellenállás oldala felé, az elsők az ellenkező oldal felé oldalaznak. Ez a traktort addig fordítja, míg az ellenállás és így vonóerő bele nem esik a traktor haladási irányába. A traktor fordulását csak az első kerekeknek az ellenállás oldala felé való kormányzásával akadályozhatjuk meg. Ennek nemcsak az a hátránya, hogy a négy kerék oldalazása fölösleges energiafogyasztással jár, hanem mind az ellenállás mértékének változása, mind a kerekekkel érintkező

talajnak az alakváltozással szemben tanúsított ellenállásának változása a kormány folytonos átállítását teszi szükségessé. Az elfordító hatás kiküszöbölhető a bekötési pontnak a traktor függőleges dinamikus súlyvonalába való helyezésével. Minthogy a súlyvonal helyzete a traktor terhelésével változik, a gyakorlatban a kiküszöbölés csak megközelíthető lehet. Különben is csak kísérletezéssel lehetne az első és hátsó kerekek egyenlő szögű oldalazását beállítani a bekötési pont megfelelő változtatásával.

A bekötési pont előrébb vagy hátrább helyezése még egy lényeges változást okoz mind a vontatott eszköz, mind a traktor kormányzásában. Ha a bekötési pont a traktor középvonalában, hátsó tengelye és a vontatott tengely között középen van, akkor a vontatott tengely minden egyes pontja a traktor hátsó tengelye egy-egy pontjának útján halad. Azonos nyomtávolság esetén tehát fordulóban is azonos nyomon járnak a traktor és a vontatott tengely kerekei. Minél előrébb visszük a bekötési pontot, annál kisebb sugarú íven halad a vontatott tengely. Az első eset akkor kívánatos, ha nem egyenes sorokba vetett növény sorművelését végezzük, pl. rétegvonalas művelés esetén. Az utóbbi akkor lehet előnyös, ha sorművelés közben a művelő szerszámok vetési hiba vagy bármely más ok miatt rámennek a sorokra. Ilyenkor a minél rövidebb sugarú ív az előnyös, mert így rövidebb úton hozhatjuk a szerszámokat a növény-sorok közé.

A bekötési pont elhelyezésének univerzális traktoroknál sokirányú jelentősége van és ezért célszerű lehet a bekötési pont elhelyezését változtathatóra készíteni.

PATTANTYÚS Á. GÉZA

Jároművek erőtani vizsgálata csak látszólag egyszerű feladat, mert az ú. n. »erőjáték« *egymagában még nem ad kielégítő választ az adhéziós vontatás üzemeivel kapcsolatos minden kérdésre.*

Rázsó Imre előadásának értékét abban látom, hogy a gépkocsik és traktorok erőjátékának elemzése kapcsán rávilágít azokra a szerkesztési és méretezési hibákra is, amelyek néhány traktortípus hosszirányú stabilitásának tökéletlenségében jelentkeznek. Ez a körülmény egymagában is bizonyítja, hogy a traktorok erőtani vizsgálata még korántsem tekinthető minden vonatkozásában egyértelműen lezárt kutatási területnek.

Itt hívom fel a figyelmet arra is, hogy a gördülő kerék ú. n. gördülési ellenállásának szabatos erőtana már magában véve is jóval bonyolultabb annál az egyszerűsített szemléletnél, amely a gördülő ellenállás karjának bevezetésével a terhelést erőpárok nyomatókával veszi számításba. A csapsúrlódásnak és a keréktalp tapadásának valóságos erőjátéka sem olyan egyszerű, mint a szakirodalomban elfogadott számítási alap.

E megállapításokkal nem vitatom az egyszerűsített méretezési eljárások használhatóságát, csak azt emelem ki, hogy az így kapott közelítő eredmények pontossága különösen a *határesetekben* ellenőrzésre szorul. Ilyenkor elsősorban azt kell vizsgálat tárgyává tennünk, hogy az egyszerűsített közelítő számítás eredménye kedvezőtlenebb-e a valóságosnál, vagy más szóval: eleget tesz-e a *méretezési biztonság* feltételének?

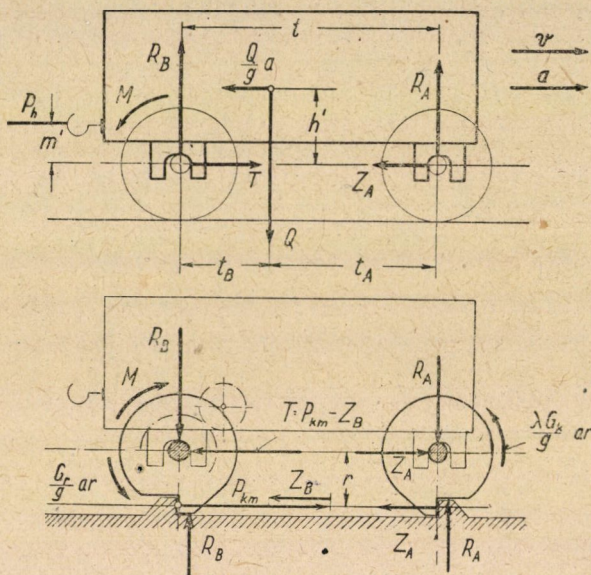
Az ellenőrző vizsgálat nagyon megkönnyíthető az erőjáték szemléletes értelmezésével és világosan áttekinthető ábrázolásával. Még ott is, ahol a kérdés elvi része teljesen tisztázott, a feladat újszerű fogalmazásával, vagy módszer-

tani újítások bevezetésével lehet a műszaki tudományok továbbfejlődését biztosítani.

Az előadás érdemi részéből kiemelem, hogy az erőjáték elemzése kapcsán előnyt nyújt az alvázra átvitt nyomatékoknak kifejezése a keréknyomások ΔQ változásával, mert megkönnyíti a határesetek vizsgálatát. (A szakirodalomban e helyett a súlyerő hatásvonalának eltolódásával szoktak számolni, sőt félreérthető fogalmazásban »a súlypont eltolódásával« veszik figyelembe e nyomatékok hatását.)

Az előadó másik érdeme, hogy hangsúlyozottan mutat rá a kerék tengelyére átvitt nyomaték *ellennyomatékának* minőségi és mennyiségi befolyására és ezzel hozzájárul a csúszásmentes gördülés és a stabilitás határfeltételeinek tisztázásához.

Hozzászólásomat az 1. ábra kapcsán az erőjáték szemléletes ábrázolását és elemzését megkönnyítő módszertani megjegyzéssel fejezem be.



1. ábra

Ez az ábra a traktor erőjátékának az előadásban bemutatott ábrázolásától abban tér el, hogy a gördülő kerekeket támadó erőket és erőpárokat is szemlélteti. Az ábrából jól érzékelhető a kerékről a talajra átvitt erők irányváltása is, a hajtott kerékre átvitt $M = P_{km}r$ nyomaték hatására.

A vontatott kerék és a hajtókerék csúszásmentes legördüléséhez ugyanis ellentétes irányú tapadósúrlódásra, azaz: vízszintes támasztóerőre van szükség; — ezek irányát a keréknek a talajba kapaszkodó fogzásával szemléltettem.

A hajtókerék megcsúszását akadályozó T támasztóerő felső határértéke: a tapadósúrlódás φ tényezőjével meghatározott: $T_\varphi = R_B\varphi$ súrlódóerő. A felrajzolt erőjáték azt mutatja, hogy a kerék megcsúszását akadályozó támasztóerő *kisebb* lehet a kerékre átvitt M forgatónyomatékból számított P_{km} kerületi

erőnél. ($T_\varphi \cong P_{km} - Z_B$). A hajtókerék gördülő ellenállását ugyanis *erőpár* alakjában szokás számításba venni, ezt pedig a motor támasztóerő nélkül, forgatónyomaték kifejtésével tartja egyensúlyban.

E szemlélet szerint a hajtótengely keréknyomásából származó Z_B vontatási ellenállás tehermentesítő hatása a csúszás veszélyét *kisebbíti* — ennek figyelmen kívül hagyásával tehát a *biztonságot* fokozzuk.

Az indítás és fékezés alatt ébredő *tehetetlenségi* erők és nyomatékok szabatos számításbavételére a kerék kerületére redukált forgó tömeg súlyának bevezetését tartom a legszemléletesebb eljárásnak. Ezt az eljárást a daruk és a felvonók üzemtani vonatkozásainak tisztázása érdekében részletesen kidolgoztam* és a hajtóműben a fogváltásból származó ütések előídező kritikus gyorsulások kiszámítására is felhasználtam. Ez alkalommal csak annyit közlök, hogy a kerék tehetetlenségi nyomatéka vagy ú. n. lendítőnyomatéka helyett a kerületre redukált tömeg: $G_k = \lambda G$ súlyának bevezetése adja a legmegbízhatóbb számítási alapot, mert az a kerék G súlyából az egységnél kisebb λ tényező ($\lambda = 0,7 \div 0,8$) becslésével könnyen meghatározható.

KORBULY JÁNOS

Rázsó professzor előadásában matematikailag meghatározta és rögzítette mindazokat a jelenségeket és előírásokat, amelyek a traktorok üzemeltetése közben létrejöhetnek.

Biztosan és egyértelműleg megállapította, hogy például, ha egy traktor nem vontat, csupán maga halad, melyek az előrehaladás feltételei. Részletesen foglalkozott a traktor hosszirányú stabilitásával, a gördülési ellenállásokkal, vonatkoztatva mind a terheletlenül haladó traktorra, mind arra az esetre, amikor a traktor vontat.

Sőt alapvető tételként lerögzítette, hogy a vonóerő kifejtése minden körülménye között csökkenti az első kerekek függőleges irányú támasztóerejét, a reakcióerőt, azaz növeli a traktor billenékenységét. Ez azt jelenti, hogy egy álló traktorhoz viszonyítva a mellső és hátsó kerekeken levő súlyelosztás abban a pillanatban megváltozik, amikor a traktor haladni kezd, vagy vontat.

Fenti körülmények kivizsgálása következtében bebizonyosodott az az összefüggés, hogy a traktor billenékenység szempontjából mindig kedvezőtlenebb és kedvezőtlenebb helyzetbe kerül akkor, amidőn nagyobb és nagyobb vonóerőt kell hogy kifejtjen.

Rázsó professzor a légellenállás kérdésével is foglalkozott, megjegyezvén azt, hogy az ebből származó ellenállások elenyészőek és így vizsgálat szempontjából elhanyagolhatók.

Külön kidomborította azt a körülményt, hogy magának az erő irányának és a vonóhorog bekötés helyének milyen befolyása van a traktor hosszirányú dinamikájára.

Foglalkozott a gyorsulás, az emelkedőn való felfelé haladás, a ferde oldalon való haladás, valamint az ívben való forduláskor fellépő dinamikus erőviszonyokkal.

Ily módon *Rázsó* professzor előadásában a fentemlített eseteknél a traktor üzemeltetése közben fellépő összes dinamikus jelenségek kivizsgálást nyertek.

* Lásd bővebben: *dr. Pattantyús*: Emelőgépek üzemtana és szerkezetana. (1927), 60. o. és *dr. Pattantyús*: Felvonók. (1945), 79. o.

Lerögzítést nyertek azok a határértékek, amelyek mellett a traktor üzemeltetése még helyes és biztonságos.

Felmerül most az a kérdés, hogy az előadásban nyert eredményeket milyen síkon és hogyan értékeljük ki?

Gondolkoznunk kell azon, hogy az elméletileg megállapított eredményeket hogyan vigyük át a gyakorlatba, hogy így az elmélet és gyakorlat közösen nyújtson számunkra komoly eredményt.

Felfogásom szerint a kiértékelés folyamán két súlypontot kell képezzünk. Az egyik a konstrukciós vonal, ahol meg kell állapítani azt, — amikor *Rázsó* professzor által összeállított táblázatokat szemléljük — hogy a szerkesztők nem mindig tettek eleget *Rázsó* professzor által lerögzített feltételeknek. Ez az oka annak, hogy több-kevesebb esetben bizonyos rendellenességek mutatkoztak, és hogy ezen rendellenességek *Rázsó* professzor által lefektetett elvek ismeretében elkerülhetők lettek volna.

A másik súlyponti kérdés az elméletnek a gyakorlati életbe való átültetése. Itt azt javaslom, hogy *Rázsó* professzor eredményeit igenis a legsürgősebben tudatosítani kell ott, ahol traktort tartanak üzemben. Magától értetődik természetesen, hogy nem arról van szó, miszerint a matematikai eredményeket vagy levezetéseket közöljük, hanem *Rázsó* professzor által lefektetett jelenségeket, a szélső helyzetek megadását és további egyéb komponenseket kell ismertetni. Értem alatta azt, hogy a fellépő jelenségeket részletesen meg kell tárgyalni; például csak a traktor haladása esetén, ha azt elindítjuk, akkor bár nincs is terhelve, tehát csak maga megy, a haladás létrejövésénél a hátsó két keréken a motor nyomatéka, illetve a haladási ellenállásból kifolyólag nagyobb a terhelés, mint álló állapotban. Hogy akkor, amikor a traktor vontat, akkor az ágaskodás veszélye megnövekedik. Hogy a vonóhorgot minél mélyebbre tudom bekötni, annál kisebb az ágaskodási veszély. Megmagyarázandó volna az, hogy a traktor hirtelen indulásából, eltekintve a szerkezet túlságos igénybevételestől, ágaskodás szempontjából milyen súlyos jelenségek léphetnek fel. És így tovább, pl. mi következik be lejtőn felfelé haladásnál, stb.

Meg vagyok győződve arról, hogy munkánk eredményes lesz. Biztos az is, hogy traktoristáink régebbi gárdája fenti jelenségeket mind részletesen ismeri, mondhatnám, hogy a traktor üzemeltetésével biztosan összeforrott. Rohamosan fejlődő mezőgazdasági életünk azonban megkívánta azt, hogy állandóan új és új vezetőket állítsunk be. Biztos az, hogy fenti oktatásnak — amely a rendszeres oktatás keretén belül megtörténhetne — komoly eredménye lenne. Az is biztos, hogy ezen a vonalon oktatásunk következtében csak egyetlen egy esetben is elkerülhető lenne egy komolyabb géptörés, vagy esetleg munkavállalóban beálló sérülés, akkor már feladatunknak részben eleget tettünk és előrevittük népgazdaságunk szocialista mezőgazdasági fejlődését.

LACSNY ÁRPÁD

Előadó a vizsgálatokat csak a két hátsókerék-hajtású traktorokra végezte el. Mivel gyakran merül fel az elsőkerék-hajtású és négykerék-hajtású traktor kialakításának gondolata is, a vizsgálatokat kívánatos volna ez irányban is elvégezni.

Mind a szerkesztőt, mind az üzemtartót érdeklik azok a tényezők, amelyek a vonóerőket és különösen a vonóerőkkel kapcsolatban a mellső tengelyt tehermentesítő erők nagyságát befolyásolják. A legegyszerűbb számítási összefüggéseket kapjuk (és eddig csak ezeket használtuk), ha kiindulunk a kerekek

kerületén fellépő erőből, és vizsgáljuk adott sebességek mellett a tapadásból (adhézió) és a motor teljesítményéből adódó kerületi erőket.

A hajtókerekek kerületén fellépő erőt két részre bontjuk:

Egyik rész az önvontatásra (P_{1k}), másik rész pedig a vontatmány továbbítására szolgál (P_{2k}).

Ha a traktor áll (vonóerőt nem fejt ki), a súlyelosztásból kifolyólag mutatkozik Q_1 és Q_2 első és hátsó tengelynyomás. Ha a traktor halad, a hátsó kerekeken ébredő nyomaték folytán lép fel a mellső tengelyen egy emelőerő (ez fellép úgy a hátsó, mint mellső tengelyhajtásnál) és a hátsó tengelynyomás nő, a mellső pedig csökken.

Ha a traktor nem vontat, a mellső tengelyre eső emelőerő

$$\frac{P_{1k}R_h}{L} = Q_{1e}$$

ahol L = tengelytáv, R_h = a kerék hasznos sugara.

Ha a traktor vonóerőt is fejt ki

$$\frac{P_{1k}R_h + P_{2k}R_h}{L} = Q_e$$

feltéve, hogy a vonóerő a tengely közepével megegyezik.

Ha a vonóhorog nem esik össze a tengely közepével, hanem attól m magassággal eltér, a tengely körül egy nyomaték lép fel, amely aszerint, hogy a vonóhorog a tengely alatt vagy fölött van elhelyezve, a mellső tengelyen fellépő emelő erőt csökkenti vagy növeli.

$$\frac{P_{1k}R_h + P_{2k}R_h \pm P_{2k}m}{L} = Q_e$$

feltéve, hogy a vonóerő vízszintesen hat.

Előbbiekből következik tehát, hogyha a vonóhorog bekötési pontját olyan mélyre vihetnénk le, hogy $m = R_h$ volna, úgy az emelőerő csak az önvontatás folytán lépne fel. További következtetést levonva megállapítható, hogyha a vonóhorog a tengelynél mélyebbre van bekötve, s a távolság a tengelytől nagyobb mint a kerék hasznos sugara, a traktor hátravágódása nem következhetik be.

Ha a vonóerő vízszintesen hat és a vonókészülék vertikális irányban nem állhat be, a mellső tengelyre ható emelő erőt nem befolyásolja az, hogy a vonókészüléket a hátsó tengely előtt vagy mögött kötjük be. A hátsó tengely előtt bekötött vonókészülék, ha annak oldalirányú elmozdulását biztosítjuk, a traktor kormányzását befolyásolja. Ha ugyanis a vontatmány vonókészülékének középvonala és a traktor középvonala szöget zár be, fellép egy vízszintes irányú komponens, amely a traktort a vontatmány vonókészülékének irányába beforgatni igyekszik, ha pedig a vonókészülék befogási pontját a két tengely között választjuk meg, az oldalirányú erő a traktort csak oldalirányban igyekszik elcsúsztatni.

A traktor keresztirányú stabilitásának vizsgálatánál előadó feltételezte, hogy a traktor mindkét tengelye mereven van bekötve. A gyakorlatban azonban a kerekes traktorok általában 3 pont alátámasztásúak, ezért a vizsgálatot ez irányban is kívánatos volna kiterjeszteni.

A tüskés kapaszkodóval ellátott traktoroknál a gördülési sugár rendszerint nagyobb mint a keréktalp sugarak, mert vagy nem hatolnak a kapaszkodók teljesen a talajba, vagy a rátapadt föld növeli meg a kerék sugarát. Általában a gyakorlati tapasztalatok szerint a kapaszkodók hosszának $\frac{1}{3}$ -val nő a kerék sugara.

Lánc talpas traktoroknál a támasztóerők megállapítására szolgáló képlet-nél figyelembe kell venni még azt is, hogy a legtöbb traktornál az átbillenés nem a hajtókerék tengelyénél történik.

Lánc talpas traktoroknál a támasztóerők a görgőkön lépnek fel. Külön tanulmányt igényel azonban a görgőkön fellépő terheléseknek változása, különös tekintettel a mereven és himbába beépített görgők esetére. Ugyancsak nemcsak szerkesztési, de agrotechnikai szempontból is kívánatos volna tisztázni a lánc talpak felületén fellépő felületi nyomásokat is. Az eddigi gyakorlat ugyanis a lánc talpakat merevnek és a felületi nyomást egyenletesnek tételezi fel, s így került a köztudatba, hogy a lánc talpas traktoroknál a lánc talpnak felületén fellépő nyomás $0,4-0,5 \text{ kg/cm}^2$. A valóságban a felületi nyomás lényegesen nagyobb és egyes esetekben meghaladja a gumikerekű traktoroknál mutatkozó felületi nyomásokat.

A felvetett problémákat egy hozzászólás keretében nem lehet kitárgyalni, de ezek is hozzátartoznak a traktorok dinamikájához, és ezeket mint kutatási problémákat vetettem fel.

BILLEGE JÁNOS

A traktor stabilitásával és egyéb kérdéseivel nem lehet eleget foglalkozni. Az értékes elméleti fejtegetés mellett az előadás ugyan gyakorlati számokat is ad, mégis a leegyszerűsített formát, azok összefüggését érdemes megemlíteni.

Legérzékenyebb a traktor mozgására annak hosszirányú stabilitása. Amint láttuk, a hosszirányú stabilitás, az ágaskodás függ :

1. a motor nyomatékától,
2. az első kerekekre eső súlynak a hátsó tengelyre eső nyomatékától,
3. a bekötés helyétől.

Kellő adhézió mellett hátsó kerék meghajtásnál, ha a motor nyomatéka nagyobb mint az első kerekekre eső súlynak a hátsó tengelyre vonatkoztatott nyomatékánál és a bekötés is kedvezőtlen : a traktor hátravágódik és súlyos balesetet okozhat (lásd : Fordson traktor stb.).

A bekötés lehet : *a)* a tengely fölött ; *b)* a tengelyen ; *c)* a tengely alatt.

Ha a bekötés a tengely fölött van, a vonóerő nyomatéka olyan értelemben hat, mint a motor nyomatéka, az *ágaskodási törekvés nő*.

Ha a bekötés a tengelyen van, az ágaskodási törekvés csak a motor nyomatékától függ.

Ha a bekötés a tengely alatt van, a vonóerő nyomatéka a motor nyomatéka ellen hat. Ha a bekötés elég mély, elmaradhat akár az egész első része a traktor-nak, a gép nem billen hátra. Ebben az esetben a bekötésnek mélyebben kellene lenni, mint a talajnak a szintje, aminek természetesen csak elméleti jelentősége van. (Pl. a két hátsó kerék között árok képzelhető, melyben lenyulna a bekötés karja.)

Közelebbről vizsgálva az eseteket nézzük meg, hogyan érvényesülnek a nyomatékok és erőhatások. Képzeljük el, hogy a traktor hátsó tengelyénél

fogva mereven ki van kötve. Ekkor, ha a motor nyomatéka nagyobb mint a traktor első részének a hátsó tengelyre vonatkoztatott nyomatéka: az első rész kezd emelkedni, ugyanekkor azonban abban a pillanatban a kikötést feloldva a *traktor kezd megindulni*. A folyamatos haladás felfogható úgy, hogy a kikötés és a következő pillanatban való feloldás ilyen kis lépcsőknek egymás után sűrűn való ismétlődése. Először kissé kezd emelkedni a traktor eleje, illetve csökken az első kerekek talajnyomása, utána forogni kezd a hátsókerék. Valójában ez a két tünet összefolyik, ha a traktor halad.

Abban a pillanatban, midőn a traktor első részének talajnyomása csökken, nő a hátsó kerekre eső súly és forgató-nyomaték: ekkor az egész rendszer merevnek fogható fel, mely a legmélyebb kapaszkodó csúcsa körül előre akar billenni; ekkor a vonóerő úgy hat, mintha a bekötés a tengelyen lenne, bárhol is van a tényleges bekötés. Ugyanis a tényleges bekötésnek a karja a tengelyre vonatkoztatva csak belső feszültséget okoz, illetve a karnak a forgási pontban levő nyomatékát határozza meg, és a helye áttevődik. Ha a bekötés pl. a tengely alatt van, akkor a vonóerővel párhuzamosan a tengelyen át felvehető két ellentétes és a vonóerővel egyenlő nagyságú erő, melyek közül az előremutató a vonóerővel erőpárt ad, ami a traktor elejét lefelé nyomja, a fennmaradó és a tengelyen átmenő hátrafelé mutató erő pedig a tengelyt terheli és hátrafelé akarja hajlítani: valójában ez az erő a legmélyebben álló kapaszkodó csúcsa körül az egész rendszert hátrafelé akarja fordítani és ezzel a hátrafelé mutató nyomatékkal — merev rendszernek képzelve el az egészet — tart egyensúlyt, illetve ennél a nyomatéknál nagyobb első résznek a nyomatéka. E pillanatban az egész rendszer úgy működik, mint egy derékszögű szögemeltyű, amelynek egyik szára a legmélyebben fekvő kapaszkodó csúcsában végződik, a másik szára a traktor első része, melyet terhel az első résznek a súlya és a tengely alatti bekötésnek a nyomatéka a két kar által alkotott sarokban elképzelt tengelyt hátrafelé húzza az előbb említett hátrafelé irányuló vonó erő.

A tényleges bekötés a tengely alatt van és ez a nyomaték a keretet veszi igénybe, míg az áthelyezett vonóerő, mint említettük, a tengelyt akarja hátrafelé hajlítani.

A *vonóerő nagyság* kellő adhéziót és motorerősséget föltételezve attól függ — hátsókerék-meghajtás esetén — hogy mekkora az első kerekre eső súlynak a hátsó tengelyre vonatkoztatott nyomatéka. Tapasztalat szerint szántáskor a motor teljesítménye a következőképpen oszlik meg: 10% közlőmű veszteség; 30% gördülési ellenállás; 60% hasznos vonóerő.

Legyen például az első kerekre eső súly 500 kg. A tengelytáv legyen 2 m. A hátsó kerék sugara legyen 0,5 m. Akkor — kellő motorerősség és adhézió mellett 500 kg szorozva 2 méterrel = 1000 mkg, amiből a hátsó kerekre eső kerületi erőt megkapjuk, ha az 1000 mkg-ot elosztjuk 0,5 m-rel, ami = 2000 kg-mal (közlőmű veszteség nélkül). Ebből a hasznos vonóerő az egész 2000 kg-nak 60%-a, vagyis 1200 kg.

Ez az 1200 kg szorozva a bekötésnek a tengelytől való távolságával adja a visszabillentő nyomatékot, ami az első rész nyomatékával együtt a motor ellen hat. Ha a bekötés a tengelyen van, akkor nyilvánvaló, hogy a traktor nem tud 1200 kg-nál nagyobb vonóerőt kifejteni — bármilyen erős is a motor — mert a traktor első része összesen maximum 2000 kg kerületi erővel tud egyensúlyt tartani. Ha az első részt elhagynánk, akkor a bekötés karjának 1800 osztva 1200 = 1,5-ször kellene nagyobbak lenni, mint a kerék sugara, vagyis 75 cm-nek

kellene lenni, tehát a talajszintnél mélyebben kellene a bekötésnek lenni (10% közlőmű veszteség van feltételezve).

A 30% gördülési ellenállás részletes taglalása tanulságos, ami a talaj-tömörítést, kapaszkodók ásási ellenállását stb. foglalja magában.

Annak oka, hogy a traktor elejének emelkedése nem jár mindig hátra-billenéssel az, hogy a bekötés pontja a tengely alatt és attól még hátra van és így a visszabilentő kar hossza az első rész emelkedésekor nő, nő a nyomaték is és a traktor eleje legfőlőbb lebeg, de kellő kar-elrendezés mellett nem billen hátra. Ezért fordul elő, hogy nagyobb terhelésnél egyes traktoroknak az eleje annyira kis talajnyomást okoz, sőt lebeg, hogy kormányozni úgyszólván lehetetlen, illetve nagyon nehéz; csak a barázdafal vezeti az első kereket, nem pedig a talajnyomás. Ezért volt pl. az ú. n. Kv-traktoroknál kormányfékre szükség, hogy még nagy emelkedés mellett is jól kormányozhatók legyenek.

RÁZSÓ IMRE lev. tag válasza a hozzászólásokra

Nagyon köszönöm az elhangzott értékes hozzászólásokat. Ha az igen tisztelt hallgatóság megengedi, röviden válaszolok azokra:

Komondy professzor kartárs felemlítette a négykerék-hajtás szerepét. — Én magam korábban szintén azt az álláspontot vallottam, hogy a négykerék-meghajtásnak általánosságban nincs jelentősége, mert az adhéziós súly úgyszólván nagyobb részt a hátsó kerekre jut. Ennek csak akkor volna értelme, ha ú. n. fej-nehez traktort alakítanánk ki. A nyári kísérletek eredményei alapján fel-fogásomat kissé módosítottam, de a négykerék-hajtású traktoroknak mind-ammellett nem tulajdonítok általánosságban nagy jelentőséget. — A tapasztalatok ugyanis azt mutatják, hogy a mi szemléletünket a traktoroknál kifejezetten terheli a vasúti technikából kellő kritika nélkül átvett értékek bevezetése. A traktorüzemben lényegesen más a helyzet, mint a lokomotívnál. A traktor nem kemény pályán, nem sínen gördül, hanem puha morzsalékos talajon, amely az adhéziós súly hasznosítása tekintetében a kemény sín és a teljesen laza víz között mintegy középpontot foglal el. A keréknyomás növelésével az adhéziót itt nem tudjuk tetszés szerinti mértékben növelni. Ez azonban csak megfigyelés, amit még pontos adatokkal igazolni kell. Következik ebből az, hogy az adhéziós súly növelésével egyúttal a felfekvő felületet és a kapaszkodók felületét is növelni kell ahhoz, hogy az adhéziósúly növelését érvényesíteni tudjuk. Ezért homokos talajon bizonyos jelentőséget kell tulajdonítani a négykerék-hajtású traktoroknak, mert ezeknél lényegesen megnövekedett a kapaszkodófelület is.

Ami a motorkarakterisztikára vonatkozó felszólalást illeti: a traktorüzemben a motor rugalmasságának még nagyobb jelentősége van, mint autóüzemben.

A munkasebesség növelésének kérdését illetően tapasztalható irányzat azt jelenti, hogy a traktor maga kisebb súlyú lehet, ennek megfelelően a vontatott szerszámok is csak a kisebb vonóerőnek megfelelő kisebb munkaszélességgel dolgozhatnak, mindez a befektetett tőkét csökkenti. A megnövekedett sebesség másik hatását nézve, azonban nagyobb sebesség mellett nemcsak a traktor önsúlyának továbbításához van szükség megnövekedett teljesítményre, hanem a technológiai folyamat elvégzése is nagyobb erőt igényel. Ha egy ekével nagyobb munkasebességgel szántunk, akkor nagyobb erő kell. A szántásnál van egy minimális sebesség, ami alá nem célszerű menni, mert a munka minősége romlik, azonban van egy felső határ is, amelynek túllépésével a minőség szintén romlik.

Hogy ezzel a kérdéssel foglalkozni lehessen, az szükséges, hogy a nagy haladási sebességhez szükséges különös kiképzésű, nagysebességű ekék álljanak rendelkezésre. A sebességnövelés főleg a kapitalista országokban követett irányzat, de hogy jelentőségét tisztázhassuk, a kérdéssel természetesen nekünk is foglalkozni kell.

Pattantyús professzor hozzászólásával kapcsolatosan: előadásom ilyen vonatkozásban valóban hiányosságokat mutat.

Billege János hozzászólásához meg kívánom jegyezni, hogy az általa ismerttetett számítási mód rendkívül plasztikus. Ha azonban csak a leegyszerűsített számítási módokat vesszük alapul, akkor könnyen elsiklunk éppen azok felett a szempontok felett, amelyek jelentőségét előadásomban ki akartam mutatni.

Korbuly János hozzászólásához nincs hozzáfűzni valóm.

Lacsny Árpád hozzászólásával kapcsolatosan: a vonóerő bekötésének szerepét előadásomban eléggé érintettem. Az elől bekötött vonórúd jelentőségét illetően az elmondottak természetesen akkor érvényesek, ha gömbcsuklón történik a bekötés.

A keresztirányú, stabilitásra vonatkozó megjegyzést illetően: mulasztást követtem el, mert valóban csak a merev-kerékbekötési traktorokra végeztem el a számítást. A három ponton alátámasztott traktorokra nézve a viszonyok természetesen kedvezőtlenebbek. Az alátámasztás határvonalának itt az első tengely közepétől a hátsó kerék felfekvő széléig vont egyenes vehető, a súlypont távolsága ettől lényegesen kisebb, mint a hátsó keréknek, maximálisan fél keréktávolsága. Ami a kapaszkodók hosszának szerepét illeti, *Lacsny* kartárrsal teljes mértékben egyetértek, hogy a sebesség számításánál úgy vehető, mintha a kapaszkodó $\frac{2}{3}$ részéig mélyedne a talajba. Ha azonban a kerületi erőt vizsgáljuk, a kapaszkodó hosszának kb. $\frac{2}{3}$ -át adjuk a keréksugárhoz.

A lánctalpas traktor átbillenésére nem tértem ki részletesen. Az első átbillenés *A*-val jelzett pont körül történik, majd a lánckerék felfekvése után az *A* pont körül megnövekedett karral lehet számolni. Lánctalpas traktoroknál ezért nem ismerünk olyan esetet, amikor a traktor hátrabillent volna.

Ami a lánctalp felületi nyomását illeti, valóban helytelen azt úgy számításba venni, hogy a traktor két lánctalpának felfekvő felületével osztjuk a traktor súlyát. Ha a lánctalpas traktorokat megfigyeljük, azt tapasztaljuk, hogy egy-egy lánctagra egy-egy görgő esik. Féloldalon tehát a traktor súlya annyi lánctalpra oszlik el, ahány lánctárgő van. A megfigyelések azt mutatják, hogy még ilyen esetben is a talajszerkezet romboló hatása sokkal kedvezőbb. A kísérletek során megfigyelhető volt, hogy egész más a szerkezet rombolóhatása, ha a nyomás a lánctalpon át függőlegesen nehezedik a talajra. Ilyenkor a talaj valóban csak összenyomódik. A kerekes traktoroknál azonban a kerék a tömörített réteg vastagságában mint egy maró dolgozza át a talajt, tehát itt feltétlenül tönkremegy a talaj morzsalékos szerkezete. Éppen a gumikerekes traktornál a plasztikus benyomódások igen nagy mértékben okozhatnak kárt. Ezen a téren még sok probléma van, ami tisztázásra vár.

Köszönöm a hozzászólásokat. Az előadásból és a hozzászólásokból az derül ki, hogy ez az első lépés volt csak a traktoroknál felmerülő sok kérdés közül, amelyek megvitatása még előttünk áll, ami bizonyára rendkívül érdekes lesz a továbbiak során.

RÁZSÓ IMRE LEV. TAG ELNÖKI MEGNYITÓJA
„A FOGASKEREK MÉRLETEZÉSÉNEK ÉS
GYÁRTÁSÁNAK NÉHÁNY PROBLÉMÁJA” CÍMŰ
ELŐADÁSHOZ

A Magyar Tudományos Akadémia műszaki tudományok osztályának az akadémiai nagyhét keretében rendezett előadását megnyitom. Üdvözlöm az előadót, a hozzászóló kartársakat és a megjelent kedves vendégeket. A mai előadás keretében dr *Vörös* Imre professzor a fogaskerékgyártás problémáiról fog beszélni. Azt hiszem, a jelenlevő kartársak előtt ismeretes az, hogy óriási mértékben fejlődött iparunk milyen fontos problémája többek között a fogaskerék gyártásának javítása, tökéletesítése. Alig van olyan gép, ahol a fogaskerék, mint igen fontos szerkezeti gépelem ne szerepeljen. Nem véletlen tehát az, hogy az Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának gépészeti bizottsága éppen ezt a nagyjelentőségű kérdést tűzte ki előadásául és az előadás megtartására dr *Vörös* Imre kartársat, ennek a szakmának egyik leghivatottabb képviselőjét kérte fel. Kérem a kartársakat, hogy az előadást, majd pedig a hozzászólókat figyelemmel hallgassák meg. Az elhangzott előadás és az előre bejelentett hozzászólásokon kívül is lehet külön hozzászólást tenni. Felkérem dr *Vörös* Imre kartársat, hogy »A fogaskerekek méretezésének és gyártásának néhány problémája« című előadását megtartani szíveskedjék.

A FOGASKEREKEK MÉRETEZÉSÉNEK ÉS GYÁRTÁSÁNAK NÉHÁNY PROBLÉMÁJA

VÖRÖS IMRE

Ahhoz, hogy a fogaskerék szakértők egymást könnyebben megérthessék, már régen szükségesnek mutatkozott egységes elnevezési és jelölési táblázat megalkotása. Hazai viszonylatban ugyanis ahány fogaskerékkal foglalkozó szakértő működött, mindegyik igyekezett a saját jelölési módját és elnevezését alkalmazni. De még a külföldi szakirodalomban is a legtöbbször egyénenként változó jelölések honosodtak meg. Már pedig az *egységes jelölési rendszer* nagyon megkönnyíti a megértést nemcsak az elméletben, a könyvekben és folyóiratokban, hanem a gyakorlatban, a műhelyben is selejtmentesebb munkát tesz lehetővé. Ezért az egyes országok szabványba foglalták a fogaskerekre vonatkozó egységes megnevezéseket és jelöléseket. A Magyar Szabványügyi Hivatal is megalkotta a gyakrabban használatos elnevezésekre és jelölésekre vonatkozó MNOSZ 2791—92. sz. szabványát, e szabványnál azonban számos elnevezés és jelölés még hiányzik. Hogy hazánkban egységesen járassunk el, néhány hazai fogaskerékszaktól a szabványon kívüli fogalmakra és jelölésekre is megállapítottunk egységes nomenklaturát s az alábbiakban ezt alkalmazzuk.

A fogazás geometriájában az evolvens fogazásnál az alámetszés elkerülése és jobb kapcsolódás biztosítása miatt szükséges helyesbítésre többféle helyesbítési rendszer született meg. Ilyen *Maag* helyesbítési rendszere, amit a gyár sokáig titokban tartott. Magyarországon még *Maag* előtt dr. *Vidéki* Emil ismerte fel a fogazás helyesbítésének a szükségességét és állított fel helyesbítési rendszert. A helyesbítési rendszerek azonban általában az alámetszés elkerülését tartották fontosnak. A német DIN szabvány is főleg azt igyekezett elkerülni, sőt bizonyos kis alámetszést még meg is enged a fogazás helyesbítésénél. Nálunk is a német DIN szabvány hatására erősen elterjedt az alámetszés határának a tekintetbevételével történő helyesbítés. Ez azonban *csúszás szempontjából hátrányos*. Tökéletesebb eljárás a *kiegyenlített csúszásra való helyesbítés*. Ebből a szempontból állította fel *Maag* is az ő helyesbítési rendszerét 15° -os kapcsolószögű általános fogazásra, azonban az ő rendszerét csak azok a vállalatok tudták alkalmazni, akik a MAAG gyártól megvették a helyesbítési táblázatokat, amelyeknek a segítségével formális számolással tudtak kedvezőbb csúszás-

I. TÁBLÁZAT

A szerszámelállítások értékei tengelytávolság változtatása nélküli \pm helyesbitésnél, amelyeknél a csúszás kiegyenlített $\alpha = 20^\circ$ -os kapcsolószögűnél (J. I. Diker szerint)

$z_1 \backslash z_2$	17	18	19	20	21	22	24	27	32	40	50	60	72	90	110	140	170	210
10							0,458	0,475	0,499	0,529	0,554	0,570	0,582					
11							0,408	0,430	0,460	0,495	0,520	0,540	0,554	0,563	0,566			
12						0,328	0,357	0,389	0,422	0,460	0,487	0,510	0,527	0,537	0,541			
13					0,264	0,263	0,313	0,347	0,385	0,427	0,457	0,479	0,499	0,511	0,515			
14				0,199	0,220	0,239	0,271	0,308	0,360	0,395	0,427	0,450	0,472	0,485	0,493	0,499		
15			0,134	0,159	0,181	0,201	0,235	0,271	0,315	0,363	0,398	0,423	0,445	0,462	0,472	0,479		
16		0,062	0,094	0,120	0,144	0,165	0,199	0,232	0,282	0,333	0,373	0,397	0,421	0,440	0,452	0,462	0,460	
17	0,000	0,032	0,060	0,066	0,110	0,131	0,165	0,205	0,251	0,306	0,348	0,374	0,398	0,418	0,433	0,445	0,441	0,458
18		00,00	0,030	0,056	0,080	0,101	0,136	0,178	0,224	0,282	0,326	0,353	0,378	0,400	0,414	0,427	0,434	0,440
19			0,000	0,027	0,052	0,073	0,109	0,132	0,200	0,260	0,305	0,334	0,361	0,382	0,396	0,410	0,418	0,424
20				0,000	0,025	0,047	0,085	0,128	0,178	0,240	0,285	0,316	0,344	0,365	0,379	0,393	0,402	0,408
21					0,000	0,023	0,052	0,107	0,159	0,222	0,268	0,299	0,328	0,350	0,364	0,379	0,389	0,395
22						0,000	0,041	0,087	0,141	0,205	0,251	0,283	0,313	0,335	0,350	0,366	0,379	0,382
24							0,000	0,051	0,110	0,173	0,219	0,252	0,281	0,305	0,324	0,341	0,351	0,358
27								0,000	0,065	0,129	0,176	0,212	0,243	0,267	0,289	0,308	0,318	0,328
30									0,025	0,089	0,138	0,178	0,208	0,235	0,259	0,278	0,292	0,302
33										0,057	0,108	0,149	0,180	0,206	0,232	0,252	0,267	0,280
36											0,029	0,082	0,122	0,154	0,181	0,208	0,230	0,247
40												0,000	0,052	0,090	0,124	0,151	0,178	0,203

A táblázat $x_1 = -x_2$ értékeit tartalmazza.

II. TÁBLÁZAT

A szerszámállítások értékei, amelyeknél $\alpha = 20^\circ$ -os kapcsolószögű

x = a szerszámállítások összege,

x_1 = a szerszámállítást a kiskeréknél

e = a futó kapcsolószög

(J. I. Diker szerint)

$z_1 \backslash z_2$	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	27	32	40	50	60	72	90	110	140	170	200	
14	x x_1 e	0,936 0,468 27°12'30"	0,958 0,411 27°03'11"	0,940 0,483 26°52'24"	0,943 0,489 26°43'27"	0,946 0,495 26°34'58"	0,948 0,501 26°26'55"	0,950 0,507 26°18'33"	0,952 0,511 26°10'54"	0,954 0,514 26°06'31"	0,950 0,521 25°50'30"	0,957 0,529 25°32'18"	0,981 0,540 25°01'10"	0,999 0,584 24°34'14"	1,023 0,554 24°03'17"	1,046 0,555 23°39'38"	1,073 0,555 23°17'44"	1,117 0,557 22°53'08"	1,164 0,558 22°34'12"	1,235 0,558 22°14'09"	1,305 0,559 22°00'00"	1,374 0,559 21°49'42"
15	x x_1 e		0,900 0,450 26°39'17"	0,903 0,451 26°33'48"	0,905 0,464 26°22'02"	0,907 0,471 26°13'55"	0,909 0,478 26°06'02"	0,911 0,485 25°58'40"	0,913 0,489 25°51'33"	0,915 0,493 25°45'09"	0,920 0,499 25°32'23"	0,926 0,508 25°15'18"	0,937 0,519 24°51'08"	0,955 0,528 24°20'25"	0,977 0,535 23°51'12"	0,999 0,536 23°28'56"	1,025 0,536 23°09'44"	1,065 0,537 22°45'04"	1,109 0,538 22°26'43"	1,175 0,538 22°01'32"	1,241 0,539 21°51'09"	1,307 0,539 21°44'30"
16	x x_1 e			0,864 0,432 26°08'50"	0,867 0,439 26°01'12"	0,869 0,446 25°53'40"	0,871 0,453 25°46'31"	0,873 0,460 25°39'37"	0,875 0,464 25°33'02"	0,877 0,469 25°27'02"	0,881 0,477 25°15'02"	0,886 0,486 24°58'35"	0,895 0,498 24°36'11"	0,913 0,510 24°07'19"	0,932 0,518 23°39'25"	0,955 0,519 23°18'52"	0,980 0,521 22°59'12"	1,016 0,523 22°37'04"	1,057 0,524 22°19'34"	1,118 0,524 22°01'09"	1,181 0,525 21°48'37"	1,244 0,525 21°39'28"
17	x x_1 e			0,828 0,414 25°40'43"	0,830 0,421 25°33'46"	0,832 0,426 25°27'04"	0,834 0,435 25°20'18"	0,836 0,440 25°14'47"	0,838 0,445 25°08'58"	0,841 0,455 24°57'54"	0,841 0,465 24°43'02"	0,841 0,471 24°27'00"	0,857 0,471 23°54'53"	0,873 0,491 23°28'40"	0,891 0,500 23°09'04"	0,912 0,501 22°56'43"	0,938 0,504 22°29'26"	0,959 0,508 22°12'47"	1,008 0,510 21°55'23"	1,066 0,510 21°43'23"	1,124 0,511 21°34'45"	1,184 0,511 21°25'51"
18	x x_1 e				0,782 0,393 25°14'47"	0,794 0,403 25°08'40"	0,796 0,410 25°02'48"	0,798 0,416 24°57'16"	0,799 0,421 24°51'34"	0,803 0,431 24°41'31"	0,809 0,444 24°27'57"	0,819 0,457 24°08'15"	0,832 0,472 24°42'24"	0,851 0,483 23°18'12"	0,870 0,488 22°59'30"	0,893 0,491 22°41'51"	0,924 0,494 22°22'04"	0,951 0,496 22°05'26"	1,015 0,493 21°49'46"	1,069 0,497 21°38'18"	1,125 0,497 21°29'51"	
19	x x_1 e					0,756 0,378 24°50'39"	0,759 0,385 24°45'32"	0,760 0,391 24°40'05"	0,761 0,397 24°35'00"	0,765 0,409 24°25'42"	0,770 0,422 24°12'42"	0,779 0,437 23°54'23"	0,792 0,453 23°30'20"	0,810 0,465 23°07'40"	0,827 0,470 22°49'43"	0,850 0,476 22°33'34"	0,880 0,479 22°15'00"	0,914 0,482 21°59'56"	0,957 0,482 21°44'28"	1,017 0,483 21°33'30"	1,070 0,483 21°25'35"	
20	x x_1 e						0,720 0,360 24°28'10"	0,721 0,367 24°23'10"	0,723 0,374 24°18'39"	0,727 0,386 24°10'03"	0,732 0,400 23°58'05"	0,740 0,418 23°40'52"	0,753 0,435 23°18'40"	0,770 0,448 22°57'11"	0,785 0,453 22°40'30"	0,806 0,459 22°25'09"	0,836 0,465 22°07'47"	0,868 0,467 21°53'54"	0,919 0,468 21°39'09"	0,967 0,469 21°28'46"	1,017 0,469 21°21'10"	
21	x x_1 e							0,684 0,342 24°07'03"	0,685 0,349 24°02'35"	0,689 0,361 25°54'45"	0,694 0,377 23°43'57"	0,702 0,393 23°27'56"	0,713 0,415 23°07'00"	0,731 0,429 22°47'13"	0,746 0,437 22°31'39"	0,765 0,443 22°17'13"	0,792 0,449 22°00'42"	0,824 0,452 21°47'42"	0,871 0,453 21°34'00"	0,917 0,454 21°24'10"	0,955 0,454 21°17'00"	
22	x x_1 e								0,648 0,324 23°41'48"	0,652 0,337 23°40'08"	0,657 0,354 23°30'05"	0,664 0,375 23°15'16"	0,674 0,395 22°56'23"	0,690 0,411 22°37'04"	0,705 0,421 22°22'50"	0,723 0,421 22°09'09"	0,750 0,434 21°53'55"	0,780 0,437 21°41'51"	0,826 0,439 21°28'55"	0,870 0,440 21°19'42"	0,915 0,440 21°12'55"	
24	x x_1 e									0,576 0,288 23°11'14"	0,580 0,308 22°02'34"	0,588 0,332 22°50'09"	0,597 0,355 22°33'23"	0,612 0,374 22°17'51"	0,625 0,384 22°05'32"	0,642 0,395 21°53'51"	0,655 0,403 21°40'45"	0,695 0,407 21°30'45"	0,738 0,409 21°19'14"	0,778 0,410 21°11'05"	0,818 0,410 21°05'05"	
26	x x_1 e										0,505 0,259 22°36'16"	0,513 0,288 22°26'21"	0,523 0,317 22°12'42"	0,534 0,338 21°59'00"	0,547 0,349 21°48'46"	0,551 0,361 21°38'35"	0,585 0,374 21°28'05"	0,611 0,380 21°19'09"	0,649 0,385 21°09'25"	0,687 0,386 21°02'40"	0,727 0,388 20°57'40"	
28	x x_1 e											0,438 0,240 22°03'14"	0,447 0,279 21°52'05"	0,457 0,305 21°41'05"	0,470 0,319 21°32'46"	0,483 0,331 21°24'40"	0,505 0,344 21°15'35"	0,529 0,355 21°08'10"	0,564 0,363 21°00'00"	0,599 0,361 20°54'25"	0,636 0,371 20°50'16"	
30	x x_1 e											0,362 0,194 21°40'42"	0,371 0,342 21°32'10"	0,382 0,272 21°23'45"	0,393 0,287 21°17'05"	0,405 0,302 21°10'33"	0,426 0,318 21°03'25"	0,448 0,329 20°57'25"	0,481 0,341 20°50'55"	0,514 0,348 20°46'33"	0,547 0,355 20°43'16"	
33	x x_1 e												0,211 0,210 20°58'30"	0,280 0,230 20°54'25"	0,289 0,252 20°49'40"	0,308 0,274 20°45'30"	0,329 0,287 20°41'49"	0,360 0,302 20°38'00"	0,389 0,310 20°35'00"	0,421 0,319 20°39'00"		
36	x x_1 e													0,165 0,113 20°32'00"	0,175 0,200 20°29'55"	0,193 0,226 20°28'11"	0,212 0,244 20°26'44"	0,239 0,262 20°25'05"	0,267 0,274 20°23'54"	0,297 0,282 20°23'16"		
40	x x_1 e													0,016 0,095 20°03'18"	0,026 0,131 20°04'38"	0,041 0,166 20°05'05"	0,058 0,188 20°07'16"	0,082 0,213 20°08'36"	0,108 0,225 20°09'40"	0,132 0,234 20°10'18"		

IV. TÁBLÁZAT

A szerszámalállítások értékei, amelyeknél a csúszás közel kiegyenlített ($\alpha = 15^\circ$ -os kapcsolószögnel)

$x = a$ szerszámalállítások összege $x_1 = a$ szerszámalállítás a kiskeréknél, $\varepsilon =$ kerékkapcsolószög

Szeniczai Lajos táblázata után, a Gépelemek tanszék számításai szerint

z_1	z_2	10	11	12	14	16	18	20	24	28	35	40	50	60	72	90	110	140	170	200	240	280
10	x	1,400	1,370	1,346	1,310	1,290	1,279	1,280	1,287	1,310	1,348	1,387	1,452	1,531	1,607	1,731	1,888	2,084	2,266	2,426		
	x_1	0,700	0,700	0,693	0,685	0,682	0,675	0,677	0,676	0,678	0,679	0,681	0,680	0,686	0,684	0,686	0,697	0,707	0,712	0,718		
	ε	28°08'	27°36'	27°08'	26°20'	25°43'	25°12'	24°45'	24°02'	23°28'	22°44'	22°20'	21°41'	21°12'	20°44'	20°14'	19°52'	19°25'	19°05'	18°49'		
11	x		1,343	1,321	1,272	1,251	1,236	1,231	1,238	1,243	1,283	1,368	1,378	1,450	1,533	1,653	1,777	1,959	2,118	2,277		
	x_1		0,672	0,673	0,658	0,653	0,653	0,650	0,656	0,656	0,661	0,662	0,663	0,667	0,671	0,677	0,676	0,692	0,687	0,693		
	ε		27°07'	26°40'	25°52'	25°16'	24°44'	24°19'	23°38'	23°04'	22°22'	21°58'	21°21'	20°54'	20°28'	20°00'	19°37'	19°11'	18°52'	18°37'		
12	x			1,292	1,240	1,210	1,199	1,188	1,184	1,185	1,223	1,246	1,303	1,377	1,451	1,563	1,680	1,846	2,101	2,146		
	x_1			0,648	0,640	0,641	0,637	0,636	0,634	0,627	0,636	0,638	0,642	0,654	0,658	0,611	0,637	0,665	0,674	0,670		
	ε			26°14'	25°27'	24°50'	24°20'	23°55'	23°14'	22°42'	22°01'	21°38'	21°02'	20°37'	20°12'	19°45'	19°23'	18°58'	18°40'	18°26'		
13	x				1,220	1,182	1,158	1,149	1,131	1,142	1,172	1,188	1,268	1,296	1,364	1,528	1,589	1,737	1,886	2,018		
	x_1				0,622	0,614	0,609	0,614	0,611	0,613	0,621	0,622	0,631	0,623	0,632	0,638	0,639	0,641	0,694	0,649		
	ε				25°08'	24°28'	23°58'	23°33'	22°52'	22°22'	21°42'	21°19'	20°46'	20°20'	19°56'	19°31'	19°10'	18°46'	18°29'	18°15'		
14	x				1,190	1,149	1,122	1,105	1,090	1,095	1,148	1,135	1,237	1,237	1,299	1,391	1,492	1,644	1,761	1,897		
	x_1				0,605	0,597	0,587	0,586	0,585	0,593	0,626	0,600	0,658	0,611	0,624	0,620	0,621	0,625	0,621	0,627		
	ε				24°44'	24°06'	23°36'	24°12'	22°32'	22°02'	21°23'	21°02'	20°28'	20°05'	19°42'	19°17'	18°57'	18°31'	18°18'	18°05'		
15	x					1,120	1,091	1,073	1,062	1,058	0,974	1,087	1,128	1,170	1,233	1,311	1,408	1,553	1,671	1,796	1,939	2,082
	x_1					0,577	0,566	0,567	0,573	0,576	0,489	0,583	0,589	0,587	0,595	0,595	0,599	0,599	0,603	0,605	0,607	0,603
	ε					23°46'	23°16'	22°52'	22°12'	21°44'	21°06'	20°45'	20°14'	19°50'	19°29'	19°04'	18°45'	18°24'	18°08'	17°56'	17°43'	17°33'
16	x					1,097	1,061	1,048	1,019	1,014	1,015	1,029	1,064	1,112	1,166	1,246	1,334	1,444	1,597	1,678	1,848	1,991
	x_1					0,545	0,545	0,548	0,552	0,557	0,555	0,559	0,559	0,540	0,578	0,555	0,584	0,572	0,546	0,578	0,599	0,600
	ε					23°28'	22°58'	22°34'	21°55'	21°26'	20°48'	20°28'	19°58'	19°36'	19°15'	18°52'	18°34'	18°13'	17°59'	17°46'	17°35'	17°26'
18	x						1,168	0,992	0,725	0,933	0,934	0,935	0,967	1,002	1,092	1,115	1,190	1,306	1,401	1,518	1,641	1,776
	x_1						0,649	0,511	0,395	0,590	0,458	0,517	0,528	0,531	0,533	0,540	0,542	0,548	0,548	0,534	0,558	0,570
	ε						22°25'	22°01'	21°22'	20°53'	20°18'	19°58'	19°35'	19°09'	18°50'	18°29'	18°12'	17°54'	17°41'	17°30'	17°19'	17°11'
20	x							0,724	0,838	0,868	0,858	0,853	0,874	0,903	0,939	0,997	1,060	1,165	1,255	1,449	1,468	1,536
	x_1							0,362	0,416	0,476	0,481	0,482	0,487	0,494	0,502	0,508	0,514	0,515	0,571	0,524	0,524	0,510
	ε							21°32'	20°53'	20°24'	19°50'	19°31'	19°04'	18°45'	18°27'	18°08'	17°52'	17°36'	17°24'	17°14'	17°05'	16°56'
22	x								0,845	0,811	0,791	0,779	0,764	0,817	0,859	0,876	0,932	1,040	1,104	1,194	1,294	1,437
	x_1								0,437	0,435	0,443	0,363	0,434	0,458	0,472	0,458	0,458	0,478	0,475	0,482	0,489	0,540
	ε								20°26'	19°58'	19°24'	19°05'	18°41'	18,23'	18°06'	17°48'	17°34'	17°20'	17°08'	17°00'	16°51'	16°44'
24	x								0,792	0,755	0,724	0,712	0,718	0,733	0,756	0,731	0,841	0,912	0,979	1,041	1,146	1,233
	x_1								0,395	0,400	0,407	0,406	0,416	0,424	0,426	0,403	0,432	0,439	0,437	0,440	0,456	0,459
	ε								20°02'	19°34'	19°00'	18°43'	18°19'	18°02'	17°47'	17°30'	17°18'	17°04'	16°54'	16°46'	16°39'	16°33'
27	x									0,685	0,631	0,604	0,608	0,626	0,627	0,672	0,676	0,743	0,798	0,842	0,917	0,980
	x_1									0,350	0,351	0,347	0,356	0,369	0,371	0,399	0,373	0,384	0,381	0,383	0,391	0,394
	ε									19,02'	18°27'	18°10'	17°48'	17°34'	17°19'	17°04'	16°53'	16°42'	16°34'	16°27'	16°21'	16°16'
30	x										0,556	0,529	0,510	0,502	0,513	0,545	0,576	0,599	0,637	0,692	0,751	0,801
	x_1										0,301	0,302	0,304	0,308	0,311	0,330	0,335	0,329	0,326	0,338	0,345	0,348
	ε										17°58'	17°41'	17°20'	17°06'	16°55'	16°43'	16°34'	16°23'	16°16'	16°11'	15°06''	16°02'
33	x											0,741	0,448	0,418	0,414	0,437	0,445	0,479	0,498	0,537	0,583	0,613
	x_1											0,380	0,254	0,256	0,264	0,264	0,282	0,285	0,277	0,286	0,291	0,284
	ε											17°30'	17°15'	16°54'	16°42'	16°32'	16°22'	16°14'	16°06'	16°00'	15°56'	15°48'

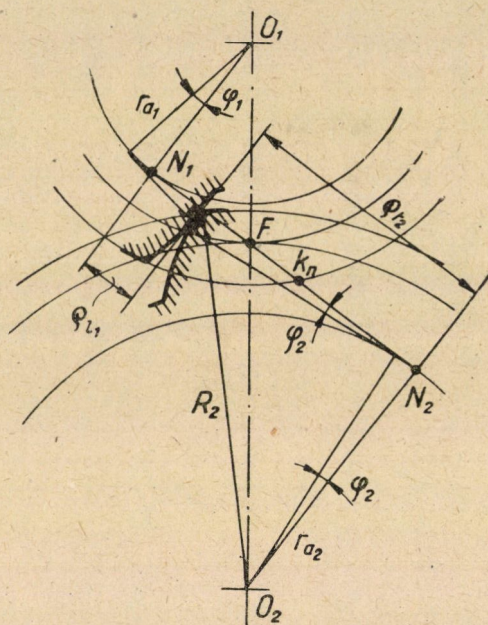
III. TÁBLÁZAT

A szerszámelállítások értékei tengelytávolság változtatása nélküli \pm helyesbítésnél, amelyeknél a csúszás kiegyenlített
($\alpha = 15^\circ$ -os kapcsolószögénél) Gépelemek tanszék számításai

$z_1 \backslash z_2$	30	33	36	40	45	50	60	72	90	110	140	170	210
15					0,5401	0,5569	0,5795	0,6083	0,6158	0,6270	0,6394	0,6452	0,6614
16					0,5119	0,5303	0,5563	0,5790	0,5955	0,6075	0,6211	0,6269	0,6341
17					0,4844	0,5029	0,5323	0,5577	0,5745	0,5883	0,6037	0,6148	0,6175
18					0,4573	0,4790	0,5095	0,5341	0,5551	0,5701	0,5907	0,5946	0,6013
19					0,4456	0,4541	0,4868	0,5123	0,5358	0,5518	0,5671	0,5783	0,5851
20				0,3723	0,4048	0,4301	0,4553	0,4924	0,5173	0,5343	0,5505	0,5611	0,5697
22				0,3175	0,3561	0,3841	0,4235	0,4538	0,4737	0,5008	0,5185	0,5309	0,5411
24			0,2281	0,2702	0,3104	0,3405	0,3838	0,4179	0,4490	0,4703	0,4904	0,5017	0,5175
27		0,1153	0,1580	0,2052	0,2476	0,2812	0,3328	0,3672	0,4026	0,4270	0,4390	0,4635	0,4767
30	0,0000	0,0502	0,0971	0,1455	0,1923	0,2290	0,2792	0,3217	0,3611	0,3884	0,4129	0,4285	0,4413
33		0,0000	0,0451	0,0944	0,1427	0,1795	0,2371	0,2815	0,3239	0,3520	0,3767	0,3964	0,4201
36			0,0000	0,0398	0,1039	0,1398	0,1992	0,2440	0,2897	0,3133	0,3477	0,3675	0,3825
40				0,0000	0,0509	0,0915	0,1491	0,2037	0,2468	0,2800	0,3122	0,3321	0,3461

A táblázat $x_1 = -x_3$ értékeit tartalmazza.

viszonyokat biztosító fogaskerekeket készíteni anélkül azonban, hogy ismerték volna az eljárásnak az elméletét. Jelenleg a szovjet irodalomban már rendelkezésünkre állnak azok a táblázatok, amelyekből kiegyenlített csúszásra tudjuk elvégezni a helyesbitést. A J. I. *Diker* által kidolgozott CKBR (Centralno Konsztruktorszkovo Büro Reduktorosztrojenija) szovjet helyesbitési rendszer a szabványos 20° -os kapcsolószögre tartalmazza a szerszámállítások értékeit, amelyeknél a csúszás kiegyenlített; kompenzált és általános fogazásra egyaránt (I. I. és II. táblázatokat). Ilyen táblázatok azonban 15° -os kapcsolószögre vonatkozólag nem álltak rendelkezésre, ezért szükségesnek látszott kidolgozni a szerszámállítások táblázatait a kiegyenlített csúszás esetére 15° -os kapcsolószögnél is, mivel fogazóiparunkban a 15° -os kapcsolószögű szerszámok is hasz-



1. ábra. Evolvens darabok érintkezése

nálában vannak. A kompenzált fogazásra vonatkozólag a későbbiekben ismertetett számítási eljárással értékeltük ki a szerszámállításokat, általános fogazásra pedig *Szeniczei* Lajos által rendelkezésünkre bocsátott táblázat felhasználásával dolgoztunk (I. III. és IV. táblázatokat).

A kiegyenlített csúszásra történő helyesbitésnél a célunk az, hogy a kis kerék fogláb részét koptató relatív csúszás ugyanakkora legyen, mint a nagy kerék láb részénél lévő relatív csúszás. Relatív csúszáson az érintkezésben lévő fogprofilrészek csúszással megtett úthosszának a gördüléssel megtett úthosszhoz való viszonyát értjük. Az 1. ábrán a kis kerék láb részénél van feltüntetve az

evolvens darabok érintkezése. Az ábra alapján a relatív csúszás képletben kifejezve :

a kis kerék lábrészénél :

$$\eta_1 = \frac{\rho_{f2} \varphi_2 - \rho_{l1} \varphi_1}{\rho_{l1} \varphi_1} = \frac{\rho_{f2} \varphi_2}{\rho_{l1} \varphi_1} - 1$$

a nagy kerék lábrészénél :

$$\eta_2 = \frac{\rho_{f1} \varphi_1 - \rho_{l2} \varphi_2}{\rho_{l2} \varphi_2} = \frac{\rho_{f1} \varphi_1}{\rho_{l2} \varphi_2} - 1$$

A képletekben :

ρ_{f2} a nagy kerék fejkörénél lévő görbületi sugar.

ρ_{f1} a kis kerék fejkörénél lévő görbületi sugar.

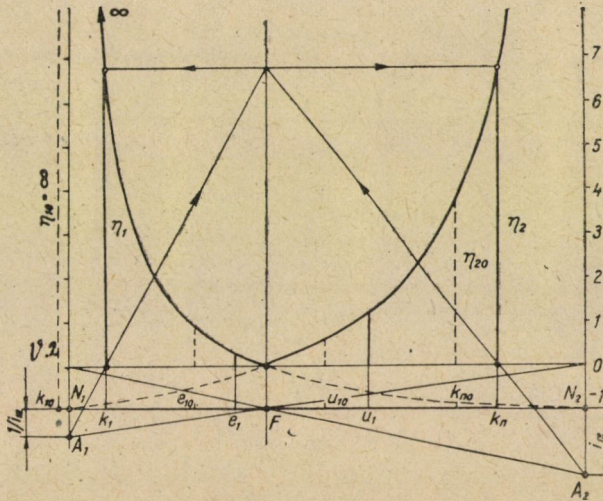
ρ_{l2} a nagy kerék lábrészén lévő utolsó érintkezési pont görbületi sugara.

ρ_{l1} a kis kerék lábrészén lévő utolsó érintkezési pont görbületi sugara.

A $\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = i_{12}$ módosítás bevezetésével :

$$\eta_1 = \frac{\rho_{f2}}{\rho_{l1} i_{12}} - 1 \quad \text{és} \quad \eta_2 = \frac{\rho_{f1} i_{12}}{\rho_{l2}} - 1 \quad (1)$$

Evolvens fogazásnál a relatív csúszási görbék egyenoldalú hiperbolák,



2. ábra. Csúszási hiperbolák szerkesztése

amelyeknek megszerkesztése a hiperbola aszimptoták találkozási pontjainak az ismeretével könnyen elvégezhető. A 2. ábra $z_1 = 13$, $z_2 = 21$ fogú, $\alpha = 20^\circ$ -os kapcsolószögű kerékpárnál mutatja a csúszási hiperbolákat, szakadozottan bejelölve az elemi fogazás ordinátáit a $k_{10} k_{n0}$ kapcsolóhosszon, teljes vonallal

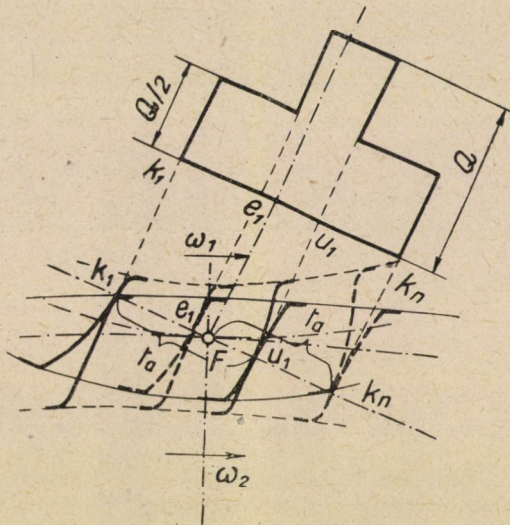
a $\overline{k_1 k_n}$ kapcsolóhosszon kompenzált fogazásnál, kiegyenlített csúszásra helyesbítve az I. táblázat szerinti $x_1 = 0,264$ értékkel. A hiperbolák a vízszintestől $\frac{1}{i_{12}}$ távolságban lévő A_1 , illetve az i_{12} távolságban lévő A_2 pontokból szerkeszthetők meg, mint egyenoldalú hiperbolák. A kiegyenlített csúszásra való méretezésnél az a célunk, hogy a kapcsolódás kezdetén lévő k_1 , illetve a kapcsolódás végén lévő k_n pontokban a csúszási ordináták egyenlők legyenek, vagyis az $\eta_1 = \eta_2$ helyzet álljon elő. Ezt a szerszámelállítás megfelelő megválasztásával tudjuk elérni, ami az elemi fogazásnak megfelelő $k_{10} k_{n0}$ pontoknak a $k_1 k_n$ helyzetbe való odébbtolásával jár. Ezt a helyzetet a csúszásdiagrammon keresztül próbál-gatással is meg lehet állapítani. A hiperbolák felrajzolása nélkül is megállapíthatjuk szerkesztéssel az η_1 és η_2 csúszási ordinátákat a szélső kapcsolat k_1 és k_n pontjaiban olyan módon, hogy az A_1 , illetve A_2 pontokból a k_1 és k_n függőlegeseknek a 0 jelzésű vízszintes vonallal való metszéspontjain át sugarakat fektetünk és a sugaraknak az F függőlegesével való metszéspontjait visszavetítjük a k_1 és k_n függőlegeseire. Ezt a szerkesztést a 2. ábrán a nyilakkal jelzett szerkesztési vonalak mutatják.

$i = 1$ módosítás esetén, vagyis, ha a két kerék egyenlő fogszámú, a csúszási hiperbolák szimmetrikusak. Minél nagyobb a módosítás, vagyis minél nagyobb a különbség a kis kerék és a nagy kerék fogszáma között, annál inkább eltolódik egymáshoz képest a két hiperbola alakja oly módon, hogy a kis kerék csúszási hiperbolája meredekebb, a nagy keréké pedig laposabb görbe lesz, a nagy kerék ∞ fogszáma esetén, vagyis fogaslécnél a jobboldali hiperbola egyenessé fajul. Ha a k_1 pont az N_1 pont közelébe kerül, akkor a csúszás a kis kerék lábrészénél igen nagy értékre emelkedik. Elméletileg ∞ nagy értéket vehet fel akkor, ha a k_1 beleesik az N_1 pontba, vagy azon kívül esik, vagyis ha az alámetszésnél vagyunk. Ebből a csúszási ábrából leolvashatjuk, hogy a DIN szerinti helyesbítésnél milyen hátrányos a helyzet, mivel a csúszás a kis kerék lábrészénél ∞ értékű lehet. A kiegyenlített csúszásra való helyesbítésnél a szerszámelállítások értékének nagyobboknak kell lenni, mint amennyi az alámetszés elkerüléséhez szükséges. Az alámetszés elkerüléséhez szükséges x_{1t} szerszámelállítás, mint megengedhető minimum tekintendő. A felvett 13 fogú keréknél ez az érték teljes helyesbítésnél: $x_{1t} = \frac{17-13}{17} = 0,235 < 0,264$, ez utóbbi érték a ki-

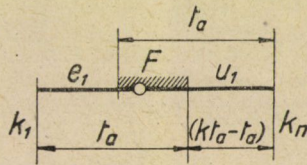
egyenlített csúszásnak megfelelő szerszámelállítás. Kopás szempontjából kedvezőbb volna az olyan helyesbítés alkalmazása, amelynél a nagy kerék lábrészénél a módosítás arányában volna nagyobb a csúszás ordinátája. Ehhez azonban *olyan nagy késkihúzást kellene alkalmazni, amelynél a kis keréken a fog kihegyeződése hamarabb következne be*, ami nem célszerű. Egyébként is a kiegyenlített csúszásra való helyesbítésnél a nagyobb szerszámelállítás miatt a fog kihegyeződése hamarabb következik be. Ha a nagy kerék

gyengébb minőségű anyagból készül, akkor egyébként sem előnyös a módosítás arányában venni nagyobb csúszási értéket a nagy kerék lábrészén.

Mivel egyenes fogazású homlokkerekekénél a κ kapcsolószám a szabványos 20° -os kapcsolószögnél az $1 < \kappa < 2$ határok közé esik, ezért a fejkörbéli pontok érintkezésénél egy másik fogpár is még kapcsolódásban van, amelyik az előzőtől az alaposztásnak megfelelő t_a távolságban van. A 3. ábra tünteti fel



3. ábra. Egy fogpár-kapcsolás határai



4. ábra. Az egy fogpár-kapcsolás nagysága

a kapcsolóvonal mentén az egyes jellegzetes helyzeteket. A terhelés tehát ingadozik egypár és kétpár érintkező fog között. Csupán az $e_1 u_1$ szakaszon van kapcsolódásban egy fogpár, vagyis ezen a szakaszon működik csak a fogak felületére a teljes Q nyomóerő, az ezen kívüleső szakaszokon merev fogakat és geometriailag pontosan elkészített fogakat feltételezve fele-fele arányban, a valóságban a fogak deformációjától függő arányban két fogon oszlik meg az egész terhelés. A $k_1 k_n$ kapcsolóhossz a kapcsolószámmal és az alaposztással

fejezhető ki, vagyis $\overline{k_1 k_n} = \kappa t_a$ nagyságú. A 4. ábra szerint az egy fogpárkapcsolás nagysága :

$$\overline{e_1 u_1} = t_a - (\kappa t_a - t_a) \text{ ebből :}$$

$$\overline{e_1 u_1} = t_a (2 - \kappa) .$$

Ha most a csúszási diagrammban azt vizsgáljuk, hogy az egy fogpárkapcsolás kezdetén és végén mekkorák a csúszási ordináták, akkor megállapíthatjuk, hogy a kis keréken lévő hiperbola meredeksége miatt a kis keréken kisebb, a nagy keréken pedig nagyobb értékű a relatív csúszás ordinátája, ami a módosításnak megfelelő értelemben adódik, vagyis a kevesebbszer igénybevett nagy kerék lábrészén mutatkozik a nagyobb csúszási ordináta. Így a kiegyenlített csúszásra való méretezés az áttétel arányában való csúszási helyesbítés is magában foglalja bizonyos mértékig.

Az egyenletekben feltüntetett csúszási értékek számítással is meghatározhatók. A fejkörök és az alapkörök sugarainak és a tengelytávnak az ismeretében ugyanis az 1. ábra szerint felírhatjuk a görbületi sugaraknak az alábbi képleteit :

A kis kerék lábrészénél :

$$\varrho_{f2} = \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2} \quad \varrho_{t1} = a_0 \sin \alpha - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2} .$$

A nagy kerék lábrészénél :

$$\varrho_{f1} = \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} \quad \varrho_{t2} = a_0 \sin \alpha - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} .$$

Ezeket az értékeket az (1) képletbe behelyettesítve a csúszások kiszámíthatók :

$$\eta_1 = \frac{\sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2}}{i_{12} (a_0 \sin \alpha - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2})} \cdot 1 \quad \eta_2 = \frac{i_{12} \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2}}{a_0 \sin \alpha - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2}} \cdot 1 .$$

Kiegyenlített csúszásnál : $\eta_1 = \eta_2$ vagyis az 1-gyel való egyszerűsítés után :

$$\frac{\sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2}}{i_{12} (a_0 \sin \alpha - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2})} = \frac{i_{12} \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2}}{a_0 \sin \alpha - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2}} . \quad (2)$$

Ebből az egyenletből értékelhetjük ki azokat a szerszámelállításokat, amelyek a csúszás kiegyenlítéséhez szükségesek. Kompenzált fogazásnál, ha a kis keréken $+x_1$, a nagy keréken pedig ugyanakkora, de negatív, vagyis $-x_1$ szerszámelállítást alkalmazunk, az R_1 és R_2 fejkörsugarak a következők :

$$R_1 = [(0,5 z_1 + 1) + x_1] m \quad R_2 = [(0,5 z_2 + 1) - x_1] m .$$

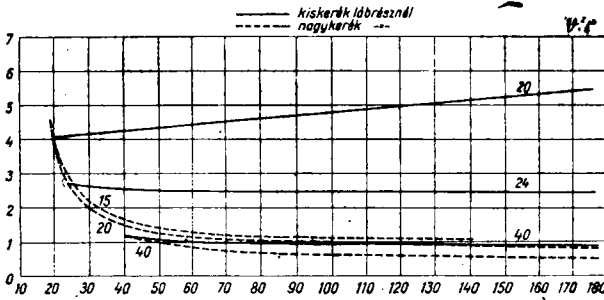
Az r_{a1} és r_{a2} alapkör sugarakat és az a_0 tengelytávolságot is a fogszámokkal és a modulussal fejezhetjük ki, utána az egyenlet átrendezésével, a modulussal egyszerűsítve és a négyzetre emelés elvégzése után a következő egyenletet kapjuk :

$$\frac{\sqrt{x_1^2 - (z_2 + 2)x_1 + (0,5z_2 + 1)^2 - (0,5z_2 \cos \alpha)^2}}{\sqrt{x_1^2 + (z_1 + 2)x_1 + (0,5z_1 + 1)^2 - (0,5z_1 \cos \alpha)^2}} = \quad (3)$$

$$= \frac{i_{12}^1 0,5(z_1 + z_2) \sin \alpha - i_{12}^1 \sqrt{x_1^2 - (z_2 + 2)x_1 + (0,5z_2 + 1)^2 - (0,5z_2 \cos \alpha)^2}}{0,5(z_1 + z_2) \sin \alpha - \sqrt{x_1^2 + (z_1 + 2)x_1 + (0,5z_1 + 1)^2 - (0,5z_1 \cos \alpha)^2}}$$

Adott z_1 és z_2 fogszámoknál és kapcsolószögénél az x_1 szerszámelállítás értéke az ismeretlen. Ezt grafikus úton célszerű meghatározni. Felvesszünk különböző x_1 értékeket, kiszámítjuk az egyenlet baloldalát és jobboldalát. A (3) egyenlet baloldalára kiszámított értékek diagrammban felrakva közel egyenest adnak, ami a diagramm megrajzolását megkönnyíti. A baloldali és jobboldali kiszámított értékeket külön-külön az x_1 függvényében diagrammokban felrakva a két görbe metszéspontjánál kapjuk meg azt a keresett x_1 szerszámelállítást, amelyiknél a csúszás kiegyenlített, kompenzált fogazás esetében. Ezzel a számítási módszerrel értékeltük ki a III. táblázatban szereplő szerszámelállítások értékeit.

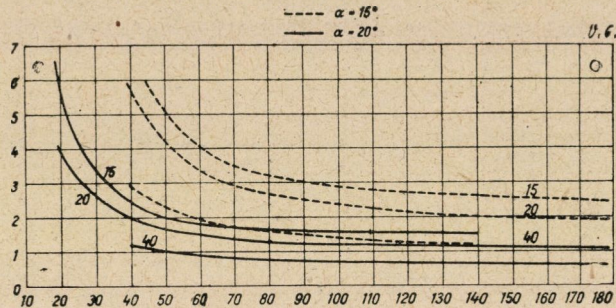
Összehasonlításképpen kiszámítottuk a *relatív csúszások* értékeit az *elemi fogazás* és a *kompenzált fogazások* tartományában. A kiszámított értékeket az 5. és 6. ábrák tüntetik fel. Az abszcissa a nagykerék fogszáma, a vonalakra írt számok pedig a kis kerék fogszáma, amelyet a kis kerék fogszáma tüntetik fel. Az 5. ábra $\alpha = 20^\circ$ -os



5. ábra. Elemi fogazás csúszásértékei $\alpha = 20^\circ$ -nál

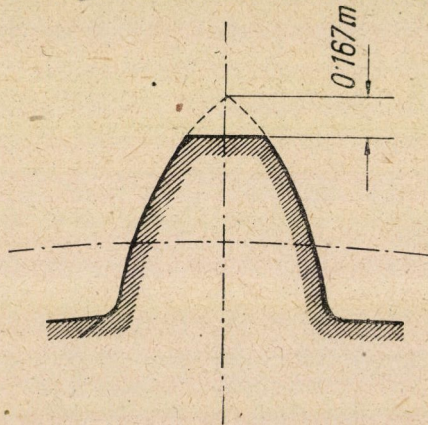
kapcsolószögénél az elemi fogazás esetében mutatja a csúszásokat, teljes vonallal a kis kerék lábrészén, szakadozott vonallal pedig a nagy kerék lábrészén. A nagymértékű, kisebb kerekeknél végtelen nagyságú csúszásértékek miatt a diagramm a kis kerék lábrészén lévő csúszásokat csak 20 fogtól tünteti fel.

A 6. ábra a kiegyenlített csúszásra helyesbített kompenzált fogazású kerekéknél mutatja a csúszások értékeit, szaggatottan a 15° -os és teljes vonallal a 20° -os kapcsolószög esetében. Látható, hogy a 20° -os kapcsolószög jóval kedvezőbb a kiegyenlített csúszás szempontjából, mint a 15° -os kapcsolószög.



6. ábra. Csúszásértékek kompenzált fogazásnál

Nagymértékű szerszámelállítással a fog kihegyesedése áll elő. Eddig a határig nem szabad elmenni a szerszámelállítással, mert edzett és cementált kerekéknél a fog hegye letöredezne. Ez szabja meg tehát a fogszámok alsó határát. Szovjet irodalmi adatok szerint is az edzéshez, illetve a cementáláshoz szükséges fejszalag kielégítő, ha a 7. ábra szerinti csúcsmagasság a fogkihegyeződéstől számítva kb. 0,167 m értékű.



7. ábra. Fejszalagszélesség legkisebb értéke

Az alámetszésen és a csúszáson kívül a fogaskerekek ellenőrzendők az *interferencia* szempontjából is. Az interferencia egyik jelensége az, amikor az evolvens foggörbét a lábrészen a fogazószerszámi nem készíti el a szükséges mélységig. Ekkor párosítás után az ellenkerék fejkörbéli pontja számára nem

lesz meg a megfelelő evolvenspont, mivel az evolvens feljebb fejeződik be és így az ellenkerék fejkörbéli pontja a lábrészen lévő átmeneti, hurkolt görbével kerül érintkezésbe. Itt azonban már vastagabb a fog, ami azután a kerék beszo-
rulását okozza. Ilyen interferencia fordul elő külső fogazásnál akkor, amikor kis fogszámú metszőkerékkel készítünk egy olyan fogaskereket, amelyeknek a párosítás után a metszőkeréknél nagyobb fogszámú kerékekkel kell együttmű-
ködni. Ebben az esetben a metszőkerék által létrehozott talpkör kijjebb feks-
zik, mint a nagy fogszámú ellenkerék által megkövetelt legbelső működő
profilpont.

Fogasléc szerszámnál egynél nagyobb fajlagos szerszámelállításonál és negatív szerszámelállításonál kell ügyelni arra, hogy interferencia ne fordul-
jon elő. Belső fogazásnál pedig az interferencia fentiekén kívül ellenőrizendő
még a belső fogazású kerék fejrészénél is részben azért, hogy fogazásnál a metsző-
kerék el tud-e fordulni a fejnél lévő foggörbe részek egymásba hatolása nélkül,
illetve, hogy párosítás után a kis kerék el tud-e fordulni a nagy kerék belsejében.
Ez az interferencia akkor adódik elő, hogyha a két fogaskerék, vagy a nagy kerék
és az azt készítő metszőkerék fogszámkülönbsége kicsiny, ha pl. elemi fogazásnál
ez a különbség 7—9 között van, vagy annál kisebb.

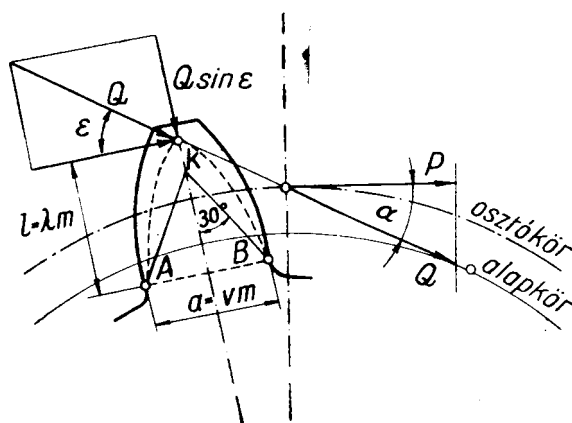
A fogaskerekek tervezésénél, szilárdsági méretezésénél a főfeladat az, hogy
az energia átszarmaztatását minél jobb hatásokkal, a minimális méretekkkel
tudjuk megvalósítani. A fogaskerekek szerkesztése és méretezése számára a
legtöbb ismeretet a gyakorlatból és az ipari alkalmazásokból nyertük. Így például
az automobil- és a repülőgépipar a legtöbb adatot szolgáltatja a fogaskerekeknél
a tervezés és kutatás számára. Mindkét gépnél fennáll a minimális méretekre
irányuló követelmény és ezeknél a gépeknél egyforma méretű fogaskerekek
nagy mennyiségben kerülnek alkalmazásra. Legújabbán pedig a gázturbina
hozott létre új fogazási problémákat, amelyek jóval túlnyúlnak a terhelés,
főleg azonban a sebesség dolgában azokon a határokon, ameddig ezideig fogas-
kerekeket alkalmaztunk. Ezeknél igen nagy fordulatszámú áttételek szükségesek,
amelyek a zajtalan járás és a dinamikus igénybevétel szempontjából fokozott
követelményeket állítanak elének.

A fogaskerekek szilárdsági méretezése általában két fő szempont szerint
történik, az egyik a fogtő hajlítószilárdságának a tekintetbevétele, a másik
a fogaskerék felületének nyomással szemben való ellenállóképessége, vagyis
a fog felületi szilárdsága.

A hajlítószilárdságra való méretezésnél a 8. ábra szerint a támadóerőt a
teljes Q fognyomáshak megfelelő értékben a fog legkülsőbb pontján hatónak
tétélezhetjük fel. Ezen a helyen a kapcsolóvonal irányában működő Q erőhatás
két összetevőre bontható fel, az egyik σ_2 feszültséggel nyomásra, a másik σ_1
feszültséggel hajlításra veszi igénybe a fogtőt. A fogtő legkisebb veszélyes kereszt-
metszete a fogba beírt egyenszilárdságú parabola érintkezési pontjánál levő

AB hosszúság, a parabola megszerkesztése helyett jó közelítésképpen a fogközéphez 30° alatt húzott vonalak érintkezési pontjainál vehetjük fel a fogtő veszélyes keresztmetszetét. Az AB fogtőméret a modulustól független v tényező felvételével: $a = vm$ nagyságú, a hajlítás karja hasonlóképpen fejezhető ki, vagyis $l = \lambda m$ értékű. A foghossz mérete: b . Az egyes feszültségek összegzésével a σ_m megengedhető igénybevétel:

$$\sigma_m = \sigma_1 \pm \sigma_2 = \frac{Q \cos \varepsilon l}{\frac{a^2 b}{6}} \pm \frac{Q \sin \varepsilon}{a b}$$



8. ábra. Igénybevétel a fejkörnél támadó erővel

A Q fognyomás a kapcsolóvonal mentén állandó értékű, az F ponton levő P kerületi erő: $P = Q (\cos \alpha)$ ennek behelyettesítésével:

$$\sigma_m = \frac{P}{b m} \left(\frac{6 \lambda \cos \varepsilon}{v^2 \cos \alpha} \pm \frac{\sin \varepsilon}{v \cos \alpha} \right) \quad (4)$$

A zárójelben levő értéket y -al jelöljük és fogalaktényezőnek nevezzük. Ez a fogalaktényező a modulustól független érték. Ezzel:

$$\sigma_m = \frac{P}{b m} y. \quad (5)$$

Egy bizonyos σ_m megengedett feszültség mellett a fog által átszarmaztatható kerületi erő:

$$P = \frac{b m}{y} \sigma_m. \quad (6)$$

Mivel a fog alakja a fogszámtól és a szerszámelállításoktól függően erősen változik, azért a fogtőnek a méretét, illetve a fogtőmérettel összefüggésben levő y fogalaktényezőnek a kiszámításához szükséges értékeket minden fog-

számhoz és késkihúzáshoz külön-külön, szerkesztéssel kell meghatározni. Ezeket a fogalaktényezőket nagyméretű, $m = 100$ mm-es nagyságú fogaknak a felrajzolásával állapítottuk meg a különböző fogszámoknak és szerszám-elállításoknak megfelelően.

Abban az esetben, amikor a kerék nagyságának és súlyának a kérdése nem olyan kritikus, a fenti méretezési mód, amelynél feltételeztük, hogy az egész terhelés a fog fejkörbéli pontjánál a teljes értékkel lép fel, bizonyos biztonságot ad a méretezésnél és az általános gépesítésben, amelybe a használt fogaskerekek legnagyobb tömege tartozik, kielégítő ez a módszer. A felületi hőkezeléssel, cementálással, nagyfrekvenciás edzéssel azonban a fogfelület teherhordó képessége a felület keménységével négyzetesen növekszik anélkül azonban, hogy a lábtő ellenállóképessége hajlítással szemben ugyanolyan arányban növekedne. Az ilyen nagy felületi terhelésű kerekeknél a fogtő szilárdsági ellenőrzését a valóságos viszonyoknak jobban megfelelő módszerrel kell végezni és minden lehető meg kell tenni arra, hogy a lábtő ellenállóképességét megnöveljük. Ha ugyanis a fog hajlító igénybevételénél a 3. ábra szerint figyelembe vesszük azt, hogy a kapcsolódás kezdeténél voltaképpen két fogpár van kapcsolódásban, vagyis nem hat a teljes Q terhelés, akkor a fenti hajlítószilárdsági méretezési módot már túlságosan óvatosnak kell tekintenünk. A nagy pontossággal megmunkált kerekeknél a teljes terhelést nem hordhatja csupán egy fog a tetején, mert egy kis elasztikus deformáció a még kapcsolásban lévő előző párt is arra kényszeríti, hogy vegyen részt a terhelés átszarmaztatásában.

A fejkörbéli ponton támadó teljes erővel való méretezési mód különösen akkor kifogásolható, hogyha a fogazást *profilnyeséssel* készítjük, amikor is arra törekszünk, hogy a fogfejkörnél 0 erőhatással lépjen a fog a kapcsolódásba, tehát hajlítónyomatékot nem fejthet ki. Ezért az egy fogpár-kapcsolás kezdeténél levő e_1 pontnál kell vizsgálni a viszonyokat, ahol már a teljes Q nyomóerő működik a fogra. A kapcsolóvonal irányában ható Q erő végig állandó értékű az egy fogpár-kapcsolódás alatt. A 9. ábra szerint a Q erő ismét felbontható komponenseire. A fog vastagsága ezen a helyen már nagyobb méretű, úgyhogy a függőleges komponens által okozott hajlító igénybevétel sem hanyagolható el, aminek a karja egyenlő a fél fogvastagsággal a támadási helynél. A fogtőben ébredő csúsztató feszültséget kis értéke miatt elhanyagolhatjuk.

A függőleges komponens által okozott hajlítási feszültség értéke levonásba hozandó. A (4) képlet tehát ezzel a taggal módosul. Ha a hajlító igénybevételek karjait $l_1 = \lambda_1 m$ és $l_2 = \lambda_2 m$ alakban fejezzük ki, akkor a σ_n feszültség a következő képletből számítható:

$$\sigma_n = \frac{P}{b m} \left(\frac{6 \lambda_1 \cos \varepsilon}{v^2 \cos \alpha} - \frac{6 \lambda_2 \sin \varepsilon}{v^2 \cos \alpha} \pm \frac{\sin \varepsilon}{v \cos \alpha} \right). \quad (7)$$

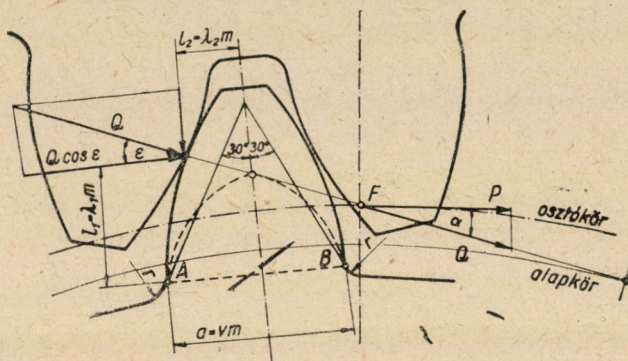
A zárójelben lévő érték, amit y_1 -gyel jelöltünk, az egy fogpár-kapcsolásnál használandó fogalaktényező, az értéke a teljes fognak nagyméretben való

megszerkesztése után rajzból állapítható meg. Az utolsó tagnál a $+$ érték a nyomott oldalra, a $-$ érték pedig a húzott oldalra vonatkozik. Az ε az erő támadási pontjánál levő evolvensszög.

Az y_1 fogalaktényezővel:

$$\sigma_n = \frac{P}{b m} y_1. \quad (8)$$

A fogalaktényezővel az (5), illetve a (8) képlettel meghatározott feszültséget a foglábánál csak névleges feszültségnek kell tekintenünk. Ismételt igénybe-



9. ábra. Igénybevétel az egy fogpár-kapcsolás kezdetén támadó erővel

vételnél, aminek a fogaskerék foga is ki van téve, ami minden körülfordulásnál váltakozva szenved igénybevételt 0 és $+$ értékek között, számításba kell venni a fogtőnél levő hirtelen keresztmetszetváltozás feszültséggyűjtő hatását is, amit egy formatényezőnek az alkalmazásával végezhetünk el. A formatényező értékének meghatározására polarizált fényel végeztek optikai feszültségvizsgálatokat olyan fogaskerék kismintákon, amelyeknél a foglábban levő feszültségtorlódást lehetett kiértékelni. Ezen vizsgálatok eredményeképpen az α_k formatényezőre képletet állítottak fel. Ha az átmeneti sugarat a foglábánál r -rel, a fogtő vastagságát az ábra szerint a -val, a Q erő támadási pontjának távolságát ettől a fogtő keresztmetszettől l -l jelöljük, akkor $\alpha = 20^\circ$ -os kapcsolószögre a következő képlet használható:

$$\alpha_k = 0,18 + \left(\frac{a}{r}\right)^{0,2} \left(\frac{a}{l}\right)^{0,4}. \quad (9)$$

Az l helyébe a számítási eljárásnak megfelelően vagy a fejkörbeli támadási pontnak, vagy az egy fogpár-kapcsolás helyénél levő támadási pontnak a magassága helyettesítendő be. Az α_k formatényezőtől kívül a fogazás felületi egyenetlenségeire vonatkozólag 1,25 nagyságú tényező vehető számításba.

A fog lábrészénél megengedhető hajlító feszültségek megállapítására kifáradási próbákat végeztek olyan módon, hogy egy bizonyos kisebb és nagyobb értékű terhelő erőhatások között Amsler-pulzátorral váltakozva vették igénybe különböző anyagokból készített fogaskereknek egy fogát. Ezzel a vizsgálattal megállapították a fogtő kifáradási határát, illetve a különböző anyagoknak megfelelően felvették a Wöhler-féle kifáradási görbéket. A pulzátorral elvégzett vizsgálatokat fogaskerek terhelés alatti futtatási kísérleteivel is ki kell egészíteni. A járulékos dinamikus terhelések ugyanis, amelyek a foghibákból és elasztikus alakváltozásokból erednek, csak a valóságos fogaskerekkel végzett járatási vizsgálatoknál jelentkeznek. Ezek a kísérleti adatok lehetővé teszik a fogaskerek hajlítószilárdságára való méretezését a kifáradási határ tekintetbevételével. A fogtő ismételt hajlítására megállapított σ_{hlw} kifáradási határértékeit az V. táblázat tartalmazza.

Kifáradásra a legnagyobb helyi húzófeszültség veszélyesebb, mint a nyomó igénybevétel. Hogy a kifáradásból eredő törést elkerüljük, a legnagyobb helyi feszültséget az anyag kifáradási határa alatt kell tartani. A névleges feszültségnek az α_k tényezővel és a felületi egyenetlenségre megadott tényezővel megnövelt értékének kell kisebbnek lenni, mint az V. táblázatban levő feszültség, vagyis

$$1,25 \alpha_k \sigma_n < \sigma_{hlw} .$$

Az egyenlőtlenség jobboldalát viszonyítva a baloldalon kiszámított értékhez, megkapjuk a valóságos biztonsági tényezőt. Ennél a biztonsági tényezőnél kell számításbavenni a profilhibából és egyéb okokból eredő dinamikus igénybevétel okozta többletterhelést is.

A fogtőnél fellépő feszültségtorlódást csökkenteni lehet a fog átmeneti részének a csiszolásával, illetve polírozásával. Erre külföldön újabban újfajta csiszoló- és lapoló-gépek készülnek. Használatos módszer még a fog felületének acélsöréttel való megfűvése és ilyen módon való tömörítése is. Ez az eljárás aránylag olcsó, gyors és nagyon hatásos a fogtő kifáradási határának, illetve élettartamának az emelésére. Mivel a fogtő feszültséggyűjtő hely, ezen a részen kerülni kell az olyan megmunkálást, ami mély megmunkálási nyomokat, karcokat hagy maga után, különösen az ötvözött acélanyagoknál, amelyek a feszültséggyűjtő hatásra jóval érzékenyebbek, mint a szénacélok. A fogtő szilárdsága szempontjából tehát helytelenítendő az olyan megmunkálási eljárás, amelynél a MAAG-fogazószerszám sarkait lekerekítés helyett sarkos letöréssel alakítják ki. Az ilyen kiképzésű MAAG-kés az előtolás egyes értékeinek megfelelő lépcsős kiképzésű lábrészt hagy maga után a 10. ábra baloldala szerint, amelyek az éles szögletei feszültségtorlódás szempontjából hátrányosak.

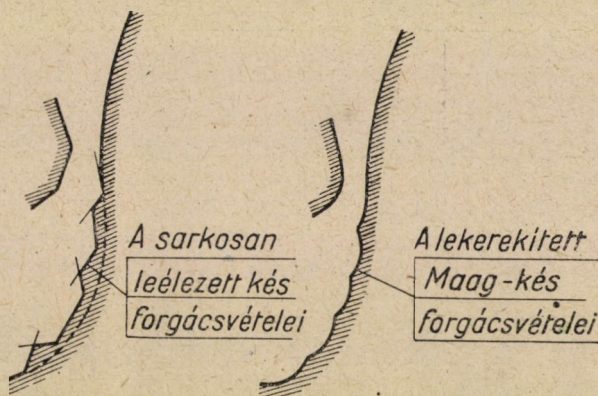
A fogaskerek fogainak a használhatatlanná válása a túlságos hajlító igénybevételtől származó kifáradási fogkitörésen kívül a fog felületének a kifáradásából eredő kipattogzás, végül a kopás okozta felületi berágódások miatt állhat elő. A *felület berágódása* megfelelő edzési eljárással, azonkívül pontos

V. TÁBLÁZAT

A n y a g							F o g a s k e r é k			
Sorszám	Megnevezés	Szabványos jelölés	Régi, az iparban ritkán használt jelölés	Szakítószilárdság σ_B kg/mm ²	Kifáradási határ ismételt hajlításra σ_{hw} kg/mm ²	Brinell keménység a		Fogó kifáradási határa ismételt hajlításnál σ_{hlw} kg/mm ²	Felületi nyomás	
						magban H_B kg/mm ²	felületen H_B kg/mm ²		Palástnyomás tényező kifáradási határa k_D kg/mm ²	Hertz feszültség kifáradási határa σ_{HD} kg/mm ²
1	Öntöttvas	Öv 18		18	9	170		5,0	0,16	34,2
2		Öv 26		26	12	235		6,7	0,27	44,4
3	Acélöntvény	Ac 50		50	20	150		16	0,183	36,6
4		Ac 60		60	42	175		19,5	0,25	42,8
5	Ötvözetlen szerkezeti acél edzés nélkül	A 42,11		42	20-24	125		18	0,17	35,3
6		A 50,11		50	23-28	150		21	0,25	42,8
7		A 60,11		60	28-33	180		23,5	0,33	49,2
8		A 70,11		70	33-40	208		27	0,43	56,1
9	Nemesíthető elektrokarbon acél	Ac 25,61		47-55	22-27	140		20,5	0,21	39,2
10		A-35,61		55-65	27-30	165		23	0,27	44,5
11		Ac 45,61		65-75	30-34	185		25,5	0,34	49,9
12		Ac 60,61		75-90	34-41	220		28,5	0,48	59,3
13	Nemesíthető ötvözött acél	Cr 135	Vc 135	72-90	36-44	270		33	0,79	67,5
			ciánfürdőben edzve				460 | 550	36	3,27	154,6
14		Ms 135	VMs 135	80-85	38-46	290		34	0,91	81,5
			ciánfürdőben edzve				470 | 550	37,5	3,27	154,6
15		Cr Mo140	VCMo 14	95-110	46-54	300		35	1,00	85,7
			ciánfürdőben edzve				480 | 570	42	3,25	14,4
16		CrNi 15,69	VCN 15	60-85	30-40	300		30	0,9	81,3
			ciánfürdőben edzve				360 | 440	36	1,96	120,0
17		CrNi 25,69	VCN 25	80-95	40-45	320		33	1,03	88,2
			ciánfürdőben edzve				380 | 470	40	2,2	127,0
18		CrNi 35,69	VCN 35	90-105	45-50	360		35	1,3	97,8
			ciánfürdőben edzve				430 | 530	42	2,8	143,6
19	CrNi 45,69	VCN 45	100-120	50-70	400		36,5	1,73	113,0	
		ciánfürdőben edzve				500 | 590	43	3,75	166,0	
20	Betétben edzhető elektrokarbonacél	Ac 10,61		45-60	25	170	590	23	3,55	161,8
21		Ac 16,61		50-65	27	190	600	25	3,66	164,0
22	Betétben edzhető ötvözött acél	Cr 80	EC 80	80-100		270	600	38	3,96	170,5
23		Cr 100	EC 100	100-130		360	620	43	4,23	176,5
24		Ni 15,68	EN 15	60-80		200	600	30	3,96	170,5
25		CrNi 25,68	ECN 25	80-110		265	614	36	4,15	174,5
26		CrNi 35,68	ECN 35	90-120		300	620	40	4,3	178,0
27		CrNi 45,68	ECN 45	120-140	50	400	640	43,5	4,5	182,0
28			15CrNi6	90-120		310	600	40	3,96	170,5
29			15CrNi8	120-145		400	620	43	4,23	176,5
30			ciánfürdőben edzve	155-180		460	600	39	3,96	170,5
31	Javítható acél, láng vagy ind. edzéssel		CK 53	90		270	640	37	4,45	181,0
32		Ms 135	VMs 135	90		270	595	39	3,85	168,0
33		AVCr	50CrV 4	90		270	620	41	4,15	174,5

megmunkálási móddal pl. csiszolással és helyes kenéssel megakadályozható. Kezdő bejáratás is segít a fog felületének a megjavításában. Ilyen körülmények között a hajlítószilárdságra jól méretezett kerekeknél egyedül a fog felületének a kipattogzása okozza a fog használhatatlanná válását.

A *fogfelület kipattogzásánál* (Pitting) kis felületrészek válnak le a felületről és ott üregek, gödröcskék maradnak. A kipattogzás kis repedésekből indul ki, amelyek a felületből befelé haladnak, egész addig, amíg a kis felületrészek le nem válnak. Ez a jelenség a fogaskerék rövididejű használata alatt is beállhat, ha hirtelen teljes terhelésnek van kitéve előzetes és fokozatos bejáratás nélkül,



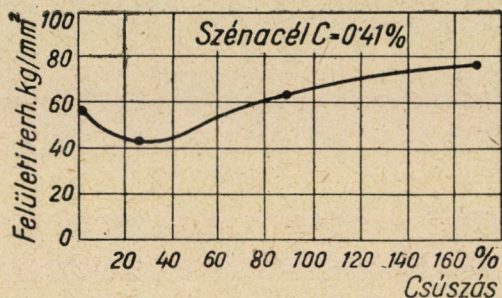
10. ábra. Sarkos és lekerekített fogazókés befolyása a fogtőre

jelentkezik azonban hosszabb üzem után olyan keréknél is, amelyek kezdetben gondosan be volt járátva. A felületi finomságnak a javítása késlelteti a kipattogzást, késlelteti továbbá a nagyobb felületi keménység és lágyabb anyagnál egy előzetes felületi kezelés is. A kipattogzás a használt olaj viszkozitásától is függ és pedig nehezen folyó, viszkózusabb olajnál nagyobb nyomóerőnél lép csak fel, mint híg olajnál.

A kipattogzás nem mutatkozik a fogprofil teljes felületén, hanem általában a gördülő kör alatt, a fog láb része felé kezdődik, a fog fejrészen nagyon ritka esetben fordul elő. A fognak ez a része inkább súrlódásból eredő berágódást szenved bizonyos kedvezőtlen körülmények között. A kipattogzás jelenségének a kivizsgálására acéltárcsák összeszorításával végeztek vizsgálatot különböző fordulatszámkülönbséggel, vagyis különböző felületi csúszással járátva a tárcsákat. A csúszás függvényében a 11. ábrán feltüntetett diagramm szerint megállapították, hogy a kipattogzás akkor állott elő a legkisebb terhelésnél, amikor a fajlagos csúszás negatív értékkel, kb. 22% volt. Negatív csúszáson fogaskeréknél azt az esetet kell érteni, amikor a kisebb evolvensrész érintkezik a nagyobb evolvens részsel, ez pedig a kerekek láb részfelületén van így. Pozitív csúszási helyen, vagyis a nagyobb sebességgel mozgó felületnél kipattogzást

nem észleltek. A negatív csúszás elnevezés külföldi szakirodalomban található. Eszerint a 2. ábrán levő csúszási hiperboláknál az eddig tárgyalt csúszási ordináták a 0 vonal feletti relatív csúszásértékek a negatívok, a 0 vonal alatt, a szaggatottan rajzolt hiperboláig terjedő ordináták a pozitívok. Ez utóbbi értékek bevezetésére azonban nincs szükség, mert a 0 vonal feletti ordináták teljesen elegendők a csúszásviszonyok jellemzésére.

Mivel a kipattogzás közel a gördülőkörnél, illetve a főpontnál jelentkezik, azért régebben az a téves nézet alakult ki, hogy kipattogzás ott kezdődik, ahol tiszta gördülés van, vagyis a főpontnál. Pedig a kipattogzásnak nincs



11. ábra. A csúszás és terhelés összefüggése a kipattogzásnál

semmi köze a gördülő körhöz. Másik vélemény szerint a főpontnál azért van kipattogzás, mivel ott a csúszás irányt vált, ezért itt az érintőleges erőhatás a súrlódás váltása miatt nagyobb értékű. A hengerekkel végzett kísérletek azonban megmutatták, hogy a negatív csúszás esetén, vagyis a kis kerék láb-résznél lép fel először a kipattogzás, ahol a viszonylagos görbületi sugár kisebb, mint a főpontnál.

A felületen fellépő feszültségnek az értéke összeszorított felületeknél az érintkezési pontban levő viszonylagos görbülettől függ. A Hertz által levezetett képletet használjuk erre a felületi feszültségre. Két hengernek Q erővel való összeszorításánál a középen jelentkező legnagyobb feszültséget, a σ_H -vel jelölt Hertz-feszültséget a következő képletből számíthatjuk ki:

$$\sigma_H^2 = 0,35 \frac{Q}{b} \frac{\frac{1}{\rho_1} \pm \frac{1}{\rho_2}}{\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}} = 0,35 \frac{Q}{b} \frac{2 E_1 E_2}{E_1 + E_2} \frac{\rho_2 \pm \rho_1}{2 \rho_1 \rho_2} \quad (10)$$

A $+$ jel a külső, a $-$ jel a belső fogazásra érvényes. Külső fogazásra tehát a feszültség, ha bevezetjük az E_k jelölést:

$$\sigma_H = \sqrt{0,35 \frac{Q}{b} E_k} \cdot \sqrt{\frac{\rho_1 + \rho_2}{2 \rho_1 \rho_2}} = \sqrt{0,35 \frac{Q}{b} E_k} \cdot c \quad (11)$$

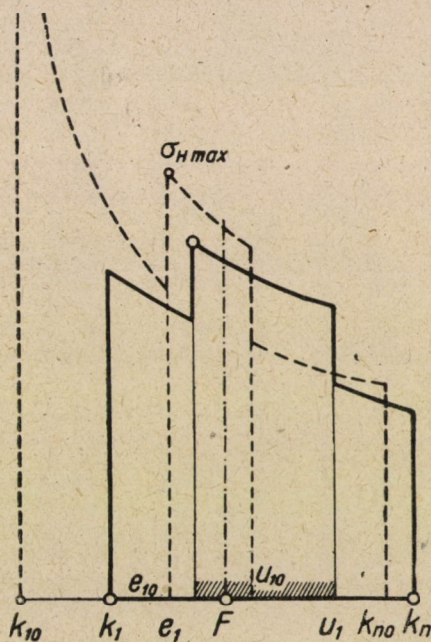
A c értéke jellemző a σ_H feszültségnek a kapcsolóvonal mentén való eloszlására nézve. Ez a feszültség a terheléssel négyzetgyökös összefüggésben van. Merev fogakat feltételezve a Hertz-feszültség eloszlására nézve a váltakozó görbületi sugarakat magában foglaló c érték ad tájékoztatást. Mivel

$$q_1 + q_2 = a \sin \varepsilon$$

ennek bevezetésével:

$$c = \sqrt{\frac{a \sin \varepsilon}{2 q_1 q_2}} \quad (12)$$

$z_1 = 15$, $z_2 = 72$ fogszámú, $\alpha = 20^\circ$ -os kapcsolószögű kerekeknél a 12. ábra tünteti fel a kiszámított c értékekkel σ_H feszültség változását, szakadozott vonal-



12. ábra. A Hertz-feszültség változása a kapcsolóvonal mentén

lal az elemi fogazás esetére és teljes vonallal a kiegyenlített csúszásra helyesbített általános fogazás esetére a *Diker* szerinti II. táblázatból vett szerszámelállítási értékekkel. A lépcsőzés az egy fogpár-kapcsolás határainál van, ahol a $Q/2$ terhelés esetében a négyzetgyökös összefüggésnek megfelelően $\sqrt{2}$ -szeres értékkel emelkedik az ordináta. Elemi fogazás esetében a kis keréknél elméletileg a végtelenbe megy a feszültség vonala. Általános fogazásnál, a teljes vonalnak megfelelően, kisebb a Hertz-feszültség értéke.

A diagrammból megállapítható, hogy a legnagyobb Hertz-feszültség az egy fogpár-kapcsolás kezdetén levő e_1 pontnál van és nem a főpontban.

Ez megmagyarázza azt a gyakorlati tapasztalatot, hogy a *kipattogzás általában a kis kerék lábrészénél keletkezik*, ahol egyúttal a csúszásnak is van már bizonyos negatív értéke. A fogaskerekek élettartamra való méretezésnél tehát, különösen akkor, hogyha a fogszámokban nagy a különbség, vagyis nagy a módosítás, nem a főpontban, hanem a kis kerék lábrészénél, az egy fogpár-kapcsolás helyénél levő viszonyokhoz kell igazodni, az ottani evolvens görbületi sugarakkal kell dolgozni. Ezek a görbületi sugarak a 3. ábra szerint általános fogazásnál az e_1 pontban a következő értékűek:

$$\left. \begin{aligned} \varrho_{e1} &= \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} - m\pi \cos \alpha \\ \varrho_{e2} &= a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} + m\pi \cos \alpha = a \sin \varepsilon - \varrho_{e1} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

Méretezésnél tehát arra kell törekedni, hogy a Hertz-feszültség az egy fogpár kapcsolat kezdetén legyen a megengedett értékű.

Elemi fogazásnál a főpontban levő $P = Q \cos \alpha$ összefüggés felhasználásával és a főponti

$$\varrho_k = \frac{2 \varrho_1 \varrho_2}{\varrho_1 + \varrho_2}$$

viszonylagos görbületi sugárra vonatkozó jelölés bevezetésével a Hertz-feszültség képlete a főpontban:

$$\sigma_H^2 = 0,35 \frac{P}{b \cos \alpha} \frac{E_k}{\varrho_k} \quad (14)$$

Ebből a kerületi erő:

$$P = 2,86 \frac{\sigma_H^2}{E_k} b \cos \alpha \varrho_k \quad (15)$$

A fogaskerekek felületi szilárdságának a kikutatására is végeztek élettartam-vizsgálatokat nemcsak hengerekkel, hanem fogaskerekek terhelés alatti járatásával éppen úgy, mint a hajlítószilárdság vizsgálatánál. Ezekből a kísérletekből megállapítást nyert, hogy a tartósan alkalmazható Hertz-feszültség a Brinell-keménységgel a $\sigma_H \cong 0,28 H_B$ összefüggésben áll. Ezt tekintetbevéve, a fenti képletből megállapítható, hogy az átszármasztatható kerületi erő a felületi keménység növelésével nagyon kedvezően, négyzetesen emelkedik. A képletben a következő jelölést alkalmazzuk:

$$k = 2,86 \frac{\sigma_H^2}{E_k}$$

Ezt az értéket elméleti palástnyomástényezőnek nevezzük.

Közeleső fogszámpároknál, vagyis hogyha a módosítás $i = 1$ -nél nem sokkal nagyobb, az e_1 pontban levő σ_H érték sem sokkal nagyobb, mint a főpontban levő érték, úgyhogy ekkor az F főpontban levő görbületi sugarakkal végezhetjük el a méretezést.

A főpontban ϱ_1 és ϱ_2 -vel jelölve az evolvens görbületi sugarakat, ezek a sugarak a $d_1/2$ és a $d_2/2 = i \frac{d_1}{2}$ osztókör, vagy általános fogazásnál a gördülő-kör sugarakkal fejezhetők ki. Így a viszonylagos görbületi sugar:

$$\varrho_k = d_1 \sin \alpha \frac{i}{i \pm 1}$$

ezzel:

$$P = k b d_1 \cos \alpha \sin \alpha \frac{i}{i \pm 1}. \quad (16)$$

A P kerületi erőt a nyomatékkal kifejezve:

$$P = \frac{2 M_1}{d_1}.$$

Behelyettesítve és rendezve:

$$M_1 = k b d_1^2 \frac{\sin 2\alpha}{4} \cdot \frac{i}{i \pm 1}. \quad (17)$$

Az utóbbi képlet szerint a fog terhelésátszármaztató képessége a $\sin 2\alpha$ -val arányos. Ennek maximális értéke az $\alpha = 45^\circ$ -nál van. Ilyen nagy kapcsolószög nem alkalmazható, mivel ennél a szögnél a fog hamarabb kiegyenesedne és nem kapnánk elegendő fogmélységet. Általában a 24 – 27 fokig terjedő kapcsolószög értékek még elegendő nagy kapcsolószámot adnak megfelelő méretű fejszalagszélesség mellett is. Ezért előnyösebb az általános fogazással megvalósított, 20° -nál nagyobb kapcsolószögű hajtás. Külföldön a repülőgépipar számára $26\frac{1}{2}$ fokos kapcsolószögű szerszámmot is szabványosítottak.

Nagy módosításoknál az egyedi kapcsolat e_1 pontjában a σ_H feszültség és vele a k tényező is nagyobb értékű, mint a főpontban. Méretezésnél tehát az itteni értéket kell tekintetbevenni. A k tényező a viszonylagos görbületi sugarak arányában nő, vagyis az egy fogpár kapcsolat kezdeténél levő k_e elméleti palástnyomástényező:

$$k_e = k \frac{\varrho_1 \varrho_2}{\varrho_{e1} \varrho_{e2}}.$$

Ebben:

$$\varrho_{e2} = a \sin \varepsilon - \varrho_{e1}; \quad \text{viszont } a \sin \varepsilon = \varrho_2 \pm \varrho_1$$

ezt helyettesítsük be és osszuk el a számlálót és nevezőt ϱ_1^2 -el. Ekkor

$$k_e = \frac{\frac{\varrho_2}{\varrho_1}}{\frac{\varrho_{e1}}{\varrho_1} \left(\frac{\varrho_2}{\varrho_1} \pm 1 - \frac{\varrho_{e1}}{\varrho_1} \right)} k.$$

Azonban $\frac{\varrho_2}{\varrho_1} = i$. Vezessük be az $f = \frac{\varrho_{e1}}{\varrho_1}$ jelölést, ami az egy fogpár-kapcsolásnál és a főpontnál levő görbületi sugaraknak a viszonya a kiskeréknél. Ennek az értéke általános fogazás esetében a következő képletből számítható:

$$f_1 = \frac{\varrho_{e1}}{\varrho_1} = \frac{\sqrt{[0,5 z_1 + 1 + x_1 - (x - \delta)]^2 - (0,5 z_1 \cos \alpha)^2} - \pi \cos \alpha}{0,5 z_1 \cos \alpha \operatorname{tg} \varepsilon} \quad (18)$$

Az f és i értékek behelyettesítésével:

$$k_e = k \frac{i}{f [i \pm (1 - f)]} = k_m \quad (19)$$

vagyis az egy fogpár-kapcsolás kezdeténél levő k_e értéknek kell egyenlőnek lenni egy megengedhető k_m palástnyomástényező értékkel. Ha az F főpontnál levő k értéket ebből kifejezzük és az M_1 nyomaték kifejezésébe behelyettesítjük, továbbá az egyenlet baloldalára tesszük a méretezésnél kiszámítandó értékeket, és pedig a b fogszélességet és általános fogazás esetében a d_{g1} gördülő kör átmérőt, akkor általános fogazásra a következő egyenletet kapjuk:

$$b d_{g1}^2 = \frac{M_1}{k_m} \frac{4}{\sin 2\varepsilon} \frac{i \pm 1}{[i \pm (1 - f)] f} \quad (20)$$

Méretezésnél tehát úgy kell eljárni, hogy a 20° -os kapcsolószög esetében a kiegyenlített csúzásnak megfelelő *Diker*-táblázatból, más kapcsolószög esetében pedig a kapcsolószögnek megfelelő táblázatból kivesszük a megvalósítandó módosításnak megfelelő z_1 és z_2 fogszámokhoz a szerszámelállítások értékeit, kiszámítjuk a táblázatban szereplő ε kerékkapcsolószöghöz tartozó δ fajlagos tengelytávnövekmény nagyságát. Ezzel az f viszonzyszámot már meg tudjuk határozni a fenti (18) képletből. Azután az V. táblázatban megadott k_D értékek tekintetbevételével az alkalmazott fogaskerékanyagnak megfelelően egy biztonsági tényezővel, ami a dinamikus hatásokat veszi tekintetbe, továbbá egy bizonyos élettartamra számítva meghatározzuk a megengedhető k_m értékét.

A kiszámított f értékével és ezen k_m megengedett palástnyomás tényezővel kiszámítjuk a (20) képletből a $b d_{g1}^2$ szorzatot, amelyből a $b = \psi m_g$ foghossz-tényező felvételével egy gördülőkör modulust lehet kiszámítani. Ehhez az értékhez tartozó szerszámmodulust az általános fogazásnál érvényes koszinusz

összefüggés segítségével határozzuk meg, a kiszámított értéket szabványos szerszámmodulus értékre kerekítjük fel. A felkerekítés miatt szükséges változtatást a b fogszélességnél hajthatjuk végre.

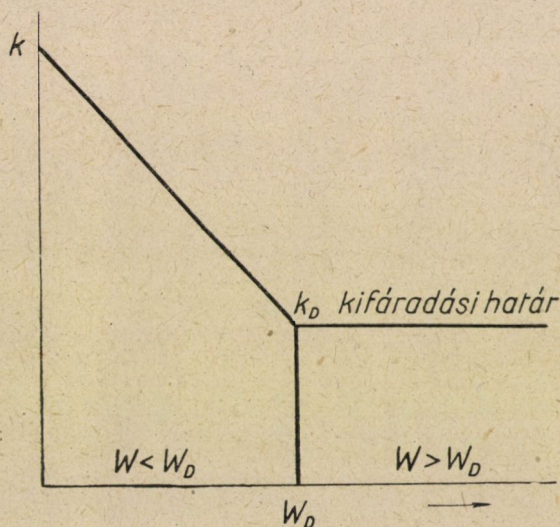
Ezzel a számítási módszerrel, ha a szerszámelállításokat az I—IV. táblázatokból vesszük, olyan fogaskerékpárt tudunk kiszámítani, amelyiknél a csúszás kiegyenlített és a fog felszíni szilárdsága is élettartam szempontjából megfelelő lesz.

Az V. táblázatban levő k_D értékek 13° E viszkozitású olajra vonatkoznak. Más viszkozitásértékeknél egy tényezővel kell szorozni a k_D értékeket, a tényezők a következők lehetnek:

Viszkozitás E° -ban : 1,5 3 5 9 13 19 26 35 40

Tényező : 0,7 0,75 0,8 0,9 1,0 1,1 1,2 1,3 1,35

A k_D érték a Wöhler-diagrammban a kifáradási határérték. Ha a kifáradási diagrammot a 13. ábra szerint úgy rajzoljuk fel, hogy az abszcisszára az n



13. ábra. Wöhler-diagramm a palástnyomástényezőre

fordulatszámmal és a h üzemórakkal számított élettartamtényezőt írjuk fel, vagyis a következő értéket:

$$W = \frac{60 n h}{10^6},$$

akkor a diagramm töréspontját egy bizonyos W_D élettartamtényezőnél kapjuk. Ettől a ponttól kezdve érvényes az állandó értékű k_D kifáradási határérték. A töréspont helyére és a nála érvényes k_D kifáradási határértékre vonatkozólag az irodalomban még kevés számú kísérleti adat áll rendelkezésünkre. Azonkívül

az irodalomban található W_D értékek jóval kisebbek, mint a gyakorlati méretezésnél általában alkalmazott értékek.

Ha a tervezendő fogaskerékpár időszakosan van üzemben és a W élettartam-tényező kisebb a W_D -nél, akkor a táblázatnál nagyobb értékkel lehet számolni a Wöhler-diagramm emelkedő részének megfelelően. Az átszámítást az élettartamdiagrammokra általában érvényes köbgyökös összefüggéssel végezhetjük el, vagyis a

$$k = k_D \frac{W_D^{1/3}}{W^{1/3}} \quad (21)$$

értéket lehet tekintetbevenni. Ez az átszámítás némely anyagnál kisebb adatot szolgáltat, mint a kísérleti diagramm, vagyis Wöhler-diagramm hiányában biztonsággal használható. A megengedhető k_m értéket a dinamikus erőhatásokra számítva, természetesen kisebbnek kell venni egy biztonsági tényező alkalmazásával.

Mivel a Hertz-feszültség a Brinell-keménységgel általában a $\sigma_H \approx 0,28 H_B$ összefüggésben áll, ezért a k_D számítással is meghatározható a Brinell keménységből, vagyis

$$k_D \approx 2,86 \frac{0,28^2 H_B^2}{E_k} \approx 0,224 \frac{H_B^2}{E_k} \quad (22)$$

Az V. táblázat k_D értékei egynemű anyagok együttdolgozásának az esetére vonatkoznak, pl. acél acéllal, ahol a viszonylagos rugalmassági tényező:

$$E_k = E_1 = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2.$$

Ha acélkerék más, E_2 rugalmassági tényezőjű anyaggal, pl. öntöttvasal dolgozik együtt, akkor a viszonylagos rugalmassági tényező az alábbi képletből számítandó:

$$E_k = \frac{2 E_1 E_2}{E_1 + E_2}.$$

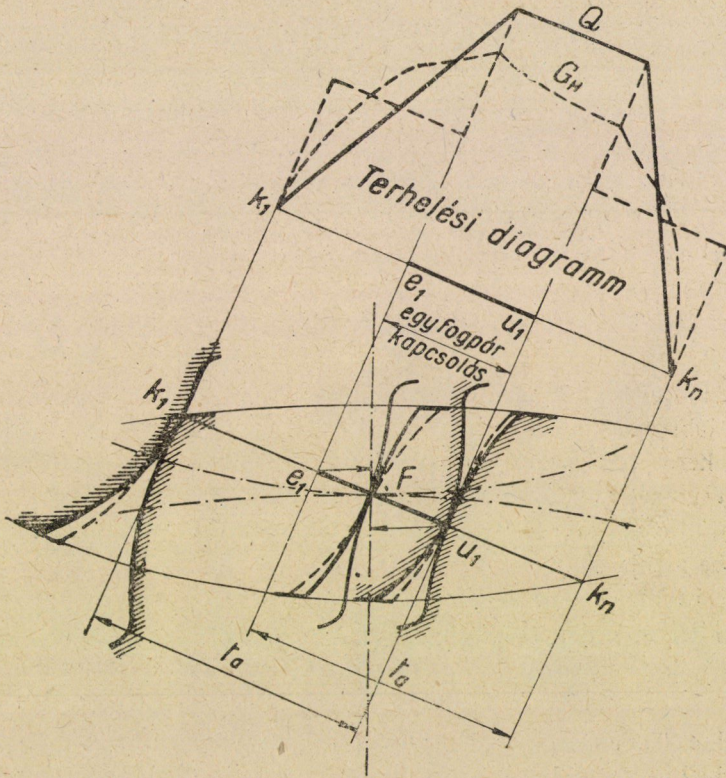
A k_D palástnyomástényező ekkor a viszonylagos rugalmassági tényezővel fordított arányban módosul, vagyis az E_2 rugalmassági tényezőjű ellenkerékanyag esetében érvényes k_{D2} a következő képletből számítható:

$$k_{D2} = k_D \frac{E_1}{E_k} = k_D \frac{E_1 (E_1 + E_2)}{2 E_1 E_2} = k_D \left(0,5 + \frac{E_1}{2 E_2} \right). \quad (23)$$

Öntöttvasnál pl. $E_2 = 1,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ ezzel $k_{D\delta} \approx 1,5 k_D$.

Fogaskerekek tervezésénél többé már nem egyszerű kinematikai probléma előtt állunk. A geometriailag tökéletes fogaskerék is helytelen akkor, amikor terhelés alatt a fog alakváltozást szenved, ezért a fogaskerekeknek, azok ten-

gelyeinek, csapágyainak, néha a fogaskerékszekrényeknek az elasztikus tulajdonságai és deformációja is tekintetbe jönnek a fogaskerék átvitelek tervezésénél. Kiváló anyagok alkalmazásával a fogak felületi terhelése megnövekedhetett és jobb gyártási eljárások a pontosságot emelték meg. E tényezőknek a hatására azok a gyártási pontatlanságok, amelyek a fogazásnál adódtak, kisebbek lettek, mint a fogaknak a terhelés alatti deformációja. Ezért gondolni kell a deformáció okozta alakváltozások miatti hiányosságok kiküszöbölésére is.



14. ábra. Foglenyesésnél a terhelés és a Hertz-feszültség értékei

Amikor egy pár fog hordja a terhelést, akkor a deformáció jóval nagyobb lehet, mint amikor két fogpár vesz részt a terhelés átszármaztatásában. Emiatt elméletileg folytonos ingadozás van a szögsebességben, ami dinamikusan túlterheli a fogakat. Bizonyos állandó terhelésre ki lehet egyenlíteni ezt a szögsebesség-ingadozást oly módon, hogy az evolvens fogprofilat az egy fogpár-kapcsolás határaiból kiindulva a fejkör felé növekedő értékkel lenyeséssel módosítjuk a 14. ábra szerint. A zajtalan járás biztosításához is a legújabb időben egyik leghasznosabbnak mondható eredmény volt a fog fejrészénél a profil lenyesése.

Ezzel a lenyesséssel igyekszünk megvalósítani azt, hogy a kapcsolás kezdetekor a fog fejrésze ütődésmentesen, 0 erővel lépjen érintkezésbe. A fog deformációja miatt ugyanis a 14. ábra szerint a főpont után az u_1 pontban még kapcsolódásban levő két fognál részben a fogak lehajlása, részben a fogfelületek, mint hengerfelületek egymásbanyomódása következtében bizonyos közeledés van, ami a k_1 pontnál a kapcsolásba belépő fogpárnál hirtelen igénybevételt és ebből eredő zajt okoz. Ennek a kiküszöbölésére célszerű a fog fejrészét a deformáció mértékének megfelelően lenyesseni.

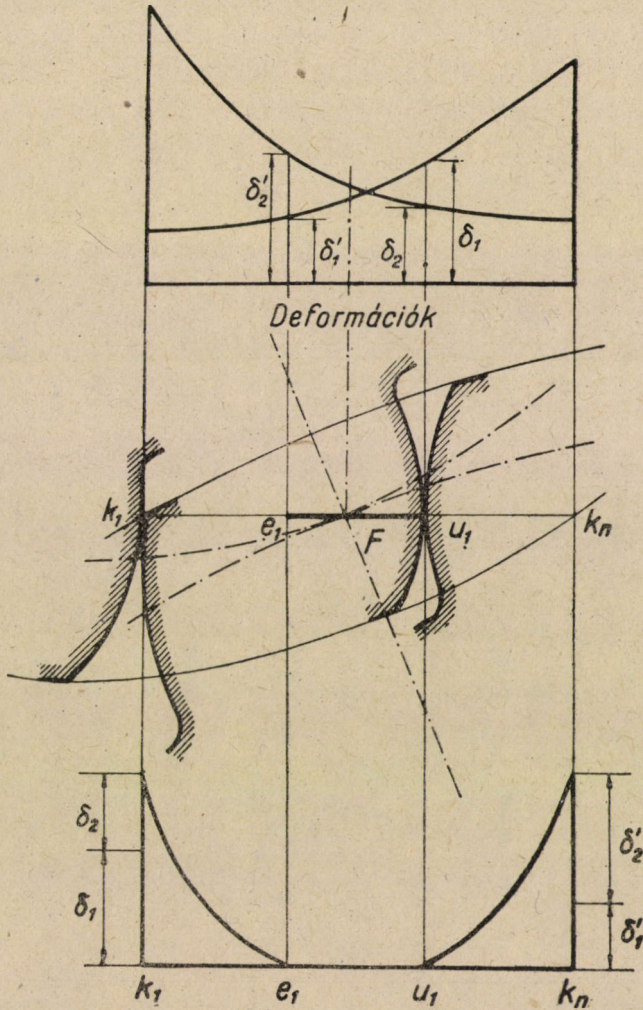
A fog lehajlását kísérletileg is megállapították egy fogaskerék készülékbe való befogásával és a fogaskerék egy fogának fokozatos leterhelésével. A fogak deformációjából adódó görbéken keresztül lehet azután kiértékelni a szükséges foglenyesség mértékét. A fog változó keresztmetszete miatt a hajlítói igénybevétel deformációját Mohr-féle eljárással, szerkesztéssel lehet meghatározni, a benyomódásból eredő közeledést pedig a Hertz-féle elmélet segítségével tudjuk kiszámítani. A görbületi sugarak tekintetbevételével a két értékből, vagyis a lehajlásból és a fogprofilok, mint hengerek benyomódásából lehet kiértékelni a szükséges foglenyesség mértékét.

A 15. ábra felső része a kapcsolóvonal mentén tünteti fel az egyes fogak deformációit. Az u_1 pontban levő $\delta_1 + \delta_2$ deformációösszegnek megfelelően nyomódik, fordul tovább a felső, hajtókerék. A k_1 pontban kapcsolódásba lépő következő lábrész csak akkor kapcsolódik 0 erővel, vagyis ütődés, zaj nélkül, ha az alsó kerék fejrészét a kapcsolóvonal irányában a $\delta_1 + \delta_2$ deformációnak megfelelő értékkel csökkentjük, vagyis lenyessük. A lenyességnek az ábra alsó képe szerint az e_1 egyedi kapcsolási pontig parabolikusan 0 értékre kell lecsökkennie. A görbe alakja az $y = Cx^{1,5}$ parabolának vehető, a C állandó a k_1 pontban levő ismert értékből határozható meg. A felső kerék fejrészét pedig a k_n pontnál levő síma kilépése érdekében az e_1 -nél levő $\delta'_1 + \delta'_2$ deformációösszegnek megfelelően kell lenyesseni, szintén 1,5-es parabolának megfelelő csökkentéssel az u_1 pontig.

Mivel a lenyességnek a fogterhelés okozta deformáció által megszabott értékűnek kell lennie, ebből következik, hogy csak egy bizonyos állandó terhelés esetén, ennek a terhelésnek megfelelő értékű lenyesség vezet célhoz a síma kapcsolódás, a zajtalan járás biztosításához. Változó terheléssel működő fogaskerék-párnál már nem érjük el a kívánt eredményt.

A fog lenyességénél alkalmazott az az eljárás, hogy a fogasléc-szerszám lábrészebe viszünk bele egy bizonyos nagyságú vastagítást, nem mondható helyesnek, mert a vele készített kerekeknél a kisebb fogszámú kerék készítésekor más nagyságú lenyesség jön létre, mint a nagyobb fogszámú keréknél, ami valószínűleg nem fog megfelelni az átszarmaztatott teljesítmény, illetve fognyomás által megkívánt értéknek. Ez a körülmény meglehetősen nehézzé teszi a foglenyesséssel készített kerekek legyártását. A MAAG-csiszológépnél külön készülék-

kel lehet megvalósítani; a legördülő elmozdulás vezérlésénél külön bütyök adhat egy járulékos többletmozgást a fogfejrész csiszolásánál. Közönséges MAAG csiszológépen a legördülő elmozdulást biztosító acélszalagok szegmensénél



15. ábra. A fogdeformációk és a foglenyesések értékei

a szegmens sugarának megfelelő helyi csökkentésével lehet a foglenyesést létrehozni. Tömeggyártásnál, amikor a végső megmunkálás hántolással történik, a marónak is és a hántoló szerszámoknak is olyan kiképzést lehet adni, hogy a szükséges foglenyesés is benne lehet a szerszámokban.

A fogazások technológiai eljárásaiban az újabb célkitűzések arra irányultak, hogy egyrészt a megmunkálási időt csökkentjük, másrészt a készítés pontosságát tökéletesítsük.

Egyik újabb gyártási eljárás a *precíziós öntésű fogaskerekek* gyártása, amelyik eljárásnál kerámiai úton előállított öntőformában készülnek a fogaskerekek. A kerámiai forma síma, finom felületet nyújt, így a fogfelületek utánmunkálása nem szükséges.

Porkohászati úton, fémpor összesajtolásával és felemelegítéssel való zslugorítással is állítanak elő fogaskerekeket, azonban ezeknek a szilárdsága kisebb, azért csak alárendeltebb célra használhatók, pl. olajszivattyúk fogaskerekei számára.

Nagyobb jelentősége van a fogaskerekek készítésénél a *meleghengerlésnek*. Erre vonatkozóan hazai kísérletek is folynak. A meleghengerlést kétféle módon lehet végezni. Az egyik a csavarmenetek görgőzésénél is alkalmazott módszer, amikor a munkadarab a mesterkerekek között szabadon forog. A másik megoldás az, hogy a darabot kényszerkapcsolatban forgatjuk a mesterkerekekkel. Az előbbi esetben az osztás a megmunkálás alatt változó értékű, mivel kezdetben a mesterkerekek fejrésze dolgozik bele a munkadarabba. Kényszerkapcsolat esetén kezdetből fogva a készítendő fogszámnak megfelelően történik a mesterkerekek behatolása a munkadarabba. Kétségtelen, hogy ez az utóbbi eljárás az előnyösebb és jobban biztosítja a pontos fogfelületeket. A szabadon forgó munkadarabnál ugyanis hátrányos körülmény az, hogy a kényszerkapcsolat hiánya miatt a tiszta gördülés inkább a munkadarab lábrészénél van meg, mivel a mesterkerék a behatolása alkalmával a fejrészével fejti ki a legnagyobb kialakító erőhatást a munkadarab fogárkának a fenekénél és itt kényszeríti ki a tiszta gördülést. Emiatt a készített kerék nem az osztókörnek megfelelő tiszta gördüléssel, hanem azon beljebb lévő körnek megfelelő legördüléssel készül. Ilyen módon a fejrész vékonyabbnak adódhatik ki, mint az elméletileg szükséges.

Gyors fogaskerékkészítési eljárás az is, hogy megfelelően előkészített matricákon keresztül több fokozatban, *hideghúzással* hozzuk létre a fogakat. Ennél a megmunkálásnál a szerszámnak, mint belső fogazású keréknek az elkészítése körülményes.

Homlokkerekek készítésénél is megpróbálkoztak a 16. ábra szerinti *hordóalakú, ívelt alkotójú kiképzést* adni a fognak azzal a céllal, hogy a hosszirányú domborúság létrehozásával a felfekvést a középre lehessen koncentrálni, így a sarkon való felfekvés elkerülhető. Ez a kiképzés némi beállítási lehetőséget ad a fogaskerekeknek és megakadályozza a fog végének a túlterhelését. Ilyen hordóalakú fogalakot lehet létrehozni az új, két késfejjel dolgozó Klingelberg lefejtő fogazógéppel is, amely gép beállítható a fogprofil lenyesés létrehozására is. Ez a hordóalakú kiképzés természetesen akkor hasznos, hogyha a fogaskerekek

szerelésénél bizonyos pontatlanságra kell számítani, kérdés azonban, hogy ez nem ártalmas-e éppen akkor, hogyha nagy terhelés működik, amelynél biztosítva van egyúttal a pontos szerelés és beállítás is. Ilyen esetben a hordóalakú kiképzés nagyobb fajlagos terhelést okoz a fog közepe táján, ami korábbi kipatogzást eredményezhet.

A pontos fogaskerekek előállításánál *csiszolással* kis modulusoknál, $m = 0,8$ mm alatt *teliből* lehet fogaskerekeket előállítani. Ezzel a módszerrel lehet fogazni a Reishauer-fogazógépen. Ennél a csiszolást végző szerszám voltaképpen egy több menettel ellátott csigamaróalakú, de jóval nagyobb átmérőjű csiszolókö, ami a Pfauter-fogmarógépnek megfelelő módon folytonos forgómozgásban, lefejtő eljárással, de csiszolással állítja elő a fogárkokat. 0,8 mm-nél nagyobb modulusoknál csiszolási ráhagyással, marással munkálják



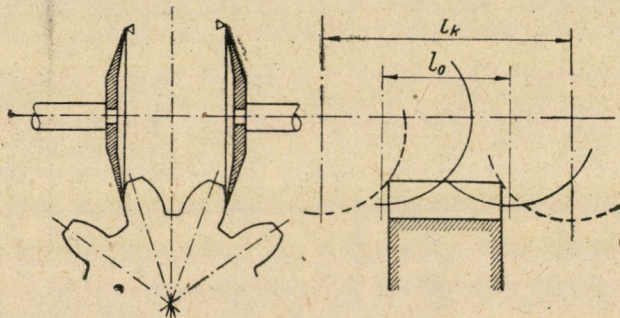
16. ábra. Egyenes fog hordóalakú kiképzéssel

elő a kerekeket. A szerszám lehúzása a csiszolókorong forgása közben a menetekben mozgó gyémánt lehúzókövel történik a csavarmenetek vágásához hasonlóan. A gyémánt lehúzókö sablon által vezetve a fogasléc kapcsolóvonalának megfelelő ferde pályán is elmozdul akkor, amikor vele a csiszolókö lehúzása történik. Mivel a csiszolókönek egyszerre több menete is dolgozik, a gép termelékenysége nagyon jó.

A Reishauer- és más nagyobb teljesítményű csiszológépek versenyétől szorítatva a MAAG-gyár megszerkesztette homlokkerekek csiszolására a 0 fokú csiszológépet. Ennél párhuzamosan csiszoló korongokkal a 17. ábra szerint a többfogmérés elvének megfelelően olyan fogárkokban történik a csiszolás, amelyeknél a párhuzamos csiszolókövek alsó szélei az alapkörhöz húzott érintő végpontjaiban érintik a fogszeleket. A korongok a fogszelesekkel rövidebb elmozdulási úthosszon tudják megcsiszolni, mint a fogasléc alaprofilnak megfelelő szögben beállított, keresztcsiszolással dolgozó csiszoló korongok esetén. Ez utóbbi esetben ugyanis a fog csúcsainál kezdődik a csiszolás, az ábrán a

szakadozott köröknek megfelelő helyzeteket foglalja el a korong, amelyeknek az l_k elmozdulás felel meg. A 0-fokú csiszolásnál a rövidebb l_0 távolság az elmozdulási hossz.

A fogaskerekek készítésénél az egyik legújabban alkalmazott utolsó megmunkálási eljárás a *hántolás* (Shavingelés). Ennek lényege rendkívül finom, rostalakú forgács leválasztása, amelynek a vastagsága 0,005—0,001 mm. Ez a forgácsolás vagy fogaskerék, vagy fogasléc alakú szerszám fogainak a felületén készített hornyok éles élével történik. Fogasléc-hántoló szerszámnál lapokból van összeépítve a szerszám. A megmunkálendő kerék és a szerszám kapcsolódása, együttjárata alkalmával a forgómozgáson kívül a kapcsolódó fogprofilok egymáshoz képest elcsúsznak (18/a ábra). A fogaskerékszerszámmal végzett hántolás gyakrabban alkalmazott módszer és előnyösebb is, mert a kerékszerszám készítése jóval egyszerűbb és jóval olcsóbb, mint a hántoló fogasléc



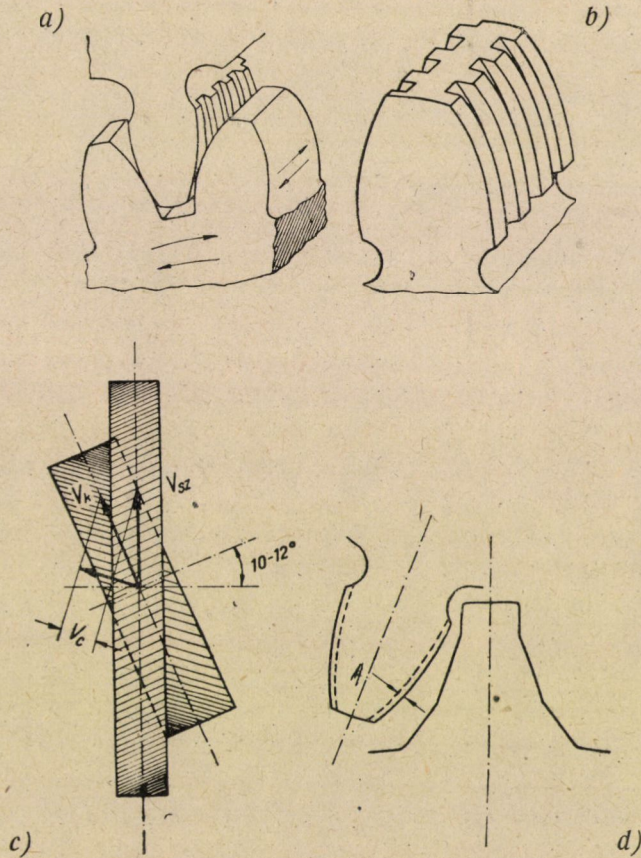
17. ábra. A 0-fokú Maag-csiszoló működési elve

készítése. A kerék azonkívül jobb forgácselvezetést is biztosít, külső és belső fogazású kerekek készítésénél egyaránt használható.

A fogaskerékszerszám fogainak a felületén a 18/b ábra szerinti radiális irányban készített keskeny hornyok éles szélei végzik a forgácsolást. Egyenes fogú homlokfogaskerekek hántolására a szerszámot ferde fogazással készítjük, amelynek hajlása öntöttvas megmunkálásánál 10° , acél esetében 12° lehet. Ferdefogú kerekek készítésénél a szerszám lehet egyenes, vagy ferdefogú, de úgy, hogy a szerszám és a kerék tengelye között a fenti 10 — 12° különbség legyen. A kerék és a szerszám tengelyeinek egyik esetben sem szabad egymással párhuzamosaknak lenniök. A tengelyek ilyen kereszteződése a kitérő tengelyű, ferdefogazású kerekeknél jelentkező csúszással teremti meg a vágási folyamathoz szükséges feltételt, éspedig a szerszám fogának hosszanti csúszását v relatív sebességgel a munkadarab fogai mentén a 18/c ábra szerint. A szög csökkentésekor a termelékenység csökken, de a felület símasága emelkedik. 0 tengelyhajlásszögnél a hántolás megszűnne és a két kerék közösleges kapcsolódása következne be. A keréknek megmunkálás közben az alkotója irányában hosszolő-

tolást is adunk. A hosszéltolás a kereszteződő tengelyek miatt bekövetkező fogmenti profilcsúszás sebességéhez képest azonban olyan kicsiny, hogy gyakorlatilag a vágósebesség meghatározásakor elhanyagolható.

A hántolás rendkívül nagy pontosságot képes biztosítani, a csiszolással



18. ábra. A hántolás (shavingelés) működési elve

egyenértékű első- és másodosztályú pontosságú kerekeket készíthetünk vele. Tömeggyártásnál szűk tűrési határokat lehet betartani vele jóval rövidebb megmunkálási idővel, mint a csiszolással. A megmunkált felületek finomsága közel áll a finomszemcséjű csiszolókoronggal végzett csiszolás útján nyerhető finomsághoz. Nem szabad azonban elfelejteni, hogy a hántolás csak finom megmunkáló művelet, ezért a fogaskerekek pontosságára nemcsak a hántolás, hanem az előző megmunkálás minőségének is hatása van. Ha nincsen meg a megfelelő pontosság az előző megmunkálásnál, akkor a hántolás inkább a fogprofil nagyobb mértékű romlásához vezet, mint amilyen a profil a hántolás előtt volt.

A hántoló fogaskerék fejrészének a tehermentesítésére a marást olyan maróval végezzük, amelynél a fejrészen a 18/d ábra szerinti, torzítottan rajzolt vastagítás van.

A hántoló fogaskerék élezését rendszerint közönséges fogcsiszológépeken végzik. A szerszám hatszor, hétszer köszörülhető utána.

Az asztalnak a hántolás alatt a hosszeltolásnál kis járulékos lengést is lehet adni, ezáltal létre lehet hozni az ívelt alkotójú, hordóalakú kiképzését a fogaknak.

Mivel a fogaskerék a szerszámgépgyártásnak, a közlekedési iparnak és számos egyéb iparágának is fontos gépeleme és iparfejlesztésünknek egyik szükséges láncszeme, ezért valószínűnek látszik az, hogy a szerszámgépgyártásunk kifejlesztésénél fokozatosan rá kell térnünk arra is, hogy fogazógépgyártásunkat is kifejlesszük, ezáltal azt a szűk keresztmetszetet, amit gépgyártásunkban a fogaskerek elkészítése okoz, igyekezzünk csökkenteni. Legelsősorban a fogazószerszámok készítését kell szorgalmaznunk, mivel sok esetben fogaskerékgyártásunkat nem annyira a fogazógépek hiánya, mint inkább a meglévő gépekhez szükséges fogazószerszámoknak a hiánya akadályozza.

Fogaskerégyártásunknak a minőségét is emelnünk kell. A fogaskerek tőrésére vonatkozó MNOSZ 435 szabvány a benne előírt mérés módokkal mindenestre nagyon elősegítette hazai minőségi gyártásunk emelkedését. Szükséges azonban, hogy az átvételt szolgáló előírások is kidolgoztassanak, amelyek szintén fokozzák a minőség javulását. A minőségi átvételnek egyik gyakori módja a fogaskerek zajtalan járásának a vizsgálata. A zajtalan járás biztosíthat arra vonatkozólag, hogy a kerék pontosan készült-e. Pontatlanságból, vagy a foghibából származó, hirtelen fellépő erőhatások nyugtalan járást eredményeznek.

A zajtalan járás körülményeinek a kikutatására szolgáló kísérleti vizsgálatokat a Szovjetunióban *Gyenko* professzor végzi. Különlegesen, zajt nem keltő csapágyazással ellátott fogaskerékpároknál kondenzátormikrofonnal veszi fel a fogaskerek járásánál fellépő zajt, amit hanganalizátoron keresztül frekvenciasávokra bontanak és az egyes frekvenciák erősségét mérik. Ezekből lehet felvenni azokat a diagramokat, amelyek az egyes hibaforrásoknak a befolyását megmutatják. Legnagyobb befolyása az alaposztás hibának és az evolvens excentricitás hibájának van. A kísérletek még folyamatban vannak.

Előadásomban főleg egyenes fogazású homlokkerekkel foglalkoztam, azonban a velük kapcsolatos megállapítások a többi fogaskeréktípusra is érvényesek, így pl. a Diker-táblázat segítségével a ferdefogazású kerekéknél, továbbá a kúpkerékeknél, is meg lehet valósítani a fogazást olyan szerszámelállításokkal, amelyekkel a csúszások kiegyenlítettek lehetnek. A homlokkerekkel végzett élettartamvizsgálatok, továbbá a zajvizsgálatok eredményei is általánosíthatók a többi fogaskerekre vonatkozólag is. Az élenjáró szovjet műszaki tudomány megismerése és a gyakorlatba való átültetése így az egész fogazási problémáink

megoldásának elősegítője lehet. Az anyagtakarékosság követelményeinek megfelelő korszerű méretezéshez még számos kérdés alaposabb megismerése szükséges, mint pl. a kifáradási diagrammok felvétele hazai fogaskerékanyagokra vonatkozólag, a különböző edzési eljárások, illetve az edzési réteg befolyása és élettartama, az olaj minőségének a befolyása a kopásgátló folyadékfilm kialakulása szempontjából, a szilárdsági méretezéshez a fogalaktényezők, formatényezők, feszültséggyűjtő hatások pontos megismerése stb. A laboratóriumi kutatásokon kívül a gyakorlati tapasztalatok begyűjtése az elmélet továbbfejlesztése céljából szintén lényeges volna, ezzel például a többé-kevésbé homályos dinamikus erőhatások kérdését és befolyását lehetne közelebbről megismerni és a takarékos méretezésnél felhasználni. Mindezek a kérdések az elmélet és a gyakorlat szoros egységét kívánják meg, részint, hogy az élenjáró szovjet műszaki tudományok eredményeinek széles rétegekkel való megismertetése és a gyakorlatba való átültetése minél gyorsabban történhessen meg az ipari fejlődésünk meggyorsítása érdekében, részben pedig, hogy az egyes üzemekben elért gyakorlati tapasztalatok ne maradjanak elszigetelten, hanem a hazai műszaki tudományok fejlesztésében közkinccsé válhassanak.

Végezetül ezen a helyen is köszönetemet fejezem ki a Gépelemek Tanszék dolgozóinak azért, hogy előadásom anyagának a kidolgozásánál, a hozzá szükséges ábrák megrajzolásánál, táblázatok adatainak kiszámításánál nagy segítségemre voltak.

HOZZÁSZÓLÁSOK

A LÁBKÖRFOGAZÁS SZÁMÍTÁSI MÓDSZERE

JUREK JENŐ

I. Előszó

Az evolvens fogazás jelenlegi használata mellett a helyesbitett, korrigált fogaskerek alkalmazása a gépgyártásban nélkülözhetetlen, ugyanakkor a korrekció tényleges elvégzése nehézkes és áttekinthetetlen rendszerekkel összekeverve, mint különleges tudomány szerepel.

A fogaskerék rajzbeli méretezése a fogszám, modulus, valamint a fej- és lábkör tőréses, tolerált méreteinek megadásával történik. Homlokkeréknél a fogazószerszám rendszerint fésűs-kés, fogasléc. A fejkör pontos megadása elsősorban az esztergályozási méretek miatt szükséges. A fejkör azonban csak az elemi normál keréknél ad támpontot a fogazásra vonatkozólag. A rajzból egyedül a lábkör méretéből lehet a kiképzendő fogak fogazási méretét meghatározni. Ha a szerszám normálméretű, a lábkör méretszerinti beállítása egyúttal a kerék helyes elkészítését is jelenti. Ugyancsak a rajzon megadott lábkör, valamint a szerszám ismerete alapján számíthatjuk ki a több fogmérés értékét is.

Két fogaskerék közötti fejhézag lehet a normalizált $1/6$ -od m vagy a MAAG-rendszer szerinti arányos fejhézag is. Tehát két azonos lábkörrel bíró fogaskerék fejköre kismértékben különböző is lehet. Mivel a fogaskerék fogazási méretét a megadott rajzon a lábkör képviseli és az ismertett korrekciós rendszer számítási módjánál fogva a lábkörből indul ki, célszerű volt *lábkör-fogazásnak* nevezni.

Az alap nem más, mint egy gyorsan és pontosan számítható hézagmentesítési eljárás, épp azért minden elképzelhető fogazási rendszer egységes alapon való számításához alkalmas.

Különleges esetekben a kerékanyag szilárdsági viszonyaiból adódólag szükség lehet abnormális fogazókés alkalmazására, hogy egyik kerék fogvastagságát megnövelhessük. Ebben az esetben, valamint a tömpe fogazás esetében is azonos számításmóddal képezhetjük a kerekeket.

E hozzászólásban csak a számításmód levezetése, a szükséges táblázatok, diagrammok, a pontosság kiszámítása és két példa kidolgozása szerepel, a korrekció mértékének, tehát a szerszámállításnak megállapítása a számítási rendszertől függetlenül külön tárgyalást igényel, a szilárdsági és csúszási viszonyok vizsgálata keretében.

Bevezetésül először a fogaskerék és a fogazás rövid történetét ismertetjük, mivel az elmélet és a szerszám kölcsönös, egymást támogató fejlődésének ismerete nélkül a fogazás különféle problémái nem láthatók teljes összefüggésükben.

A lábkörfogazás ismertetéséhez a szabványos jelölések mellett új jelzések és fogalmak létesítése is szükségessé vált; így a mérhető tengelytávnövelés Δ , a mérhető csonkítás g , a mérhető késkihúzások összegét jelentő $v = m(x_1 + x_2)$, valamint a számítás elvégzéséhez szükséges vezérgörbék η és μ tényezőinek jelzései.

Az MNOSZ szabványokkal összhangba hozott új jelzések az alkalmazott szabványos jelölésekkel együtt táblázatban összefoglalva is szerepelnek, úgyan-úgy a számítás alapját képező képletek is (lásd: I. táblázat).

Kidolgozott gyakorlati példák számításán keresztül a kivitel egyszerűsége világosan látható, ugyanez vonatkozik a pontosság meghatározására is.

I. TÁBLÁZAT

A lábkörfogazás jelzései MNOSZ szerint

α = szerszám kapcsolószög

ε = eredő kapcsolószög

$$\alpha_0 = \text{normál tengelytáv} = m \frac{z_1 + z_2}{2}$$

$$a = \text{magnövelt hézagmentes tengelytáv} = a_0 \frac{\cos \alpha}{\cos \varepsilon}$$

$$\Delta = \text{tengelytáv növekmény} = a - a_0$$

$$\nu = (x_1 + x_2) m = \text{tényleges késkihúzásösszeg} = \Delta + g = \text{szerszámelállítási-összeg}$$

g = tényleges fogcsonkítás

1 modulra

$$(z_1 + z_2) \frac{1}{2} = \text{fajlagos normál tengelytáv} = \frac{a_0}{m}$$

$$\delta = \text{fajlagos tengelytáv növekmény} = \frac{\Delta}{m}$$

$$x_1 + x_2 = \text{fajlagos késkihúzásösszeg} = \frac{\nu}{m}$$

$$\Phi = \text{fajlagos fogcsonkítás} = \frac{g}{m}$$

$$\Delta \% = \frac{\delta \cdot m}{a_0} \cdot 100 = \frac{\Delta}{a_0} \cdot 100 = \text{relatív. teng. táv. növekmény}$$

$$\nu \% = \frac{(x_1 + x_2) m}{a_0} \cdot 100 = \frac{\nu}{a_0} \cdot 100 = \text{relatív késkihúzásösszeg}$$

$$g \% = \frac{\Phi}{\delta} \cdot 100 = \frac{g}{\Delta} \cdot 100 = \text{relatív fogcsonkítás}$$

$$\eta = \frac{g \%}{\Delta \%} = \text{szorzószám hézagmentes teng. távból számítandó csonkításhoz}$$

$$\mu = \frac{g \%}{\nu \%} = \text{szorzószám késkihúzásösszegeből számítandó csonkításhoz}$$

r_n = normál lábkörsugár

R_n = normál fejkörsugár

r_k = korrigált lábkörsugár

R_k = korrigált fejkörsugár állandó $\frac{1}{6} m$ fejhézaggal.

R_M = korrigált fejkörsugár arányos (MAAG) fejhézaggal

$x_{m.n}$ = legkisebb késkihúzás (alámetszési határtól 0-ig)

x_{\max} = legnagyobb késkihúzás (hegyesedés, elégtelen kapcsolási szám)

Befejezésül a fogazás eddigi használatára vonatkozó rövid utalás után a lábkörfogazás számítási módjával összefüggő, belőle kiinduló és vele megoldott problémák rövid felsorolása is szerepel.

II. A fogazás rövid történeti ismertetése

Fogaskerekek alkalmazása évezredes multra tekinthet vissza. A legrégebbi korokban is használták a tökéletlen csaposfogú kerekeket, bár ezekkel csupán egyenlőtlen szögsebességű, ütközésekkel zavart forgást tudtak átvinni.

A fogaskerék abban a tökéletlen formájában maradt évszázadokon át, annak ellenére, hogy az órásipar a XIV. századtól kezdve kénytelen volt a mai értelemben vett fogaskerekeket is alkalmazni.

Szerencsére az itt szóbjöheto végtelen kicsi sebességek és erök miatt a fogak kis mérete és viszonylag nagy fogszáma fölöslegessé tette a fogazás majdnem minden problémájának megoldását.

A helyzet néhány matematikai és geometriai elméleti értékü tanulmány ellenére évszázadokon át változatlan maradt. A XIX. században a gőzgépek alkalmazása az iparban minden vonalon szükségessé tette az eröátvivó fogaskerekek alkalmazását is.

Az előfordult hibákat és nehézségeket először ipari úton próbálták legyözni, de a fordulatszám, illetve a sebességek növekedésével mindjobban nyilvánvalóvá vált, hogy helyes elmélet nélkül teljesen lehetetlen az egyre súlyosabbá váló feladattal megbirközni.

A fogazás helyes elmélete több, kevesebb sikerrel, tévedéssel, visszaesséssel majdnem 100 év munkája árán ma már azt mondhatjuk, teljesen készen áll előttünk.

A történelmi fejlődés egyes fázisai annyira közismertek, hogy felesleges részletesen felsorolni őket. Ugyanígy nem süksés ma a mult században még népszerű ciklois fogazás ismertetése sem, annál inkább, mivel cikkünk a fogazások közül csak a gépipar és a tömeggyártás mai igényeit legjobban kielégítő evolvens fogazás egy korszerű számítási módját ismerteti.

A fogazás ipari eszköze, a szerszám, erősen befolyásolja a gyakorlat és elmélet irányát, annyira, hogy nélküle a fejlődést meg sem lehet érteni.

III. A szerszám és elmélet kialakulása

A gyáripár egyre rohamosabb fejlődése már a mult században kívánatossa tette nemcsak a fogazószerszámok csökkentését, hanem az egyenlő osztással bíró kerekek sorozatos alkalmazását is. A soros kerekek és csoport kerekek használata főleg a szerszámgépiparban vált szükségessé, az evolvensprofil alkalmazása azonban csak elméletileg oldotta meg az itt szükséges feladatokat.

A villamos motorok aránylag nagy fordulatszáma a század végén a motoros vontatás terén újabb veszedelmet jelentett. A motor és a hajtókerék közötti fogaskerékáttétel igen nagy módosítást kívánt, a rendelkezésre álló hely kicsisége ellenére az itt fellépő nagy erök szükségessé tették a fogak erősítését, tehát a fogszámcsökkenést, a lehetőség határáig.

A kis fogszám alkalmazása előtérbe hozta ismét az alámetszés kérdését. Ezt a rejtélyes jelenséget már a mult században észlelték és részben fellépése, részben fel nem ismerése annyira megrontotta az evolvens fogazásba vetett akkor még indokolatlan bizalmat, hogy alkalmazását hosszú időre valósággal megbénította.

Az 1899-ben megjelent AEG fogazás a nagy módosítás esetére meg is oldotta a kérdést fix profileltolás segítségével, amely megszüntette a kis kerék

alámetszését. A nagykerék 60—80 fogszáma minden lényeges gyengülés nélkül kibírta a ráeső (—) profileltolást. A megmunkáló szerszám tárcsamaró volt.

Még súlyosabb feltételek elé állította a fogaskereket az ebben az időben rohamosan fejlődő autóipar.

Nagy fordulatszám, nagy teherbírás mellett, kis súly és kis méretek egyszerre váltak kívánatosná anélkül, hogy bármelyik feltétel az eddigi viszonyok mellett teljesíthető lett volna. Szerszám és elmélet egyszerre vált sürgőssé.

A tömeggyártás egyik eszköze a csigamaró, már 1856 óta ismert volt összes előnyeivel és hibáival, a másik szerszám a tárcsamaró, viszont teljesítő-képesség tekintetében alig jöhetett szóba.

Az autó- és motorkerékpárgyártás ebben az időben két irányban kísérte meg a nehézségeken segíteni. Az egyik «el a fogaskerekkel» jelszóval, közvetlen hajtással, villamos, hidraulikus áttétellel, sűrűdő kerekkel próbálta az áttétel és sebességváltás kérdését megoldani, a másik szép csendesen elkövetett mindent amit tudott, piacra dobta a fogaskerékes hajtóművet úgy, ahogy sikerült. Az előbbieket a mai napig sem haladtak előre semmit, az utóbbiak csendes munkáját siker koronázta, sőt az elmélet és gyártás egyidejű lépcsőzetes, lassú fejlődése nagyrészt az ő szívós és kitartó munkájuknak köszönhető.

1908-ban *Sunderland* feltalálta az evolvens fogazás pontosan előállítható generáló szerszámát a fésűskést, amelyhez ugyanazon időben *Max Maag* svájci mérnök megalkotta a ma is róla elnevezett fogaskerék helyesbítő (korrekciós) rendszert.

Módszerét nem közölte, csupán kész táblázatok formájában használták egyes gyárak, még ezt is a nélkül, hogy az elmélet lényegét ismerték volna.

A nagy titkolózás arra a szomorú eredményre vezetett, hogy 1920-ban annak ellenére, hogy a gyárak évtizedek óta a fogaskerek millióit készítették, a gyáripari fogazásról nemcsak a szerkesztőknek, de még a fogazás egyetemi színvonalon álló tanárainak sem állt adat rendelkezésére (lásd *Hermann*: Gépelemek című, 1924-ben megjelent, máskülönben kitűnő és ma is értékes szakkönyvet).

Az a nézet alakult ki és a gyárakban azt lehetett hallani, hogy a fogaskerék helyett valami újat kellene kitalálni.

Az irodalmi adatok híján kissé tanácstalanul álltam ugyan, viszont láttam idegen eredetű megnyugtató alakú, erős fogakkal kiképzett kis fogszámú fogaskereket is, anélkül, hogy a sok rossz és első pillanatra is hibás kerék mellett ez a vele foglalkozók érdeklődését felkeltette volna.

A fogaskerék, mint gépelem erősen kezdett érdekelni, sőt a fogaskerék-problémához kapcsolódik első állásom története] is, egy kis autó tervezésével kapcsolatban.

Később a csepeli WM gyárban, majd a kispesti Hofherr traktorgyárban már üzemileg is foglalkozhattam a fogazás minden ágával. Először teljesen elméleti úton az evolvens matematikai és geometriai tulajdonságainak megismeréséhez fogtam hozzá.

A profileltolás, tengelytávnövelés, csúszási viszonyok, szilárdság együttes vizsgálata után az igen bonyolult és nehezen kezelhető (MAAG) hézagmentesítés számításának egyszerűsítése is szükségessé vált.

IV. A korrigált fogazás mai állás

A gépszerkesztés a takarékoság és súlycsökkentés elvénél fogva következetesen törekszik a fogaskerék méreteinek csökkentésére. A kis méretek és nagy erők átvitelére tehát lehetőleg kis fogszámú kerekeket alkalmaz.

A fogszámcsökkentés arra az eredményre vezet, hogy az alámetszés elkerülése végett kis fogszámösszegű kerékpároknál nem lehet a szokásos $\alpha = 15^\circ$ kapcsoló-szöget megtartani, hanem csak megnövelt szög mellett lehetséges az alámetszést, így a foggyengülést, valamint az igen kis fogszámösszeznél pl. $z_1 + z_2 = 16$ a kapcsolóvonal megrövidülését s ezzel a kapcsolási szám csökkenését elkerülni.

Nagy fogszámú kerekeknél nem szükséges kapcsolószögnövelés, így ha ennél a rendszernél maradnánk, több szerszám kellene még egy moduluson belül is.

Még egy nehézség adódnék, ezt főleg a gépszerkesztési gyakorlatban láthatjuk. A teljesen mereven meghatározott tengelytávolságok betartása a szerkesztő kezét annyira megkötné, hogy nehezen tudna 2-nél több tengelyen ülő, egymással összekapcsolt keréksorozatokat kiképezni, továbbá az előbb említett sok szerszám esetében egy kerékpárhoz harmadik kapcsolódó kereket nem is lehetne szerkeszteni.

Ugyanez a hiba lép fel akkor is, ha $\alpha = 20^\circ$ -os kapcsolási szögű késsel csak profileltolással készítünk kerekeket, az önmagában helyesen korrigált párhoz lehetetlen még egy harmadik kereket kapcsolni.

Ez az eset pedig a sebességváltóban akár a hátramenet, akár a továbbhajtás esetét tekintjük, majdnem mindig előfordul.

Az összes hibákat és nehézségeket csak az általános fogazás oldja meg, a kapcsolószög-változtatás.

Ez a rendszer a csúszási viszonyok figyelembevételével alkalmazott profileltolással kombinálva módot nyújt a szerkesztőnek arra, hogy két tengelyen ülő helyesen korrigált kerékpárjához harmadik vagy akár negyedik tengely alkalmazásával is egymásközt szilárdsági és csúszási szempontból jól kiképzett további fogaskerékpárokat alkalmazzon. Az általános fogazás még egy felbecsülhetetlen jó tulajdonsággal bír a gépszerkesztő kezében, ez a tengelytávolság csekély mértékű változtatási lehetősége.

Mivel 25° kapcsoló-szögön felül a kapcsolási szám erős csökkenése lép fel, ebből a szempontból az $\alpha = 15^\circ$ -os szerszám használata a helyes, mivel itt 15° — 25° között mozogva a fogazási lehetőségek nagyobbak, mint az $\alpha = 20^\circ$ -os, tehát csak 20° — 25° közötti változást megengedő kés használatánál.

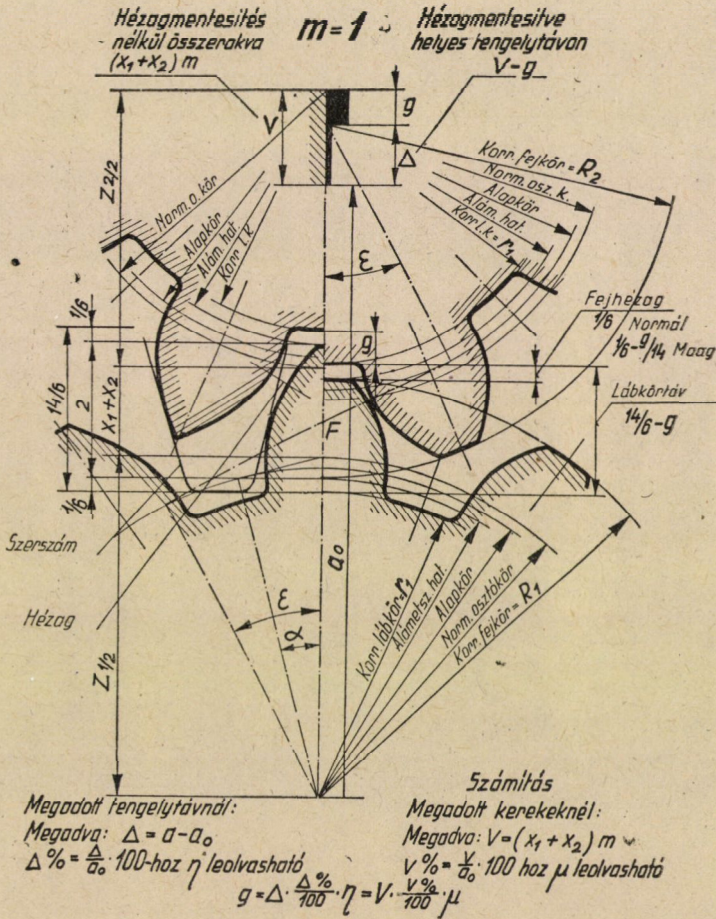
Ezzel a problémával álltam szemben már a legelső sebességváltó tervezésénél is. Tervezés közben a lehetőségek mérlegelése és az elhelyezés nehézségei szükségessé tették egy-egy fogazás gyors és vázlatos számítását, így a hézagmentesítést is.

Gyors, egyszerű módszer kellett, ezért dolgoztam ki a lábkeréggazást.

Az előbbieken csak megmunkált kerékről volt szó, természetesen minden nyersen öntött, vagy kovácsolt kerék számításához alkalmas ugyanez az eljárás, tehát a lábkeréggazás számítási módszere is a gyártási tolarenciák figyelembevételével is.

V. A lábkörfogazás keletkezése

A fogazóműhelyben használt gépek és szerszámok alapján, az evolvens elmélet birtokában a fogazószerszámából kiindulva igen könnyen sikerült olyan nagyméretű valóságos szerszámmozgást feltüntető rajzokat készíteni, amelyen az általános fogazás minden titka az alámetszési problémától a hézagmentesítésig valósággal plakátszerűen látható volt.



1. ábra

Ennek alapján az 1. ábra szerinti matematikai levezetés semmi nehézséget nem okozott. A műhelyben uralkodó fogszámra vonatkoztatott véleménnyel ellentétben rögtön látható volt, hogy a hézagmentesítésnek nincs köze sem a fogszámhoz, sem a moduluszhoz.

Az I. táblázat jelölése szerint a II. tábla képleteivel fokenkénti számítást végeztem.

Az eredmény a 2. ábrán látható meglepő összefüggés volt, amely szerint a $\Delta\% = 100 \Delta/a_0$ relatív tengelytávnövekménnyel majdnem azonos változás.

II. TÁBLÁZAT

Alapképletek

$$\Delta\% = \left(\frac{\cos \alpha}{\cos \varepsilon} - 1 \right) \cdot 100$$

$$g\% = \left[\frac{(\operatorname{inv} \varepsilon - \operatorname{inv} \alpha) \cos \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha (\cos \alpha - \cos \varepsilon)} - 1 \right] \cdot 100$$

$$\eta = \frac{(\operatorname{inv} \varepsilon - \operatorname{inv} \alpha) \cos^2 \varepsilon - \operatorname{tg} \alpha (\cos \alpha - \cos \varepsilon) \cos \varepsilon}{\operatorname{tg} \alpha (\cos \alpha - \cos \varepsilon)^2}$$

$$\mu = \eta \left(\frac{1}{1 + \frac{g\%}{100}} \right)^2$$

$g = \Delta \cdot \Delta\% \cdot \eta$ megnövelt tengelytávból számított csonkítás tényleges értéke
 $g = \nu \cdot \nu\% \cdot \mu$ tényleges késkihúzásösszegeből számított csonkítás, azonos az előbbivel

$$g = a - a_0 = \nu - \Delta = \Phi \text{ m.}$$

$$r_n = \left(\frac{z_1}{2} - \frac{7}{6} \right) m$$

$$r_k = r_n + x_1 \cdot m$$

$$R_n = \left(\frac{z_1}{2} + 1 \right) m$$

$$R_k = R_n + x_1 m - g$$

$$R_M = R_k + \frac{g}{14}$$

1 modulra :

$$\Phi = \delta \frac{\Delta\%}{100} \eta = (x_1 + x_2) \frac{\nu\%}{100} \cdot \mu$$

$x_1 z_1 = x_2 z_2$ a késkihúzások megközelítő felosztása

x_{\min} = lásd diagrammot és táblázatot

x_{\max} = lásd diagrammot és táblázatot

$$r_n = \frac{z_1}{2} - \frac{7}{6}$$

$$r_k = r_n + x_1$$

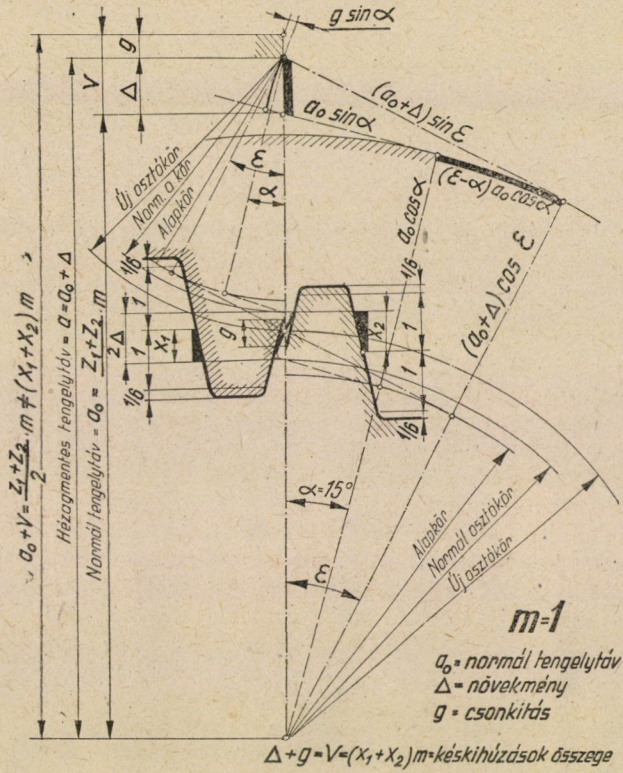
$$R_k = R_n + x_1 - \Phi$$

$$R_M = R_k + \frac{\Phi}{14}$$

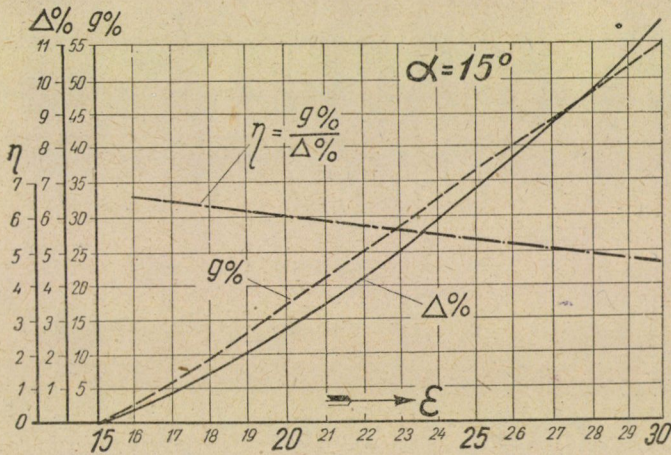
függvény is felállítható. Ez a függvény a párban dolgozó, késkihúzással korrigált kerék fogazószerszámainak összetolásából származó g távolság (általam fogcsonkításnak nevezett) abszolút méretének Δ -ra vonatkoztatott függvénye.

Ez a $g\% = 100 g/\Delta$ függvény megfelelő léptékben majdnem összeesik $\Delta\%$ függvénnyel, így kézenfekvő volt egy $g\%/\Delta\% = \eta$ vezérgörbe előállítása; amelynek igen kicsiny változása egy noteszlapon is lehetővé teszi a harmadik tizedes ábrázolását és leolvasását.

Elsősorban a szokásos $\alpha = 15^\circ$ kapcsolószögű rendszerre számítottam ki hétszámjegyű logaritmussal az η függvényt $15^\circ 15'$ -től fokenként 30° -ig (lásd III. táblázat).



2. ábra



3. ábra

Az η függvényt $\Delta\%$ függvényében ábrázolva meghatározott tengelytáv-növelés esetében már nem volt szükséges ϵ új kapcsolószög kiszámítása sem, ami a pontosságot erősen növelte (3. ábra).

III. TÁBLÁZAT
 $\alpha = 15^\circ$ -os fogazás adatai

ε	$\Delta\%$	$g\%$	η	$\nu\%$	μ
15 ^{1/2}	0,23822	1,6380	6,8762	0,24212	6,6563
16	0,48521	3,2866	6,7736	0,50116	6,3494
17	1,0060	6,6435	6,6034	1,0729	5,8062
18	1,5634	10,057	6,4326	1,72069	5,3108
19	2,1585	13,511	6,2592	2,4501	4,85789
20	2,7916	17,037	6,1029	3,26720	4,4557
21	3,4648	20,587	5,9405	4,17809	4,0853
22	4,1785	24,180	5,7868	5,1888	3,7526
23	4,9343	27,816	5,6372	6,3069	3,4506
24	5,7337	31,478	5,4900	7,5386	3,1759
25	6,5780	35,153	5,3439	8,8904	2,9256
26	7,4690	38,893	5,2072	10,3740	2,6992
27	8,4083	42,638	5,0709	11,9930	2,4924
28	9,3978	46,407	4,9380	13,7590	2,3037
29	10,4395	50,196	4,8083	15,6790	2,1314
30	11,535	53,993	4,6811	17,764	1,9732

A Δ mm méretű valódi értékéből közvetlen kapható g mm valódi értéke logarlécszámítással is

$$g = \Delta \frac{\Delta\%}{100} \eta \text{ képlet alapján.}$$

Ez a g távolság az a méret, amely a két szerszámfej összegét jelentő »lábkörtávolság«-ból levonva az elméletileg hézagmentes kerékpárt szolgáltatja.

Mivel ez a számítás közvetlenül az evolvensgörbén alapul, a 15° -os fésűkések minden elképzelhető fajtája és kombinációja esetén érvényes.

A lábkörtáv normál szerszámnál = $14/6$ m.

A fejhézag lehet állandó = $1/6$ m vagy arányos a lábkörtávval, ebben az esetben a MAAG-fogazást kapjuk = $1/6 - g/14$.

A fogszámösszeg csökkentésével egyre növekvő késkihúzásokkal lehet csak az alámetszést elkerülni.

Ilyen esetben sokszor nem lehet a tengelytávolságot előre pontosan felvenni. Ugyanez áll kész kerek párosásával kapcsolatban is.

Megadott x_1 és x_2 szerszámállításokhoz vagy késkihúzásokhoz új függvényt kellett tehát előállítani.

Ha képezem $(x_1 + x_2) m = \nu = \Delta + g$ kifejezést, ebből $\nu/a_0 = \nu\%$ alapján kell g csonkítás abszolút értékét kiszámításra alkalmas alakra hozni.

Ez az érték a $g = \nu \cdot \nu\% \mu$ új vezérgörbe alapján számítható ki.

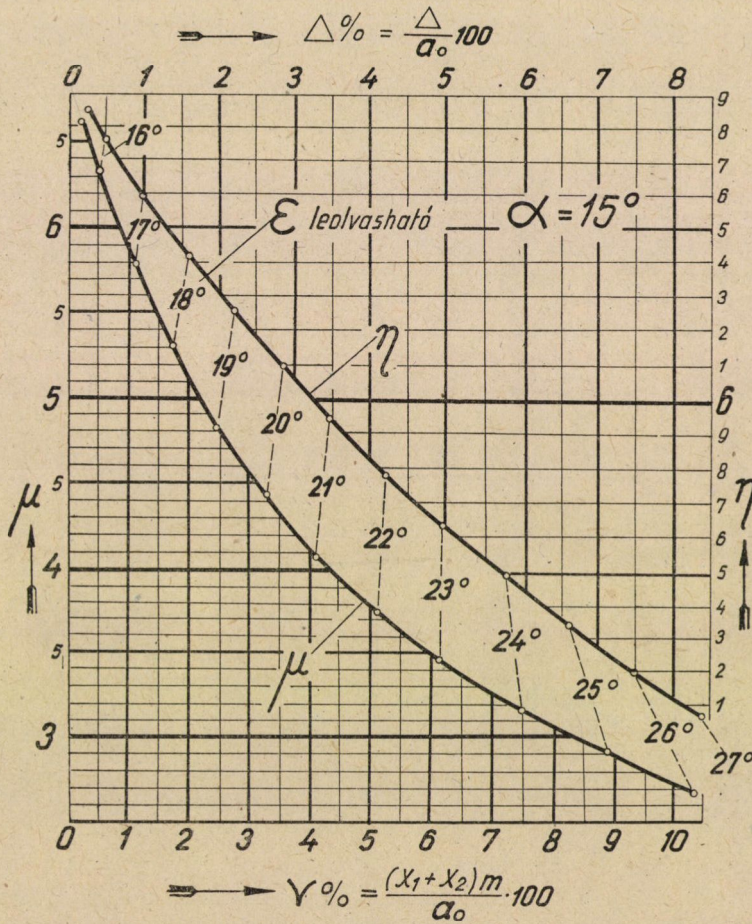
ν, μ inverz függvény az inverz korrekció kiszámítására szolgál.

Az evolvensgeometria paraméteres szerkezete miatt erre az esetre nincs közvetlen matematikai eljárás, úgyhogy képletünk sem más, mint az előbb ismertetett állandó tengelytávolságú rendszer transzformációjának végterméke.

$$g = \nu \nu\% \mu \text{ -ből } \mu = \eta \left(\frac{1}{1 + \frac{g\%}{100}} \right)^2$$

A 4. ábrán ugyancsak $\alpha = 15^\circ$ -ra ν, μ vezérgörbe is megtalálható.

Még a második világháború előtt a Hofherr-gyár fogazóműhelyében kipróbált számítási mód azonnal jó kereket adott, és így miután a profileltolások helyes elosztása a csúszási és szilárdsági alapon már a korábbi időkben birto-
komban volt, a gyár az eddig 36 svájci frankon rendelt külföldi számításokat megszüntette.



4. ábra

A többhetes külföldi levelezés helyett ezentúl a traktor- és vontatók fogaskerekeit azonnal párpercnyi logarlécszámítás útján meg tudtam határozni ami a szerkesztést igen meggyorsította.

A számítás alapja a fejkör helyett a lábkör lett, ez a feltűnő tény adott alkalmat a *lábkörfogazás* elnevezésre.

Ugyancsak a lábkör az összekötőelem a szerszám és a kerék között, amint ismert a fejkör mérete a fogazásra nincs befolyással, csupán a két kerék közötti hézag szükséges mértéken tartását szolgálja.

Ha nem normál, hanem magasított fejű nagyolókéssel, vagy rövidített fejű ú. n. tömpe fogazókéssel készítünk is kereket, az imént leírt eljárás azonos, csak a lábkörtáv és így a fejkörök változnak.

VI. Szükséges adatok

Az egyenes homlokkerékfogazás helyesbítése (korrekciója) a méretezésen kívül négy részből áll:

1. tengelytáv-széthúzás (változtatás),
2. hézagmentesítés,
3. késkihúzás elosztása,
4. üzemi hézag- és toleranciamegállapítás.

Mivel a lábkörfogazás számítási alapja a szerszám által készített lábkör, amely a szerszámelállítási és a szerszámfejhosszon kívül semmi más tényezőtől nem függ, a lábkörfogazáshoz az α szög, az x_1 , x_2 késkihúzások, és a fogazószerszámok fejmélységének összegén kívül semmi más adat nem szükséges.

A késkihúzások összege $\nu = (x_1 + x_2) m$, a csonkítás valódi nagysága g , a modulustól és a fogszámától teljesen független, tehát a fogszám szerint csupán x_1 és x_2 megállapítása szükséges, amelyből $(x_1 + x_2) m - g = \Delta$ azonnal kiszámítható.

A lábkörfogazás egyik főeleme a pontos hézagmentesítés éppen g csonkítás győrsan elvégezhető kiszámítása, amelyhez az adatokat η és μ vezérgörbéről olvashatjuk le.

x_1 és x_2 késkihúzások kiszámítása az alámetszés, szilárdsági és csúsztási viszonyok alapján végezhető el.

VII. Grafikonok és táblázatok

A lábkörfogazás felépítését az 1. ábra mutatja.

A képletekből számított általános adatokat a

III. táblázat 15° ,

IV. táblázat 20° ,

V. táblázat $14\frac{1}{2}^\circ$ -ra mutatják.

Az η tényezőt más kapcsolószögű rendszerre is kiszámíthatjuk így az 5. ábrán 20° -ra,

6. ábrán $14\frac{1}{2}^\circ$ -ra is.

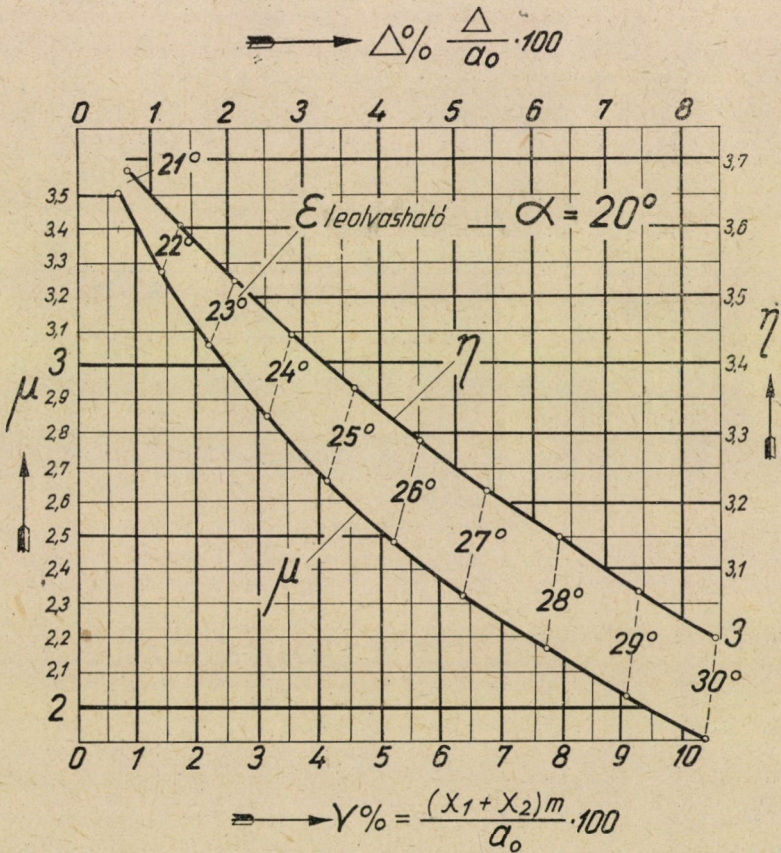
IV. TÁBLÁZAT

$\alpha = 20^\circ$ -os fogazás adatai

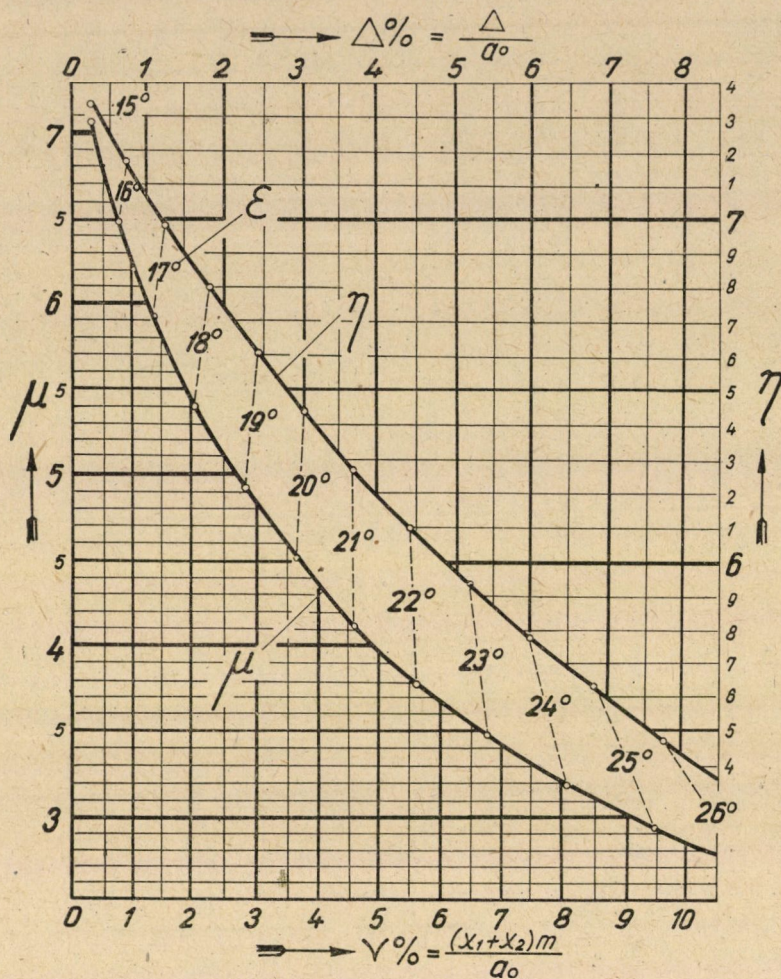
ε	$\Delta\%$	$g\%$	η	$\nu\%$	μ
19	— 0,61618	2,37713	3,8578	— 0,6382	3,68075
21	0,65471	2,41107	3,6887	0,67052	3,51706
22	1,34910	4,86888	3,6089	1,41477	3,28171
23	2,08447	7,35287	3,5274	2,23804	3,06091
24	2,86215	9,86732	3,4457	3,14456	2,85476
25	3,68362	12,41214	3,3696	4,14083	2,66666
26	4,55038	14,97646	3,2910	5,23184	2,48959
27	5,46343	17,58656	3,2189	6,42228	2,32815
28	6,42676	20,18388	3,1405	7,72387	2,17441
29	7,44012	22,81873	3,0669	9,13780	2,03321
30	8,50636	25,47263	2,9945	10,67310	1,90211

V. TÁBLÁZAT
 $\alpha = 14\frac{1}{2}^\circ$ -os fogazás számítása

ε	$\Delta^\circ/\%$	$g^\circ/\%$	η	$\nu^\circ/\%$	μ
14	-0,22137	1,65971	7,4974	-0,22504	7,2547
15	0,23002	1,68572	7,3285	0,23389	7,0877
16	0,71635	5,13830	7,1728	0,75315	6,4889
17	1,23842	8,64965	6,9814	1,34553	5,9141
18	1,79706	12,22139	6,8005	2,01668	5,4000
19	2,39330	15,84200	6,6193	2,77245	4,9326
20	3,02810	19,51552	6,4448	3,61903	4,5120
21	3,70266	23,22820	6,2733	4,56271	4,1312
22	4,41807	26,98251	6,1073	5,61015	3,7876
23	5,17572	30,77615	5,9462	6,76860	3,4768
24	5,97697	34,59827	5,7885	8,04488	3,1951
25	6,82327	38,44717	5,6347	9,44661	2,9397
26	7,71625	42,32660	5,4853	10,9822	2,7079
27	8,65775	46,23006	5,3397	12,6602	2,4971
28	9,64954	50,15700	5,1978	14,3995	2,3053
29	10,69335	54,10911	5,0600	16,4794	2,1306
30	11,79206	58,07298	4,9247	18,6339	1,9709



5. ábra



6. ábra
 $\alpha = 14\frac{1}{2}^\circ$

VIII. A lábkörfogazás számítása

Ha egy a szerszámkapcsolószögre η és μ vezérgörbékét elkészítettük, az általános fogazás bármely pár kerekére a korrekciós számítás a normálkerékre vonatkoztatva a következő:

1. tengelytávolság megadás nélkül, kerékpározás alapján:

$$\alpha = 15^\circ \quad a = (15 + 25) \frac{5}{2} = 100 \text{ mm}$$

$$z_1 = 15 \quad x_1 = 0,5$$

$$z_2 = 25 \quad x_2 = 0,5 \frac{15}{25} = 0,12 \text{ legegyszerűbb felosztási mód szerint}$$

$$m = 5,0 \text{ mm} \quad \nu = (0,5 + 0,12) 5 = 3,1 \text{ mm}$$

$$\nu\% = 100 \frac{3,1}{100} = 3,1\%$$

$\mu = f(\nu)$, vezérgörbe szerint $\nu = 3,1$ -hez $\mu = 4,52$ (lásd 3. ábra); amelyből g csonkítás valódi mérete azonnal kapható, mert

$$g = \nu \frac{\nu\%}{100} \mu = 3,1 \frac{3,1}{100} 4,52 = 0,438 \text{ mm}$$

$\Delta = \nu - g = 2,662 \text{ mm}$, ebből $\Delta\% = 100 \frac{2,662}{100} = 2,662\%$ s így az eredő kapcsoló szög kiszámítható, vagy — 3. ábrából leolvassa — $\varepsilon \approx 19^\circ 45'$.

2. Ha $\Delta = 2,662 \text{ mm}$ megadott érték, az előbbi számítás felesleges, helyette megadott távnál a $\eta = f(\Delta)$, vezérgörbéről számítunk:

$$\Delta\% = \frac{2,662}{100} 100 = 2,662, \text{ amelynek } \eta = 6,14 \text{ felel meg.}$$

$g = 2,662 \frac{2,662}{100} 6,14 = 0,438$ az előbbi érték, így kerékpárunk minden mérete azonnal képezhető.

z_1 kerékhez a lábkörsugár:

$$r_1 = m \left(\frac{z_1}{2} + \frac{7}{6} + x_1 \right) \text{ minden } \alpha = 15^\circ \text{ normál késhez.}$$

$$r_1 = 5 \left(\frac{15}{2} - \frac{7}{6} + 0,5 \right) = 34,166 \text{ mm}$$

a fejkörsugár megállapításánál figyelembe kell venni a fejhézag nagyságára előírt megállapodást

1. Állandó fejhézaggal:

$$R_1 = m \left(\frac{z_1}{2} + 1 + x_1 \right) - g$$

$$R_1 = 5 \left(\frac{15}{2} + 1 + 0,5 \right) - 0,438 = 44,562 \text{ mm}$$

2. MAAG szerinti arányos fejhézaggal:

$$R'_1 = m \left(\frac{z_1}{2} + 1 + x_1 \right) - g + \frac{g}{14}$$

$$R'_1 = 45 - 0,438 + \frac{0,438}{14} = 44,5932 \text{ mm};$$

ezen az alapon más tetszésszerinti fejhézaggal is képezhetünk kereket.

z_2 kerékre:

$$\text{lábkör } r_2 = 5 \left(\frac{25}{2} - \frac{7}{6} + 0,12 \right) = 50,2266 \text{ mm}$$

$$\text{Állandó } R_2 = 5 \left(\frac{25}{2} + 1 + 0,12 \right) - 0,438 = 67,662 \text{ mm}$$

$$\text{MAAG } R'_2 = R_2 + \frac{0,438}{14} = 67,5932 \text{ mm.}$$

$$\text{Tengelytáv} = 102,662 \text{ mm.}$$

IX. A lábkörfogazás pontossága

Ha a MAAG-fogazásnál használt A függvényt vizsgáljuk, azonnal feltűnik a fogaskerékgyártás nagy pontosságához képest aránylag durva felépítése.

A mm $1/100$ részeit kitevő apró méretváltozások olyan relatív óriási méretekhez hozzácsapva szerepelnek, mint az átmérők összege.

A szokásos átmérők a mm százszorosában szerepelnek, a csonkítás, tehát a változás $0,1$ mm nagyságrendű, s így mivel a bennünket érdeklő méret csak a 4. tizedesben szerepel, a hétszámjegyű logaritmus gondos kezelése ad használható eredményt.

Olyan megoldás ez, mintha valaki zsebóráját úgy mérné meg, hogy a megrakott szeneskocsit megmérve az óra rátevése után a két mérés különbségéből óhajtana pontos értéket kapni.

Utólag nem lehet eldönteni, hogy *Maag* csupán a helyzet fel nem ismerése miatt lépett erre az útra, vagy helyes matematikai tudását raffinált üzleti spekulációk útján burkolta ilyen nehezen kezelhető formába.

A következő számítás meggyőzően mutatja, hogy a lábkörfogazás nemcsak egyszerűségben, hanem pontosságban is messze felette van az eddigi hézagmentesítési eljárásoknak.

MAAG-fogazásnál a hézagmentesítés az A függvény alapján végezhető el.

A fejkörök átmérő összegét képezve :

$$2(R_1 + R_2) = m [4 + A(z_1 + z_2)] = 4m + A 2a_0$$

az A függvény percről-percre kiszámított táblázat alapján közvetlenül a fejkörök összegét adja.

A tengelytávszéthúzásból kiszámított új kapcsolószög $1'$ -nyi változása jelenti tehát a számítás pontosságának mértékét.

Mivel a további számítás hétszámjegyű logaritmussal végezhető úgyis csak el, pontosságát abszolútnak vesszük.

A lábkörfogazás pontossága ugyancsak a leolvasható adatok ε -ra vonatkoztatott szögváltozásával fejezhető ki.

Ez a változás azonban nem a nagyméretű $a_0 = \frac{z_1 + z_2}{2} m$ tengelytávra, hanem a hozzáképest igen kicsi g fogcsonkításra vonatkozik.

Ezen az alapon a két rendszert azonnal összehasonlíthatjuk. A pontossági viszonyszám

$$\frac{\text{lábkörfogazás}}{\text{MAAG-fogazás}} = \frac{1' a_0}{n' g}$$

A képletben n' az η vagy μ vezérgörbéről leolvasható értékek minimális távolsága ε szög függvényében percben kifejezve.

Ez az érték MAAG-nál $\frac{1}{60}$ fok = 1 perc.

Lábkörfogazásnál igen kis ábránál (noteszlapon) $\frac{1}{5}$ fok $12'$. Nagyobb

ábránál nincs szükség $\frac{1}{10}$ fok $6'$ -nél pontosabb leolvasásra.

A lábkörfogazásnál a logarlécszámítás is elegendő, mivel csak a harmadik tizedes szerepel.

A VI. táblázatban látható a lábkörfogazás logarlécszámításának pontossága a MAAG hétszámjegyű számítással szemben. Követhető, hogy a számítás pontossága ε növekedésével rohamosan csökken, ennek ellenére a kevésbé pontos 12' tehát $1/5^\circ$ leolvasási hiba mellett még $\varepsilon = 30^\circ$ -nál is 1,37-szer pontosabb a MAAG-nál.

A 7. ábra ugyanezt a pontosság logaritmikus függvényében még szemléltetőbben ábrázolja.

VI. TÁBLÁZAT

MAAG fogazáshoz viszonyított pontosság, ha						
$\alpha = 15^\circ$ és a lábkörfogazás leolvasási pontossága:						
ε	1'	2'	6'	12'	30'	60'
15	∞	∞	∞	∞	∞	∞
17	1470	735	245	122,5	49	24,5
20	208	104	34,7	17,3	6,95	3,47
25	42	21	7	3,5	1,4	0,7
30	16	8	2,66	1,33	0,533	0,266

A pontosság relatív mértékén kívül az abszolút értékek is érdekelnek, ezekről egy példa számítása kapcsán lesz szó.

Szám példa a pontosság számítására

A $z_1 = 15$, $z_2 = 25$, $m = 5,00$ mm esetben $\alpha = 15^\circ$ -nél;
tengelytávnövelés $\Delta = 2,662$ mm.

$\eta = 6,14$; leolvasás pontossága 0,01 hiba mellett $\frac{0,01}{6,14} = \frac{1}{614}$ rész; $a_0 = 100$ mm, $g =$
 $= 2,662 \cdot \frac{2,662}{100} \cdot 6,14 = 0,438$ mm;

a leolvasás pontossága $\frac{0,438}{614} = 0,0071$ mm a gyakorlati határon belül van.

$z_1 = 12$, $z_2 = 68$, $m = (9,000 \text{ mm } \alpha = 15^\circ)$ $a_0 = 400$ mm.

$\Delta = 6$ mm $\Delta \% = \frac{6}{400} \cdot 100 = 1,50$

$\eta = 6,44$, a leolvasás pontossága 0,01 hiba mellett $\frac{0,01}{6,44} = \frac{1}{644}$

$g = 6 \cdot \frac{1,5}{100} \cdot 6,44 = 0,580$ mm

pontosság $= \frac{0,580}{644} = 0,0090$ mm.

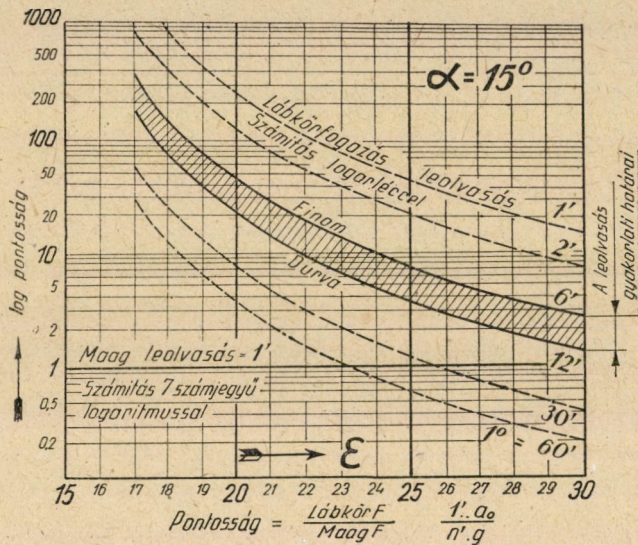
Ha valamilyen módon a kész kerékátmérőt adjuk meg, a számítási pontosság 1000 : 10^3 -szor kisebb lesz, mivel az átmérő n_1 100 a korrekció n_2 0,1 mm.

X. A lábkörfogazás használhatósági köre

A hézagmentesítés ilyen egyszerű számítása az $x_1 x_2$ késkihúzások, valamint a tengelytáv-növelés szükségszerű vagy optimális megállapításával lehetővé teszik a korrigált fogazáson kívül a gyakorlottabb szerkesztők részére az általános fogazás minden elképzelhető lehetőségét.

Az η és μ vezérgörbék minden gyakorlati fogazási esetben elegendő pontos adatokat adnak a hézagmentesítés elvégzésére, ezért nem szükséges a felvett ε kapcsolószög finomabb felosztása a táblázatban közölt 1° -os lépcsőzésnél.

Mivel így egy megadott $\alpha = 15^\circ$ -os késhez 1 táblázat készítése a fogazás



7. ábra

szempontjából érdektelen (—) tengelytáv-változást is beleértve max. 20 adatscsoportból áll, lehetővé válik a különböző α szerszámszögekre kevés adatból álló teljes értékű táblázatok készítése.

Ha a szokásos $14\frac{1}{2}^\circ$, 15° , $17\frac{1}{2}^\circ$, 20° szögeken kívül más értékekre is szükség volna, keresztezett interpolációval ez is megállapítható.

Ilyen esetekre a ferde homlokkerékfogazásnál van szükség, ahol a tengelytávolság százalékos megnövelésével fellépő g csonkítás kiszámítása csak a homlokszögnek megfelelő korrekciós rendszerből lehetséges.

XI. Összefoglalás

Az iparban a párhuzamos tengelyeket összekötő egyenes vagy ferde homlokkerékfogazás a leggyakoribb. Rendszerint itt van szükség a gépek egyéb

műszaki feltételei miatt az általános fogazás alkalmazására, még sokszor az *alámetszési és csúszási problémától függetlenül is.*

Az alámetszés elkerülése, a profileltolások praktikus elosztása, az előforduló fogazási problémák gyors megoldása az általános fogazás ismeretét tételezi fel.

A korrekció MAAG-, vagy más hasonló rendszere nehezen kezelhető, az átmenet a sokszor elégséges normál fogazásba nem világos és egyértelmű.

Az üzemi gyakorlatban előforduló helytelen alámetszett fogazások akár nyers, akár megmunkált fogagnál világosan mutatják a való helyzetet.

A helyes fogazás népszerűsítését, tehát az eddigi nehézkes módszerek nem képesek elérni, szükség volt egy olyan rendszerre, amely a normál fogazásból kinőve, szorosan hozzásimulva, az apró eltérések könnyű és egyszerű kiszámítása, világos mérlegelése útján nyújt segítséget a szerkesztő részére.

Szükséges még, hogy a számítás módszere az elemi alpműveleteket meg ne haladja és az üzemi pontosságot kevésbé gondos logarlécszámítással is elérje.

Ilyen rendszert kívántam a lábkörfogazás bevezetésével a szerkesztő részére nyújtani, egyszerű világos számítási móddal, egyszerű eszközökkel.

XII. A lábkörfogazás eddigi használata

Az 1938. évtől kezdve a Hofherr-traktorgyár fogazóműhelyében végeztem az első kivitelezéseket, rövidesen már minden kereket magam számítottam, ami a szerkesztési időt is megrövidítette.

Az egyenes fogazáson kívül a ferde homlokkerékfogazás korrekciójára szintén alkalmazható volt.

A számítás mód a homlokkeréken kívül az *ideális fogszám* bevezetésével a kúpkerékre, valamint a csiga- és csavarkerékre is azonnal változtatás nélkül alkalmazhatóvá vált.

XIII. A lábkörfogazás alapján megoldható további elvi problémák és gyakorlati segédtablázatok

A $\Delta\%$ relatív tengelytáv növekmény, valamint a $g\%$ relatív csonkítás bevezetésével lehetővé vált egy meghatározott α kapcsolószögű rendszerre az egyes kerekre vonatkoztatott kapcsolóhossz és így az eredő kapcsolószám gyors megállapítása is.

A hézagmentesítés meggyorsításán kívül a lábkörfogazás megkönnyítette a legcélszerűbb késkihúzások szilárdsági és Hertz-feszültség alapján való meghatározását, lehetővé tette az evolvens fogazás elméleti határainak felkutatását, a 2, 3 sőt több tengelyen ülő egymással összefüggő többszörös kapcsolású fogaskerékpárok tervezését, sőt a különböző fogazórendszerek egyesítését egyszerű és világos alakban.

Ezek a tablázatok méretüknél fogva külön tárgyalást igényelnek, ugyanígy az evolvens fogazás véghatárát képező vizsgálatok is, amelyek szervesen kapcsolódnak a lábkörfogazás számítási és szemléleti módszereihez.

GANZ—BOTKA FOGAZÁSI RENDSZER

VARGA JÓZSEF

Az elemi és általános evolvensfogazás generálásának módszerei ismeretesek. Az elemi fogazás gyártásánál a lécpofilú szerszám lefejtőprofiljának középvonala érinti az osztókört. Az ily módon generált két fogaskerék az

$$a_0 = m \frac{z_1 + z_2}{2} \quad (1)$$

elemi tengelytávon hézagmentesen kapcsolódik.

Az általános evolvens fogazás gyártásánál a lécpofilú szerszám lefejtőprofiljának középvonala nem érinti az osztókört. Vagy másképp kifejezve: az osztókört érintő osztóvonal nem azonos a lefejtőprofil középvonalával. Ha a megfelelő fejkörökre esztergált két keréktestet például úgy fogazzuk, hogy a szerszámközépvonal az osztókörön kívül van, akkor a legyártott fogaskerek a vastagabb fogak miatt csak az

$$a > a_0$$

növelt tengelytávon kapcsolódnak hézagmentesen. A szükséges növelt tengelytávot az

$$a \cos \varepsilon = a_0 \cos \alpha \quad (2)$$

ismert egyenletből számítjuk ki.

Az általános evolvensfogazásnak két alaptörvénye van:

1. a gördülőkörök az osztókörökhöz képest a módosítás (áttétel) arányában nőnek. Ez a fogaskerék-kinematika alaptételéből következik:

$$\frac{r_{g2} - r_2}{r_{g1} - r_1} = i \quad (3)$$

2. hézagmentes fogazásnál a fajlagos szerszámelállítások algebrai összegének és a kerékkapcsolószögnek a következő ismert evolvensgeometriai összefüggést kell kielégíteni:

$$x = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\operatorname{inv} \varepsilon - \operatorname{inv} \alpha}{\operatorname{tg} \alpha} \quad (4)$$

ahol

$$x = x_1 + x_2 \quad (5)$$

Az x felosztása azonban nincs törvényhez kötve, vagy legalább is a legjobb felosztás törvényét nem ismerjük, ennél fogva a felosztás módszerét szabadon választhatjuk meg az alábbi geometriai határok figyelembevételével:

- a) kapcsolószám;
- b) foghegyesség;
- c) interferencia;
- d) alámetszés.

Az egyes fogazási rendszerek lényegében éppen a felosztás módjában különböznek egymástól; vagyis annak megállapításában, hogy mekkora legyen az x_1 és x_2 külön-külön. Az x_1 és x_2 meghatározásával tulajdonképpen azt döntjük

el, hogy az alapkörökhöz tartozó evolvenseknek melyik részét használjuk fogprofiloknak, ezért az említett korlátok közötti szabad felosztást elnevezhetjük a szabad profil kiválasztás elvének. A fogazási rendszerek között különbség van még abban, hogy a felosztást a fogazási tartomány milyen részére adják meg és kijelölik-e a tartomány határait, továbbá minden rendszerben más a fejkörök számításmódja.

A Ganz—Botka fogazás geometriai méretezése

A szilárdsági és melegedési szempontból kívánatos kerékkapcsolószög növelésnek a tervezésnél két ismert módja van:

1. tengelytávnövelés (az elemi tengelytávhoz képest).
2. fogszámösszegcsökkentés (az elemi fogszámösszeghez képest).

Mindkét módnál lényegében az a törekvésünk, hogy az adott, vagy választott tengelytávnál a kívánt kerékkapcsolószöget kapjuk, a fogszámok az előírt módosításnak megfelelően és a szerszámmodul szabványos legyen.

$$\text{Az} \quad a = \frac{z_1 + z_2}{2} m_g \quad (6)$$

egyenletből a gördülőmodul:

$$m_g = \frac{2a}{z_1 + z_2} \quad (7)$$

Ennek ismeretével:

$$\cos \varepsilon = \frac{m}{m_g} \cos \alpha \quad (8)$$

A kerékkapcsolószög és a szerszámkapcsolószög szerint az »Involut tör-függvénytáblázat«-ból kiolvasható az

$$\frac{\text{inv } \varepsilon - \text{inv } \alpha}{\text{tg } \alpha}$$

tör-függvény, amellyel a fajlagos szerszámelállítások algebrai összege

$$x = \frac{z_1 + z_2}{2} \frac{\text{inv } \varepsilon - \text{inv } \alpha}{\text{tg } \alpha}$$

egy szorzással kiszámítható.

Ebben a fogazási rendszerben közvetlenül nem a fajlagos szerszámelállítások algebrai összegét osztjuk el a két kerékre, hanem az x -szel kiszámítjuk a h' elméleti fogmagasságot és ennek a gördülőkörökhöz képest való szabad mozgatásával az alapkörökhöz tartozó evolvenseknek azokat a részeit választjuk fogprofiloknak, amelyeket szilárdsági és melegedési szempontokból kedvezőnek tartunk; még mielőtt a fejköröket magukat kiszámítottuk volna.

Méretezés változó kerékfejhézzal

Az elméleti fogmagasság számítása (1. ábra).

A tengelytávolság általános egyenlete:

$$a = r_{11} + r_{12} + h' + 2c \quad (9)$$

amelyben a c kerékfejhézag legyen változó, mégpedig a h' elméleti fogmagasságnak a

$$c = k h' \quad (10)$$

egyenlettel kifejezett függvénye. Ha azt akarjuk, hogy a kerékfejhézag arányosan változzék az elméleti fogmagassággal, akkor:

$$k = \text{const.}$$

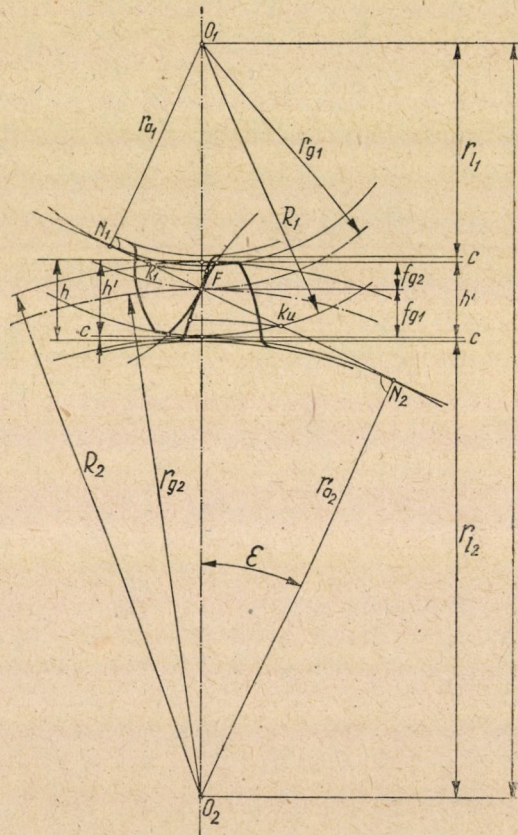
Helyettesítsük be c (10) alatti kifejezését a (9) egyenletbe:

$$a = r_{11} + r_{12} + h' + 2kh' = r_{11} + r_{12} + h'(1 + 2k),$$

ebből az elméleti fogmagasság:

$$h' = \frac{a - (r_{11} + r_{12})}{1 + 2k} \quad (11)$$

Természetesen ennek az egyenletnek érvényesnek kell lenni az általános fogazás



1. ábra

egyik különleges esetére : az elemi fogazásra is. Elemi fogazásnál tudjuk, hogy a c kerékfejhézag egyenlő a c_0 szerszámfejhézaggal, azaz :

$$c_{elemi} = c_0 = c'_0 m,$$

továbbá elemi fogazásnál az elméleti fogmagasság :

$$h'_0 = 2 m.$$

Behelyettesítve ezeket a (10) egyenletbe, kapjuk :

$$c'_0 m = k 2 m,$$

ebből

$$k = \frac{c'_0}{2} \quad (12)$$

ezt betéve a (11) egyenletbe :

$$h' = \frac{a - (r_{11} + r_{12})}{1 + c'_0} \quad (13)$$

és ezzel megkaptuk az elméleti fogmagasság általános egyenletét. Ebben :
 c'_0 = az egységnyi modulra vonatkozó szerszámfejhézag.

Mivel a lábkörsugarak :

$$r_{11} = m \left[\frac{z_1}{2} - (1 + c'_0) + x_1 \right] \quad (14)$$

ezekkel

$$r_{12} = m \left[\frac{z_2}{2} - (1 + c'_0) + x_2 \right] \quad (15)$$

azaz

$$r_{11} + r_{12} = m \left[\frac{z_1 + z_2}{2} - 2(1 + c'_0) + x_1 + x_2 \right],$$

tehát

$$r_{11} + r_{12} = m \left[\frac{z_1 + z_2}{2} - 2(1 + c'_0) + x \right],$$

$$h' = \frac{a - m \left[\frac{z_1 + z_2}{2} - 2(1 + c'_0) + x \right]}{1 + c'_0} \quad (16)$$

Ebből az egyenletből a fejkörök által kimetszett hossz a középponti egyenesen, vagyis az elméleti fogmagasság közvetlenül kiszámítható, miután már az x -et meghatároztuk és ha a szerszám egységnyi modulra vonatkozó fejhézag : c'_0 ismeretes.

A szokványos MAAG-simító fésűskésnél :

$$c'_0 = \frac{1}{6},$$

ezzel

$$h' = \frac{6}{7} \left[a - m \left(\frac{z_1 + z_2}{2} - \frac{14}{6} + x \right) \right] \quad (17)$$

Kiszámítottuk tehát az elméleti fogmagasságot a MAAG-féle A függvény nélkül is, mégpedig változó fejhézaggal. Egyedül az x kiszámításához kell az »Involut törtfüggvénytáblázat«, amelynek kidolgozása kétségtávol egyszerűbb, mint az A függvényé. Előny az is, hogy a fentnevezett segéd táblázat bármilyen fejhézagú szerszámra érvényes.

Megjegyezzük, hogy az elméleti fogmagasság egyenlete más c'_0 és h'_0 értékekkel jellemzett lécpofilú szerszám alkalmazása esetén is könnyen levezethető az előbbiekből alapján.

Az elméleti fogmagasság felosztása a két kerékre

Az elméleti fogmagasság tulajdonképpen a gördülőköröktől számított fejmagasságok összege. A felosztás lényegében tehát abból áll, hogy a fejmagasságokat külön-külön megállapítjuk. Erre a célra szolgál a »Profilkiválasztási táblázat«, amelyből a $(z_1 + z_2)$ fogszámösszeg, az i módosítás és az ε kerékapcsolószög függvényében kiolvassuk (szükség esetén interpolálva) a

$$q_2 = \frac{f_{g2}}{h'} \quad (18)$$

viszonyszámot; és ezzel a nagykerék fejmagassága a gördülőkörtől:

$$f_{g2} = q_2 h' \quad (19)$$

és mivel

$$h' = f_{g1} + f_{g2} \quad (20)$$

azért a kiskerék fejmagassága a gördülőkörtől:

$$f_{g1} = h' - f_{g2} \quad (21)$$

A fejkörsugarak számítása

A fejkörsugár a gördülőkörsugár és a fejmagasság összege:

$$R_1 = r_{g1} + f_{g1} = \frac{z_1}{2} m_g + f_{g1} \quad (22)$$

$$R_2 = r_{g2} + f_{g2} = \frac{z_2}{2} m_g + f_{g2} \quad (23)$$

A fogmagasság számítása (1. ábra)

$$h = h' + c \quad (24)$$

amelyben c értéke a (10) egyenletből:

és a (12) egyenletből:

$$c = k h'$$

$$k = \frac{c'_0}{2},$$

ezzel

$$c = \frac{c'_0}{2} h' \quad (25)$$

és

vagyis

$$h = h' + \frac{c'_0}{2} h',$$

$$h = h' \left(1 + \frac{c'_0}{2} \right) \quad (26)$$

A szokványos MAAG simító fésűskésnél

$$c'_0 = \frac{1}{6},$$

amellyel

$$h = h' \left(1 + \frac{1}{12} \right),$$

tehát

$$h = \frac{13}{12} h' \quad (27)$$

A lábkörsugarak számítása

$$r_{11} = R_1 - h \quad (28)$$

$$r_{12} = R_2 - h \quad (29)$$

A fajlagos szerszámállítások

A (14) egyenletből

$$x_1 = \frac{r_{11} - m \left[\frac{z_1}{2} - (1 + c'_0) \right]}{m} \quad (30)$$

$$x_2 = x - x_1 \quad (31)$$

A szokványos MAAG simító fésűskésnél:

$$c'_0 = \frac{1}{6},$$

ezzel

$$x_1 = \frac{r_{11} - m \left(\frac{z_1}{2} - \frac{7}{6} \right)}{m} \quad (32)$$

Méretezés állandó kerékfejhézaggal

Kiindulunk a tengelytávolság általános egyenletéből:

$$a = r_{11} + r_{12} + h' + 2c$$

Az állandó fejhézagú általános fogazást az jellemzi, hogy a kerékfejhézag egyenlő az elemi fogazás fejhézagával, vagyis a szerszámfejhézaggal; azaz

$$c = c_0.$$

Ezzel

$$h' = a - [(r_{11} + r_{12}) + 2c_0],$$

behelyettesítve a lábkörök összegét és a

$$2c_0 = 2m c'_0$$

kifejezést :

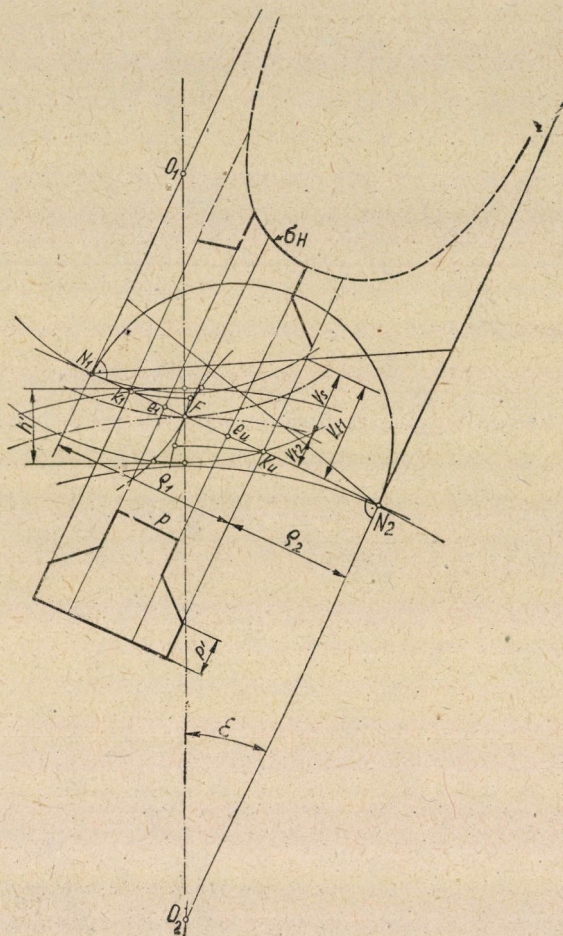
$$h' = a - m \left[\frac{z_1 + z_2}{2} - 2(1 + c'_0) + x + 2c'_0 \right],$$

ebből

$$h' = a - m \left(\frac{z_1 + z_2}{2} - 2 + x \right) \quad (33)$$

és a fogmagasság:

$$h = h' + c_0 \quad (34)$$



2. ábra

A méretezésre vonatkozó többi egyenlet teljesen megegyezik a változó fejhézagú fogazásnál közöltekkel.

A profil kiválasztás alapelvei

A Ganz—Botka fogazási rendszer a Hertz-feszültség csökkentésének elvére van felépítve, amely a fogaskerékpárral átvihető teljesítmény növelésének hatásos módszere. A Hertz-feszültség csökkentését a h' elméleti fogmagasság megfelelő elhelyezésével úgy érhetjük el, hogy a k_1 és e_1 kapcsolópontok (2. ábra) minél közelebb kerüljenek a főponthoz.

Az elméleti fogmagasság elhelyezésénél azonban tekintetbe kell venni a fogfelületek súrlódási viszonyait is.

Almen szerint [2] a fogfelületek berágódási hajlamának mértékét a hőmérséklet, a Hertz-feszültség és a csúszósebesség fejezi ki. A kapcsolat valamely fázisában a fogfelület hőmérsékletét nagyjából arányosnak veszi a Hertz-feszültség és a csúszósebesség szorzatával. Eszerint a berágódás (scoring) elkerülésének kritériuma az, hogy a $[\sigma_H v_s]$ szorzat értékével, bizonyos megengedett érték alatt maradjunk.

A Szovjetunióban [3] a hőmérséklet helyi, pillanatnyi emelkedésének számítási alapjául, valamely kapcsolási fázisnak megfelelő érintkezési nyomsávon, Blok alábbi formuláját [1] fogadták el:

$$\Theta = 0,83 \frac{\mu p' |v_{t1} - v_{t2}|}{(\sqrt{\lambda_1 \gamma_1 c_1 v_{t1}} + \sqrt{\lambda_2 \gamma_2 c_2 v_{t2}}) \sqrt{w}} \quad (35)$$

amelyben

Θ = hőmérsékletemelkedés a működő fogfelületek között $^{\circ}\text{C}$ -ban,

μ = a fogak közötti súrlódási tényező,

p' = vonalnyomás a vizsgált kapcsolási fázisban kg/cm -ben,

v_{t1} és v_{t2} = az érintkező fogprofilok közös érintősíkjaiba eső sebességkomponensek pillanatnyi értékei; röviden: tangenciális sebességek cm/sec -ben,

$|v_{t1} - v_{t2}| = v_s$ = a csúszósebesség pillanatnyi értéke,

$$w = 1,52 \sqrt{\frac{p'}{E} \frac{\varrho_1 \varrho_2}{\varrho_1 + \varrho_2}} \quad \text{az érintkezési nyomsáv félszélessége Hertz szerint}$$

cm -ben.

Acél-acél fogak esetén a hővezetési tényező, fajsúly és fajmeleg szorzatot: $\lambda_1 \gamma_1 c_1 = \lambda_2 \gamma_2 c_2 = 196$ -nak véve (a *Csudakov* enciklopédia [3] szerint), a (35) formulát egyszerűbb alakba írhatjuk:

$$\Theta = \mu \frac{0,06 p' |\sqrt{v_{t1}} - \sqrt{v_{t2}}|}{\sqrt{w}} \quad (36)$$

Eszerint a berágódás elkerülésének kritériuma az, hogy az érintkezési nyomsávon fellépő helyi, pillanatnyi hőmérsékletemelkedés a 2. ábra szerinti jellegzetes kapcsolópontokban (k_1 ; e_1 ; e_u ; k_u) ne legyen nagyobb egy bizonyos megengedett értéknél.

Ezeknek a kritériumoknak megtartása mindenestre nagyobb biztonságot ad, mint a viszonylagos (relatív) csúszásnak többnyire durván becsült határolása.

A profilkiválasztási táblázatok kidolgozása közben a Hertz-feszültség csökkentésével egyidejűleg *Botka* arra törekedett, hogy a két fogpár-kapcsolás első és utolsó pontjában: k_1 és k_u -ban a Blok-formulából számított hőmérsékletemelkedések ki legyenek egyenlítve. Az egész fogazási tartományra kiterjesztett kutatásai folyamán arra a nevezetes eredményre jutott, hogy: *ha a C relatív csúszások ki vannak egyenlítve, akkor a $[\sigma_H v_s]$ szorzatok és a kapcsolási hőmérséklet emelkedések is ki vannak egyenlítve, vagyis:*

$$\text{ha} \quad C_{k1} = C_{ku}$$

akkor

$$[\sigma_H v_s]_{k1} = [\sigma_H v_s]_{ku},$$

és

$$\Theta_{k1} = \Theta_{ku};$$

feltéve, hogy a súrlódási tényező a belépő- és kilépő kapcsolószakaszban állandó.

Ganz—Botka 1. sz. fogazási rendszer										Budapest, 1951.		
$\frac{m_g}{a} = 0,022$		Profilkiválasztási rendszer										
		$\alpha = 20^\circ$										
i	z_1	ε	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	
1	45	q_2	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
		κ	1,85	1,79	1,74	1,67	1,60	1,53	1,44	1,35	1,25	
		ν_{f_1}	0,828	0,797	0,769	0,746	0,730	0,722	0,724	0,736	0,762	
		k_{e_1}/k	~1	~1	~1	~1	~1	~1	~1	~1	~1	1,02
1,50	36	q_2	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,455	0,460	
		κ	1,83	1,78	1,72	1,66	1,59	1,52	1,43	1,35	1,25	
		ν_{f_1}	0,796	0,760	0,730	0,706	0,691	0,686	0,692	0,715	0,753	
		k_{e_1}/k	~1	~1	~1	~1	1,000	1,025	1,030	1,040	1,050	
2	30	q_2		0,405	0,410	0,415	0,420	0,425	0,430	0,435	0,440	
		κ		1,75	1,70	1,64	1,57	1,50	1,42	1,34	1,24	
		ν_{f_1}		0,717	0,683	0,667	0,655	0,656	0,670	0,700	0,747	
		k_{e_1}/k		~1	~1	1,000	1,040	1,050	1,060	1,075	1,090	
2,46	26	q_2		0,375	0,385	0,392	0,393	0,405	0,412	0,418	0,425	
		κ		1,72	1,67	1,61	1,55	1,48	1,41	1,32	1,23	
		ν_{f_1}		0,677	0,651	0,631	0,630	0,628	0,648	0,683	0,738	
		k_{e_1}/k		~1	~1	1,030	1,040	1,055	1,075	1,095	1,120	
3,09	22	q_2		0,345	0,355	0,363	0,371	0,380	0,388	0,396	0,405	
		κ		1,68	1,63	1,58	1,52	1,46	1,39	1,31	1,22	
		ν_{f_1}		0,623	0,597	0,580	0,575	0,586	0,612	0,655	0,720	
		k_{e_1}/k		~1	~1	1,030	1,050	1,070	1,090	1,120	1,160	
4	18	q_2		0,305	0,320	0,331	0,342	0,353	0,364	0,375		
		κ		1,62	1,58	1,54	1,48	1,42	1,36	1,28		
		ν_{f_1}		0,538	0,517	0,505	0,508	0,526	0,562	0,618		
		k_{e_1}/k		~1	~1	1,040	1,060	1,095	1,130	1,170		
5	15	q_2		0,270	0,285	0,297	0,309	0,321	0,334	0,347		
		κ		1,55	1,52	1,48	1,44	1,39	1,33	1,25		
		ν_{f_1}		0,440	0,422	0,414	0,423	0,449	0,496	0,564		
		k_{e_1}/k		~1	~1	1,040	1,080	1,120	1,165	1,210		
5,92	13	q_2			0,255	0,265	0,275	0,290	0,305	0,320		
		κ			1,47	1,44	1,40	1,35	1,29	1,23		
		ν_{f_1}			0,327	0,319	0,319	0,367	0,425	0,505		
		k_{e_1}/k			~1	1,040	1,080	1,130	1,180	1,250		
7,18	11	q_2			0,225	0,235	0,250	0,265	0,280			
		κ			1,42	1,38	1,35	1,31	1,26			
		ν_{f_1}			0,201	0,197	0,222	0,269	0,338			
		k_{e_1}/k			~1	1,070	1,110	1,160	1,240			
8	10	q_2			0,205	0,220	0,235	0,250	0,265			
		κ			1,38	1,35	1,32	1,28	1,23			
		ν_{f_1}			0,112	0,121	0,150	0,203	0,280			
		k_{e_1}/k			~1	1,080	1,120	1,180	1,270			

Szemelvény a Ganz—Botka fogazási rendszer táblázataiból.

Ganz—Botka 2. sz. fogazási rendszer

Budapest, 1951.

$\frac{m_g}{a} = 0,022$		Profilkiválasztási táblázat										
		$\alpha = 20^\circ$										
		$z_1 + z_2 = 90$										
i	z_1	ε	18°	19°	20°	21°	22°	23°	24°	25°	26°	
1	45	q_2	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
		α	1,85	1,79	1,74	1,67	1,60	1,53	1,44	1,35	1,25	
		v_{f1}	0,828	0,797	0,769	0,746	0,730	0,722	0,724	0,736	0,762	
		k_{e1}/k	~1	~1	~1	~1	~1	~1	~1	~1	~1	1,02
1,50	36	q_2	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,430	0,395	0,450	
		α	1,83	1,78	1,72	1,66	1,59	1,52	1,43	1,34	1,25	
		v_{f1}	0,796	0,760	0,730	0,706	0,691	0,686	0,679	0,675	0,675	0,753
		k_{e1}/k	~1	~1	~1	~1	1,020	1,030	1,030	1,030	1,030	1,050
2	30	q_2		0,405	0,410	0,410	0,410	0,410	0,390	0,355	0,440	
		α		1,75	1,70	1,64	1,57	1,50	1,41	1,32	1,24	
		v_{f1}		0,717	0,688	0,664	0,649	0,646	0,641	0,640	0,640	0,747
		k_{e1}/k		~1	~1	1,020	1,030	1,040	1,050	1,040	1,090	
2,46	26	q_2		0,375	0,385	0,385	0,386	0,375	0,350	0,310	0,425	
		α		1,72	1,67	1,61	1,55	1,48	1,39	1,30	1,23	
		v_{f1}		0,677	0,651	0,626	0,613	0,604	0,597	0,593	0,738	
		k_{e1}/k		~1	~1	1,020	1,040	1,040	1,040	1,040	1,120	
3,09	22	q_2		0,345	0,355	0,355	0,355	0,340	0,310	0,396	0,405	
		α		1,68	1,63	1,58	1,52	1,45	1,36	1,31	1,22	
		v_{f1}		0,623	0,597	0,573	0,561	0,549	0,538	0,655	0,720	
		k_{e1}/k		~1	~1	1,020	1,040	1,040	1,040	1,120	1,160	
4	18	q_2		0,305	0,320	0,320	0,315	0,295	0,364	0,375		
		α		1,62	1,58	1,53	1,47	1,40	1,36	1,28		
		v_{f1}		0,538	0,517	0,493	0,478	0,461	0,562	0,618		
		k_{e1}/k		~1	~1	1,030	1,040	1,040	1,130	1,170		
5	15	q_2		0,270	0,285	0,285	0,275	0,321	0,334	0,347		
		α		1,55	1,52	1,48	1,42	1,39	1,33	1,25		
		v_{f1}		0,440	0,422	0,398	0,377	0,449	0,496	0,564		
		k_{e1}/k		~1	~1	1,030	1,040	1,120	1,165	1,210		
5,92	13	q_2			0,255	0,265	0,275	0,290	0,305	0,320		
		α			1,47	1,44	1,40	1,35	1,29	1,23		
		v_{f1}			0,327	0,319	0,329	0,367	0,425	0,505		
		k_{e1}/k			~1	1,040	1,080	1,130	1,180	1,250		
7,18	11	q_2			0,225	0,235	0,250	0,265	0,280			
		α			1,42	1,38	1,35	1,31	1,26			
		v_{f1}			0,201	0,197	0,222	0,269	0,338			
		k_{e1}/k			~1	1,070	1,110	1,160	1,240			
8	10	q_2			0,205	0,220	0,235	0,250	0,265			
		α			1,38	1,35	1,32	1,28	1,23			
		v_{f1}			0,112	0,121	0,150	0,203	0,280			
		k_{e1}/k			~1	1,080	1,120	1,180	1,270			

Szemelvény a Ganz—Botka fogazási rendszer táblázataiból

Buckingham szerint [4] edzett fogaknál a súrlódási tényező a kapcsolás folyamán állandónak tekinthető.

Edzett fogaknál tehát a Ganz—Botka 1. sz. fogazási rendszert javasoljuk, amely az előbbi hármás kiegyenlítés alapján van kidolgozva.

Nem edzett fogaknál *Buckingham* szerint a súrlódási tényező a kilépő kapcsolószakaszban jelentékenyen kisebb, mint a belépőben. Ez lehetővé teszi a Hertz-feszültségnek az 1. rendszerhez képest való további csökkentését, vagyis az e_1 kapcsolópontnak további eltolását a főpont felé; anélkül, hogy a kilépő kapcsolószakaszban nagyobb hőfokemelkedést idéznénk elő, mint a belépőben. Ily módon fokozzuk a nem edzett fogak gödrösödéssel (pitting) szembeni ellenállóképességét. Ezen az alapon van kidolgozva a Ganz—Botka 2. sz. fogazási rendszer középső vastag vonallal bekerített része.

A profilkiválasztási táblázatban megadtuk a q_2 viszonyszámán kívül a v_{j1} fejszalagvastagságot a kiskeréken; a kapcsolószámot és a k_{e1}/k viszonyszámot, amely azt mutatja, hogy az egy fogpár-kapcsolás első pontjában mennyivel nagyobb a palástnyomástényező, mint a főpontban.

I R O D A L O M

- [1] Blok, H.: General discussion on lubricants and lubrication. T. 2. London, 1937.
 [2] Almen, J. O.: Dimensional value of lubricants in gear design. SAE Journal. 1942. sept.
 [3] ЧУДАКОВ, Е. А.: МАШИНОСТРОЕНИЕ 2. МОСКВА, 1948.
 [4] Buckingham, E.: Analytical mechanics of gears. 1949.
 [5] Szeniczai L.: Az általános fogazás. 1941.
 [6] Vörös J.: Fogaskerekek. 1942.

FOGASKEREKEK KAPCSOLÓDÁSBAN LÉVŐ FOGAINAK SZÁMA, MINT REZGÉSTKELTŐ TÉNYEZŐ

VARGA JÓZSEF

Rezgésmentes működés általában minden gépnél kívánatos. Vannak olyan gépek, ahol ez elengedhetetlen kívánalom, mint pl. a szerszámgépeknél, ahol a nagyobb fajlagos teljesítményű gépek építésére való törekvéssel egyidőben lép fel a rezgésmentesség biztosításának problémája.

A rezgésmentes működés biztosítása nehéz feladatok elé állítja a gép-szerkesztőket. Elsősorban azért, mert sokszor a rezgéstkeltő okoknak a felderítése is nehézségekbe ütközik. A rezgéstkeltő okok felderítése a rezgésmentességnek már a tervezésnél való biztosítása rendszerint csak beható vizsgálatok és mélyenszántó megfontolások alapján lehetséges.

E rövid tanulmány célja, rámutatni egy olyan rezgéstkeltő forrásra a fogaskerékajtások területén, amely még a fogaskerekek tárgykörében is járatos szakemberek figyelmét sem keltette fel és a gépszerkesztők széles körei előtt teljesen ismeretlen. A fogaskerekeknél ugyanis a kapcsolásban lévő fogak száma a rezgéstkeltés szempontjából — mint azt a következőkben látni fogjuk — nem közömbös. A jelenség lényegének megvilágítására és a könnyebb tárgyalás kedvéért a következő (valójában rendszerint elő nem forduló) egyszerűsítéseket tételezzük fel a kérdés vizsgálatával kapcsolatban.

a) Az egymással kapcsolódó fogpárok között a terhelés egyenletesen oszlik el, azaz a kapcsolódó fogpárok mindegyike egyformán van terhelve.

Eszerint az egyenlőtlen fogbehajlásokból eredő egyenlőtlen terheléeloszlást elhanyagoljuk, tehát a kapcsolódó fogpárok között fellépő fognyomás a kapcsolódás tartama alatt állandó nagyságú.

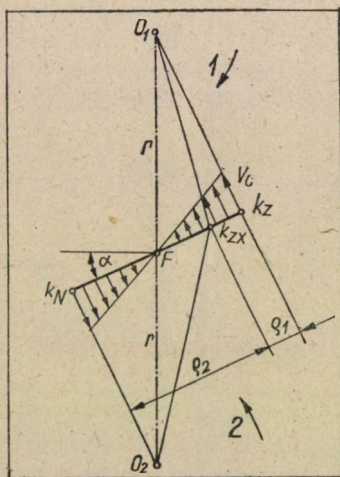
b) A kapcsolódó fogpárok között fellépő súrlódó erők egyenesen arányosak a fogakra ható normális erővel és a súrlódási tényezővel, azaz a csúszási viszonyok a súrlódási tényezőt nem befolyásolják.

c) Az előbbi feltételezések mellett a vizsgálatot olyan evolvens fogprofilú fogaskerékpárra végezzük el, ahol a fópont a kapcsolóhosszt két egyenlő hosszúságú részre osztja és a kapcsolódás kezdő- és végpontja az alapkörön fekszik.

d) A vizsgált fogaskerekekről feltételezzük, hogy azok fogprofilja és osztása teljesen tökéletes.

Az előbb mondottak figyelembevételével két esetet fogunk megvizsgálni:

1. a kapcsolóhossz egyenlő az osztással,
2. a kapcsolóhossz kétszerese az osztásnak, vagy annak páros számú többszöröse.



1. ábra

Az első esetben csupán egy fogpár van kapcsolatban, a második esetben kettő vagy a feltételezett párosszámú többszörös fog kapcsolódik.

Vizsgálatunkhoz meg kell határozni az egymással kapcsolódó fogakra ható erőket, ill. azok alakulását a kapcsolóhossz mentén. Mivel a fogak között fellépő súrlódásból is keletkeznek erőhatások és a súrlódási erőket a fogak között fellépő csúszás kelti, szükséges, hogy először a csúszási viszonyokat tisztázzuk.

Az 1. ábrán az előbbi feltételezésünknek megfelelő fogaskerékpár (1, 2) kapcsolóvonalára van feltüntetve, amelynek kezdő- és végpontja az alapkörön fekszik (k_z , k_N). Egyenlő nagyságú kerekekről lévén szó, az osztókör sugarak (r) és szögsebességek (ω) azonosak. Egy tetszőleges (k_{zx}) pontban a csúszási sebesség, mint ismeretes

$$v_c = \varrho_1 \omega - \varrho_2 \omega = \omega (\varrho_1 - \varrho_2)$$

ahol

$$\varrho_1 = \overline{k_Z k_{Zx}}; \varrho_2 = \overline{k_{Zx} k_N}$$

a k_{Zx} ponthoz tartozó görbületi sugarak.

A k_Z pontban, miután $\varrho_1 = 0$ és $\varrho_2 = 2r \sin \alpha$

$$v_c = -2r \omega \sin \alpha$$

az F főpontban, mivel $\varrho_1 = \varrho_2$

$$v_c = 0$$

a k_N pontban viszont $\varrho_1 = 2r \sin \alpha$; $\varrho_2 = 0$

$$v_c = -2r \omega \sin \alpha.$$

Mint látható, esetünkben a csúszási sebesség a kapcsolódás kezdőpontjában maximális értékű egyik irányban, a főpontban nincsen csúszás, míg a kapcsolásból való kilépés pontjában a csúszás a kapcsolódás kezdőpontjában fellépő csúszással azonos maximális értékű, de ellenkező irányú. A csúszás iránya a kapcsolódásba való belépéstől (k_Z) a főpontig (F) a hajtó (1) kerék középpontja felé mutat és minden pontban merőleges a kapcsolóvonalra. A főponttól a kapcsolódásból való kilépésig (k_N) az előbbivel ellenkező irányú és ugyancsak merőleges a kapcsolóvonalra; mint azt az 1. ábrába berajzolt nyilak mutatják. A csúszási értékek nagysága eszerint arányos a főponttól a kapcsolóvonalon mért távolsággal és irányuk mindig érintőleges a fogfelületekhez képest.

Vizsgáljuk ezután a fogakra ható erőket. Erőhatások a fogakon kétféleképpen következtekben lépnek fel:

a) az erőátvitel következtében;

b) a fogak egymáson való elcsúszása következtében fellépő súrlódás folytán.

A fogakra ható erők a 2. ábrán vannak feltüntetve, ahol a feltételezéseinknek megfelelő fogaskerékpár egymással kapcsolódó fogoldalai vannak felrajzolva három helyzetben, úgymint a kapcsolódás kezdetén, a főpontban és a kapcsolódás végén. Az 1. kerék a hajtó, a 2. kerék a hajtott. (A következőkben 1 és 2 indexekkel fogjuk jelölni az 1. ill. 2. kerekhez tartozó értékeket. A kapcsolóvonal $k_Z F$ részét *zárási*, az $F k_N$ részét *nyitási* szakasznak nevezzük, mivel e két kapcsolóvonalrész mentén megy végbe a fogak záródása, ill. nyitása).

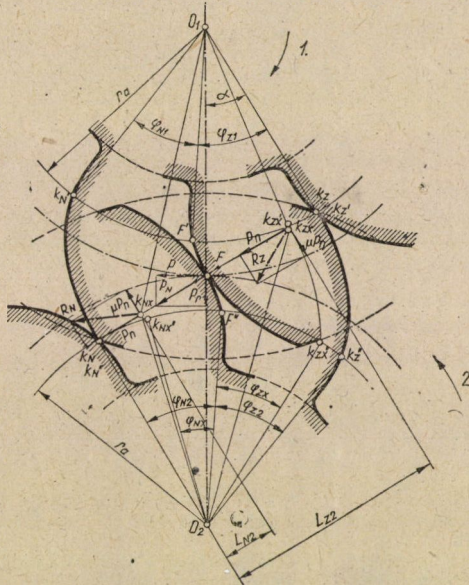
Az erőátvitelből eredő P_n erő mindig a kapcsolóvonal irányában hat. (Az ugyanolyan nagyságú, de ellenkező irányú reakció-erő az ábrán nincsen feltüntetve). A főpontban felrajzolt P_n erő két összetevőre bontható. Ezek közül a P erő merőleges a kerekek középpontját összekötő egyenesre és az osztókörsugárral szorozva az átvitt nyomatékot adja. A P_r összetevő a hajtott kerék középpontja felé mutat és a csapágyterhelést jelenti.

Az erőátvitel következtében fellépő elsődleges erőkön kívül a fogak egymáson való elcsúszása folytán súrlódóerők is keletkeznek, amelyek értelemszerűen merőlegesek az elsődleges erőkre és a csúszással ellentétes irányba mutatnak. Nagyságuk az erőátvitel következtében fellépő erő és a súrlódási tényező nagyságától függ csupán. Miután feltételeztük, hogy a csúszási különbségek a súrlódási tényezőt nem befolyásolják, ebből következik, hogy a súrlódó erők nagysága és iránya a zárási szakaszban állandó. A nyitási szakaszban ugyancsak állandó értékű a súrlódó erők nagysága, de ellenkező irányú.

A 2. ábrán mind a zárási szakasz egy tetszőleges pontjában (k_{Zx}), mind a nyitási szakasz egy tetszőleges pontjában (k_{Nx}) be vannak rajzolva az erő-

átvitelből származó elsődleges erők (P_n) és a súrlódásból keletkező erők (μP_n) és ezek eredői (R_Z, R_N). Látható, hogy a zárási szakaszban az eredő erő a kapcsolóvonalnál nagyobb ferdeségű vonal mentén hat. A nyitási szakaszban viszont az eredő erő kisebb ferdeségű a kapcsolóvonalnál.

Ebből az egyszerű gondolatmenetből világosan kitűnik, hogy az általánosan elterjedt felfogás, amely szerint a súrlódás a kapcsolási szöveget állandó értékkel növeli, csak a zárási szakaszban igaz, mert a nyitási szakaszban éppen ellenkezőleg, a súrlódás a kapcsolási szöveget állandó értékkel csökkenti.



2. ábra

Jelmagyarázat :

 r_a = alapkör sugar α = számkapcsolószög k_{ZkN} = kapcsolóhossz k_{Zx} = tetszőleges kapcsolódási pont a zárási szakaszban k_{Nx} = tetszőleges kapcsolódási pont a nyitási szakaszban F = főpont

$k''_Z, k''_{Zx}, F'', k''_{Nx}, k''_N$ = az evolvensgörbék kezdőpontjai az alapkörön a hajtott keréknél, tehát a k_{ZkN} távolság azonos a k''_Z, k''_N ívhosszal és így tovább

 $F''O_2$ = az a sugár, ahonnan a hajtott kerék működési szögét mérjük φ_{Z2} = a hajtott kerék zárási szöge φ_{N2} = a hajtott kerék nyitási szöge $\varphi_{Zx}, \varphi_{Nx}$ = tetszőleges szög a zárási, illetve nyitási szakaszban $(F''O_2k''_{Zx}, \text{ illetve } k''_{Nx}O_2F'')$ μ = súrlódási tényező (állandónak tételezve fel) P_n = a fogak között fellépő normális irányú erő L_{Z2} = a súrlódási erő karja a hajtott keréknél zárási szakaszban L_{N2} = a súrlódási erő karja a hajtott keréknél nyitási szakaszban

Ezután vizsgáljuk meg a súrlódó erők szerepét abban az esetben, amikor a kapcsolóhossz egyenlő az osztással. A súrlódó erők a kapcsolódás kezdőpontjától kezdve egészen a főpontig, tehát a teljes zárasi szakaszban a kapcsolódás minden pontjában nyomatékot keltenek, amely nyomaték — a hajtott (2) kereket vizsgálva — ellenkező irányú az erőátvitel nyomatékával. Így pl. egy tetszőleges k_{Zx} pontban ez a súrlódási nyomaték:

$$M_s = \mu P_n L_{Z2}$$

Ez a nyomaték nem állandó, hanem a főpont felé haladva csökkenő karjával arányosan kisebbedik. Mivel

$$L_{Z2} = r_a \operatorname{tg} \alpha + r_a \varphi_{Zx} = r_a (\operatorname{tg} \alpha + \varphi_{Zx})$$

A súrlódásból keletkező nyomaték

$$M_s = \mu P_n r_a (\operatorname{tg} \alpha + \varphi_{Zx})$$

E változó nagyságú nyomaték által kifejtett munka, amely a zárasi szakaszban a hajtott kerék forgását meggátolni igyekszik

$$A_{2Z} = P_n r_a \int_0^{\varphi_{Z2}} \mu (\operatorname{tg} \alpha + \varphi_{Zx}) d\varphi$$

Az integrálást végrehajtva

$$A_{2Z} = -P_n r_a \left(\mu \operatorname{tg} \alpha \varphi_{Z2} + \frac{\mu}{2} \varphi_{Z2}^2 \right)$$

Mivel

$$\varphi_{Z2} r_a = \bar{K}_Z \bar{F} = r_a \operatorname{tg} \alpha$$

$$\varphi_{Z2} = \operatorname{tg} \alpha$$

Ezzel

$$A_{2Z} = P_n r_a \left[\mu \operatorname{tg}^2 \alpha + \frac{\mu}{2} \operatorname{tg}^2 \alpha \right] = 1,5 P_n r_a \operatorname{tg}^2 \alpha \mu$$

A nyitási szakaszban, mint már előzőkben megállapítottuk, a súrlódó erők nagysága ugyanakkora marad, de ellenkező irányúak. Ennek következtében az általuk keltett nyomaték a hajtott kereket a forgásban segíti.

A súrlódó erők által a nyitási szakaszban keltett nyomaték

$$M_s = \mu P_n L_{N2}$$

Mivel

$$L_{N2} = r_a \operatorname{tg} \alpha - r_a \varphi_{Nx} = r_a (\operatorname{tg} \alpha - \varphi_{Nx})$$

Ezzel

$$M_s = \mu P_n r_a (\operatorname{tg} \alpha - \varphi_{Nx})$$

A nyomaték forgást elősegítő munkája

$$A_{2N} = P_n r_a \int_0^{\varphi_{N2}} \mu (\operatorname{tg} \alpha - \varphi_{Nx}) d\varphi$$

$$A_{2N} = P_n r_a \left(\mu \operatorname{tg} \alpha \varphi_{N2} - \frac{\mu}{2} \varphi_{Nx}^2 \right)$$

és mivel

$$\varphi_{N2} = \varphi_{Z2} = \operatorname{tg} \alpha$$

$$A_{2N} = 0,5 P_n r_a \operatorname{tg}^2 \alpha \mu$$

Látható, hogy a súrlódó nyomaték a zárási szakaszban veszteséget okoz az erőátvitelben, míg a nyitási szakaszban elősegíti azt, természetesen a hajtókerék nyomatékának terhére. Azt is láthatjuk, hogy a súrlódási nyomatékok folytán fellépő veszteség, ill. nyereség nagysága a két szakaszban különböző, a folyton változó súrlódási nyomaték miatt.

A súrlódási nyomatéknak minden osztáson belül az előbbieken jellemzett nagyságrendbeli és iránybeli változásai, rezgések keltésére alkalmas impulzusokat adnak.

A súrlódó erőknek ezen felül még egy másodlagos hatásuk is van, ami a csapterhelésekre gyakorolt befolyásukban nyilvánul meg. A súrlódó erők ugyanis a csapterhelést a főpont kétoldalán ellenkező irányban befolyásolják, tehát a csapágynyomások hol nőnek, hol csökkennek. A csapágynyomásoknak ez a változása egy újabb okot ad rezgések keltésére.

Vizsgáljuk meg ugyanezt a kérdést arra az esetre is, amikor a kapcsolóhossz kétszerese az osztásnak, vagy párosszámú többszöröse annak.

A súrlódó erők ugyanúgy hatnak, mint az előbb vizsgált esetben, a végeredmény azonban mégis egészen más. Az előbb vizsgált esetben a súrlódó erők először a kapcsolat kezdetétől a főpontig az egyik irányban, majd a főponttól a kapcsolatból való kilépés pontjáig a másik irányban hatnak. A súrlódó erők eszerint váltakozva egyszer a főponttól jobbra, majd a főponttól balra hatnak. Abban az esetben, amikor a kapcsolóhossz kétszerese az osztásnak, vagy annak párosszámú többszöröse, mindig a főpont mindkét oldalán egyszerre hat két erőrendszer, ahol az erők nagysága ugyanaz, de irányuk ellenkező. Az egyenlő nagyságú és ellenkező irányú erők erópárt alkotnak. Ez az állandó nagyságú erópár végigvándorol a kapcsolóhosszon. Ebben az esetben tehát állandó nagyságú súrlódási nyomaték keletkezik, amely az erőátvitel nyomatékával ellenkező irányú, de éppen állandó nagyságánál fogva nem okozhat rezgéseket.

Miután az erópárnak nincsen eredője, ezért a csapágyterhelésekre sincsen befolyással, ellentétben az előzőleg tárgyalt esettel és így a csapágyazásokban sem kelt rezgéseket.

Ez a gondolatmenet egyúttal megmagyarázza azt, hogy a ferdefogazású vagy nyilfogatású kerekkel miért lehet a nyugodt járást könnyen biztosítani. Képzeljük el az első esetben a fogaskerékpár mindegyik kerekét a tengelyre merőlegesen kétfelé metszve és az egyik tárcsáfelet a tengely körül félosztással elfordítva a mellette lévő másik tárcsához képest. Ebben az esetben az előbb vázolt kedvező viszonyok teljesítve volnának. A ferdefogazású fogaskerek ezek a követelményeket teljesítik, feltéve, hogy a fogferdeség szöge elég nagy.

Ez a vizsgálat megmutatta a következőket:

- a) a súrlódás nem növeli állandó értékkel a kapcsolási szöget,
- b) Evolvens fogazású kerekknél a páros fogsám a kapcsolatban állandó nyomatékat és csapágynyomást okoz, míg ha páratlan fogsám van kapcsolatban, akkor az váltakozó nyomatékat és csapágynyomást kelt, ami különböző rezgések forrásává válik.

Azoknak a rezgéseknek, amelyek ily módon keletkeznek elsősorban a fogaskerék-hajtás, vagy fogaskerék-hajtómű teljes együttesének rezgésbe jutásánál, mint rezgéstkeltő forrásnak van jelentőségük. Miután bizonyos kerületi sebességek alatt a keltett rezgések frekvenciája viszonylag kicsi, a fogaskerékzaj szempontjából, az ily módon előálló rezgéseknek csak kisebb jelentőségük van, bár nagysebességű hajtásoknál a fogaskerékzaj szempontjából ez a szempont is figyelmet érdemel.

Természetesen az előbbieket csak egy példát mutattak be abból a célból, hogy utat mutassanak a további vizsgálatokhoz. A viszonyok minden fogaskerékpárnál változnak. A vizsgálatok elvégzése azoknak a korlátozó feltevéseknek alkalmazása nélkül, amelyeket a jelenség könnyebb megvilágítása céljából tettünk, nem ütközik túlzottan nagy nehézségekbe.

E vizsgálat a bemutatott jelenségen kívül még arra is felhívja a figyelmet, hogy a fogaskerekek határfoka, azok foggeometriai viszonyaival is összefüggésben van.

AZ ÁLTALÁNOS EVOLVENSFOGAZÁS INTERFERENCIÁJA

(Részlet a Ganz-Botka fogazási rendszer elméletéből)

BOTKA IMRE

Összefoglalás. E tanulmányban a szerző ismerteti kutatásainak három eredményét, amelyek az $\alpha = 20^\circ$ -os alapprofilú általános evolvensfogazás tartományának, illetve a tartomány határainak megállapításához nélkülözhetetlenek. Kimutatja, hogy bizonyos fogszám-összeztől kezdve a fogazás felső határát nem a kapcsolószámnak a $\kappa = 1$ értékre való csökkenése képezi, hanem a fogak már előbb bekövetkező interferenciája.

Leírja a rejtett szerszámelállítást, amely akkor jön létre, amikor pl. 20° -os evolvensprofilú 15° -os szerszámkapcsolószögű köszörütárcsákkal köszörülnek. A rejtett szerszámelállítás az interferencia veszélyét fokozza és ezáltal a fogazás tartománya szűkül. Felhívja a figyelmet továbbá arra, hogy a 20° -os evolvensprofilnak 15° -os szerszámkapcsolószögű köszörütárcsával való köszörülésénél az elemi fogazás alámetszési határfogszáma a rejtett szerszámelállítás miatt kisebb ugyan, mint 30, de jóval nagyobb 17-nél.

Az általános evolvensfogazás tartományának, de különösen a tartomány határainak ismerete a tervezők részére rendkívül fontos a gyakorlatban előforduló módosításoknál. Első tekintetre nyilvánvalónak látszik, hogy a kerékapcsolószög növelésének felső határa ott van, ahol a kapcsolószám az egységre csökken. Bizonyos fogszámösszegig valóban így van, nagyobb fogszámösszegnél azonban már az interferencia képezi a felső határt. Ennek igazolására a következőkben részletesen meg fogjuk vizsgálni az interferencia befolyását a fogazási határokra. Vizsgálataink olyan fogaskerekekre vonatkoznak, amelyek lécpofilú szerszámmal (fésűskés, csigamaró) vagy egyfogú, de egyenes vágóélű szerszámmal készülnek.

Gyalult vagy mart fogfelületek interferenciája

Legegyszerűbbek a viszonyok az olyan $\varepsilon > \alpha$ általános fogazásoknál, amelyeknél a fajlagos szerszámelállítások

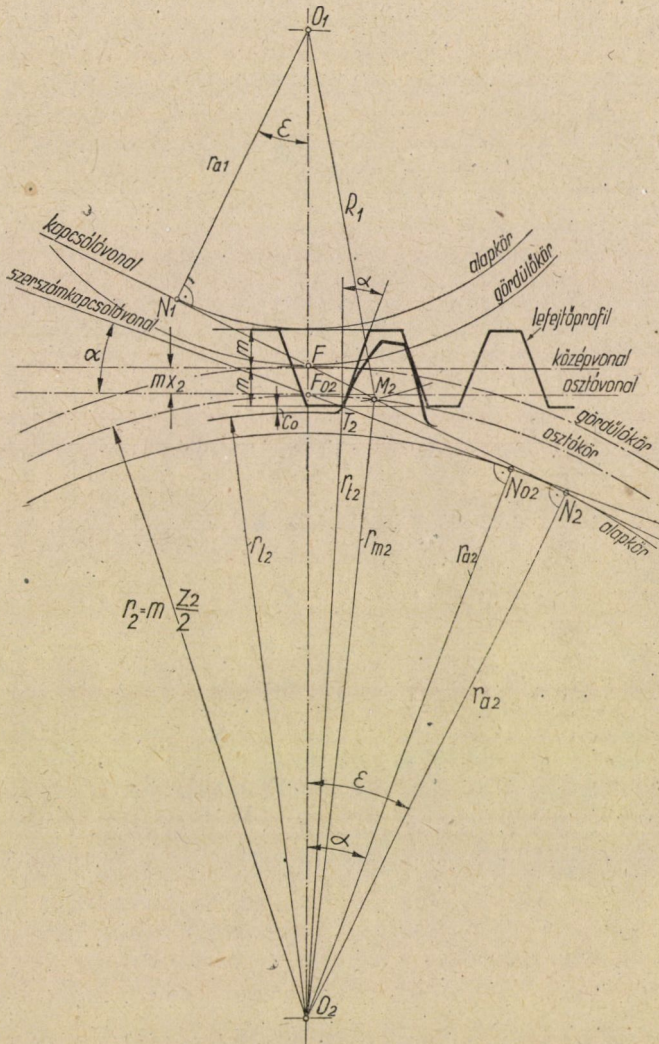
$$0 < x_1 \leq 1 \text{ és}$$

$$0 < x_2 \leq 1$$

határok közé esnek (1. ábra).

A lécpofilú szerszám vágóélei által súrolt löketprizmának a kerék homlok-síkjával párhuzamos metszete a generáló fogaslécpofil. A következőkben a lécpofilú szerszám lefejtőprofilja alatt, a generáló fogaslécpofil c_0 magassággal csökkentett részét, vagyis az α hajlású generáló élek egyenes szakaszát értjük. A lécpofilú szerszámok ily módon értelmezett lefejtőprofilja tehát megegyezik az evolvensfogazás alapprofiljával. A generáló gördítés közben a lefejtőprofil fejpontja a nagyfogaskerek alapköréhez tartozó fovegolvenst a T_2 pontban, a szerszámkapcsolóvonal és a lefejtőprofil fejevonalának metszéspontjában

érinti. A nagykerék lefejtett foggörbéje tehát a T_2 pontig elkészül, ennél fogva $\overline{O_2 T_2}$ sugár a nagykerék talpkörsugara: r_{t2} . Az $\overline{O_1 O_2} = a$ tengelytávolságon párosított fogaskerekek $N_1 N_2$ kapcsolóvonalát a kiskerék fejköre az M_2 pontban



1. ábra

metszi, tehát a nagykerék foggörbéjén ez a legbelső pont, amelyben a kiskerék fogeolvonense a nagykerék fogeolvonensét érinti. Az $O_2 M_2 = r_{m2}$ sugarú kört a nagykerék legkisebb működő körének nevezzük. Minden olyan fogazásnál, amelynél

$$r_{t2} < r_{m2}$$

a nagykerék fogtöben interferencia nem jöhet létre, mert a nagykerék evolvens foggörbéje a szükségesnél nagyobb mélységben el van készítve, úgyhogy a kapcsolódás akadálytalan.

Valamennyi $0 < x_2 \leq 1$ esetben a szerszám lefejtőprofiljának fejevonal a F_{02} főponton belül van, azért a T_2 pont a szerszámkapcsolóvonalon az F_{02} és N_{02} pontok közé esik, az esetleges alámetszés és az $x_2 = 1$ eset kivételével, amely utóbbinál a T_2 egybeesik az F_{02} -vel (1. ábra). Általában érvényes továbbá, hogy az állandó fejhézagú általános fogazásnál

$$R_1 = a - (r_{t2} + c_0),$$

tehát a kiskerék fejköre a középponti egyenessel való metszéspontjában érinti a lefejtőprofil fejevonalát, következésképpen a M_2 pont mindig távolabb van a O_2 -től, mint a T_2 pont, vagyis az

$$r_{t2} < r_{m2}$$

egyenlőtlenség mindig ki van elégítve. Ilyen szerszámelállításoknál tehát nem kell tartani interferenciától.

Változó fejhézagú általános fogazásnál ($c < c_0$) a kiskerék fejkörsugara valamivel nagyobb, mint az előbbi esetben, de ha tekintetbe vesszük, hogy a foghézag miatt mélyebbre fogazunk, akkor itt is megszűnik az interferenciára vonatkozó aggályunk.

Hasonló megfontolások érvényesek a kiskerékre is.

Vizsgáljuk meg az interferencia elkerülésének feltételeit azokban az esetekben, amikor

$$\varepsilon > \alpha$$

$$x_1 > 0$$

és

$$x_2 > 1.$$

A nagykerék $r_2 = m \frac{z_2}{2}$ sugarú osztókörét az osztóvonal az F_{02} főpont-

ban érinti (2. ábra). A szerszámközepvonal az osztóvonalától $m x_2$ szerszámelállítással kijebb van. A szerszám lefejtőprofiljának fejevonal a középvonaltól az m modul értékével beljebb van és a szerszámkapcsolóvonalat a T_2 pontban metszi, tehát a generáló lefejtés közben ez a legbelső pont, amelyben a lefejtőprofil a nagykerék alapköréhez tartozó evolvens foggörbét érinti, ennél fogva tehát az $O_2 T_2$ sugár a nagykerék talpkörének sugara: r_{t2} . A nagykerék legkisebb működő köre $O_2 M_2 = r_{m2}$ sugarának M_2 pontját a kiskerék fejkörsugara metszi ki a fogaskerékpár $\overline{N_1 N_2}$ kapcsolóvonalából.

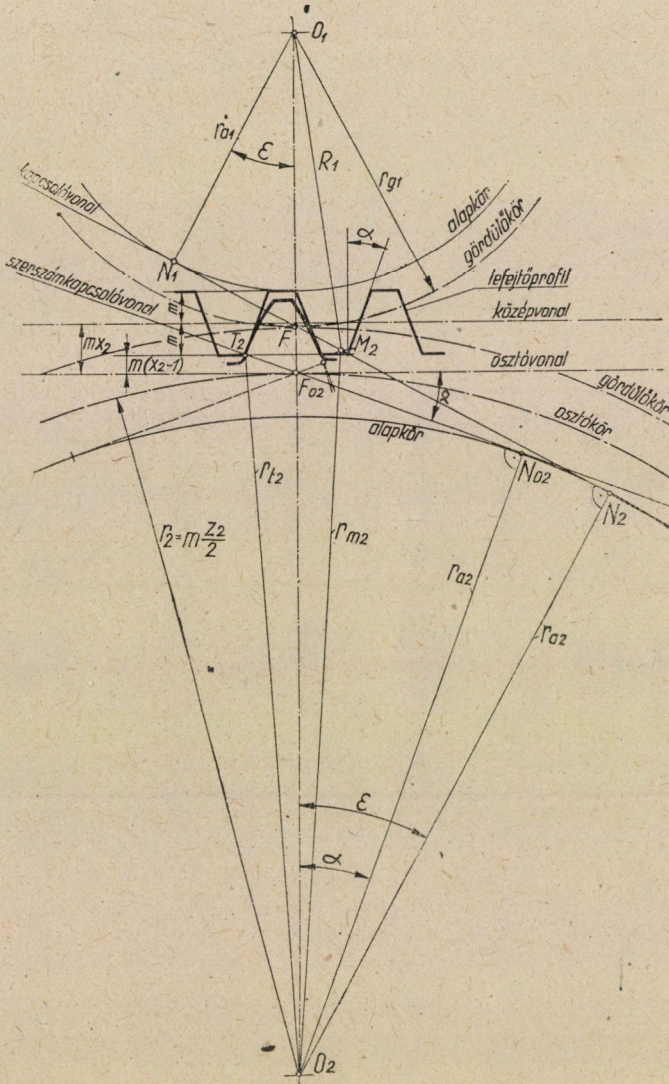
Mínt hogy $x_2 > 1$, a lefejtőprofil fejevonal az $m(x_2 - 1)$ távolsággal az F_{02} főponton kívül van. Ilyenkor egyszerű szemlélettel nem állapítható meg, hogy T_2 és M_2 pontok közül melyik van távolabb az O_2 kerékközpontról, hanem számítással vagy szerkesztéssel kell az r_{t2} és r_{m2} sugarakat meghatározni.

A talpkörsugár kiszámítható az $O_2 T_2 N_{02}$ derékszögű háromszögből.

$$\overline{T_2 N_{02}} = \overline{T_2 F_{02}} + \overline{F_{02} N_{02}} = \frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha,$$

ezzel és az r_{a2} alapkör sugarával

$$r_{t2} = \sqrt{\left[\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha \right]^2 + r_{a2}^2} \quad (1)$$



2. ábra

Az r_{m2} sugár pedig az $O_2M_2N_2$ derékszögű háromszögből számítható ki:

$$\overline{M_2N_2} = \overline{N_1N_2} - \overline{N_1M_2} = a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r^2}$$

ezzel és az r_{a2} alapkör-sugárral

$$r_{m2} = \sqrt{[a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2}]^2 + r_{a2}^2} \quad (2)$$

A kiskeréknél hasonlóképpen :

$$r_{t1} = \sqrt{\left[\frac{m(x_1 - 1)}{\sin \alpha} + r_1 \sin \alpha \right]^2 + r_{a1}^2} \quad (3)$$

$$r_{m1} = \sqrt{[a \sin \varepsilon - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2}]^2 + r_{a1}^2} \quad (4)$$

Az interferencia elkerülésének feltételei :

$$r_{t2} \cong r_{m2} \quad (5)$$

és

$$r_{t1} \cong r_{m1} \quad (6)$$

Azokban az esetekben, amikor a talpkör-sugár nagyobb, mint a legkisebb működőkör-sugár, akkor a működő evolvens foggörbe nincs végig elkészítve; a talpkör alatt a foggörbe trochois görbe mentén a fogárok felé elhajlik az alapkörhöz tartozó evolvenstől. Ennek következtében a fogak nem tudnak akadálytalanul legördülni egymáson; plasztikus anyagból készült fogaknál a fogak egymásbahatolása, interferenciája jönne létre. Szilárd anyagból készült fogaknál az interferencia szögsebességigadozást, rezgést és fogfelület-rágódást okoz, nagyobb mértékű pedig — ha szereléskor nem veszik észre — a fogak beékelődését és törését okozhatja.

A fogazási tartomány elméleti határainak kijelölésénél szükség van annak a fogszámösszegnek meghatározására, amelynél a kerékkapcsolószöget növelve, éppen a kapcsolószám és interferencia határára jutunk.

Az interferencia határán :

$$r_{t2} = r_{m2},$$

vagyis az (1) és (2) egyenletekből, egyszerűsítések után

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} \quad (7)$$

A kapcsolószám felső határán pedig :

$$\alpha = 1,$$

amely $z_1 = z_2$ egyenlő fogszámú pároknál a következő alakba írható :

$$\frac{2 \left(\sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} - r_{g1} \sin \varepsilon \right)}{t_a} = 1 \quad (8)$$

A (7) és (8) egyenletekből álló egyenletrendszerben egyenlő fogszámú pároknál két független változó van : a $z_1 = z_2 = z$ fogszám és az ε kerékkapcsolószög. Az egyenletrendszer egyes tagjai z -nek elsőfokú függvényei; más tagok z -nek elsőfokú, ε -nak pedig elsőfokú és transzcendens, vagy csak transzcendens függvényei, úgyhogy a megoldás csak közelítő módszerekkel lehetséges.

Részletes vizsgálatnál megállapítottuk, hogy nincs olyan ε érték, amely egészszámból lévő z értéknél az egyenletrendszer kielégítené, vagyis egész számból álló egyenlő fogszámú fogaskerékpároknál az interferencia határa és a kapcsolószám határa együttesen nem létezik. Ellenben többszöri közelítéssel meghatároztuk és az alábbiakban ellenőrző példaként közöljük azt a fogszámösszeget, amelynél — $\varkappa = 1$ és $i = 1$ esetén — még nincs interferencia és azt, amelynél már van interferencia.

1. példa. (A fogazás változó fejhézagú, vagyis a c fejhézag arányosan változott a fogmagassággal.)

$$z_1 + z_2 = 64$$

$$z_1 = z_2 = 32$$

$$m = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$c < c_0 = \frac{1}{6} m$$

$$\varepsilon = 29^\circ 3' 45''$$

$$m_g = 10,750519 \text{ mm}$$

$$a = 344,016608 \text{ mm}$$

$$x = 2,953669$$

$$x_1 = x_2 = 1,476835$$

$$r_{g1} = r_{g2} = 172,008304 \text{ mm}$$

$$R_1 = R_2 = 179,642552 \text{ mm}$$

$$r_1 = r_2 = 160 \text{ mm}$$

$$r_{a1} = r_{a2} = 150,350816 \text{ mm}$$

$$K_1 = \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2 - r_{g1} \sin \varepsilon} =$$

$$= \sqrt{179,642552^2 - 150,350816^2 - 172,008304 \cdot 0,4857634} = 98,31621$$

$$- 83,555338 = 14,760872 \text{ mm.}$$

Ezzel a kapcsolószám :

$$\varkappa = \frac{2 K_1}{t_a} = \frac{29,521744}{29,521317} = 1,000014$$

Az interferencia vizsgálatánál elegendő az (1) és (2) egyenletek szögletes zárójelben lévő tagjait összehasonlítani egymással annak megítélésére, hogy az interferencia elkerülésének (5) és (6) feltételei ki vannak-e elégítve vagy sem :

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = \frac{10(1,476835 - 1)}{0,34202} + 160 \cdot 0,34202 =$$

$$= 13,941713 + 54,7232 = 68,664913 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 344,016608 \cdot 0,4857634 - 98,31621 =$$

$$= 167,110677 - 98,31621 = 68,794467 \text{ mm,}$$

következőleg

$$r_{12} < r_{m2},$$

tehát a fenti tengelytávolságon működő kerek fogainál interferencia nincsen.

2. példa

$$z_1 + z_2 = 66$$

$$z_1 = z_2 = 33$$

$$m = 10 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$c < c_0 = \frac{1}{6} \text{ m}$$

$$\varepsilon = 28^\circ 59' 22''$$

$$m_g = 10,742916 \text{ mm}$$

$$a = 354,516228 \text{ mm}$$

$$x = 3,0103745$$

$$x_1 = x_2 = 1,505187$$

$$r_{g1} = r_{g2} = 177,258114 \text{ mm}$$

$$R_1 = R_2 = 184,863463 \text{ mm}$$

$$r_1 = r_2 = 165 \text{ mm}$$

$$r_{a1} = r_{a2} = 155,049345 \text{ mm}$$

$$A \text{ kapcsolószám: } \kappa = 1,0000158$$

A fenti adatokkal a számítást végrehajtva, kapjuk:

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = 71,203991 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 71,146988 \text{ mm,}$$

tehát

$$r_{t2} > r_{m2},$$

ennélfogva a fenti tengelytávolságon kapcsolódó kerekeknél interferencia van.

Ezekben a példákban az ε értékét még pontosabban is meg lehetne határozni, hogy κ pontosabban egy legyen, de a kapcsolószám ötödik tizedesében való számjegy mitsem változtat az interferencia eldöntésére szolgáló számok első tizedes számjegyén. Az eredményt tehát elfogadhatjuk és kimondhatjuk, hogy $\alpha = 20^\circ$ szerszámkapcsolószögű és $c_0 = \frac{1}{6}$ m szerszámfejhézagú lécpofilú szerszámmal gyártott változó fejhézagú általános fogazásnál az interferencia határfogszámösszege $\varepsilon > \alpha$ esetén: $z_1 + z_2 = 64$.

Megemlítjük még a

$$\begin{aligned} z_1 + z_2 &= 65 \\ z_1 &= 32 \\ z_2 &= 33 \end{aligned}$$

közbenes eset vizsgálatát is.

Itt az $\varepsilon = 29^\circ 1' 32''$ értékkel és a gördülőköröktől számított egyenlő fejmagasságok választásánál

$$\kappa = 1,000009$$

és

$$r_{t2} > r_{m2},$$

tehát kapcsoláskor interferencia van.

Ha azonban ε fenti értékének megfelelő szerszámállítás-összeget osztjuk el egyenlően a két kerékre, akkor interferencia nincsen.

Az eddigi példáknak csupán elméleti jelentőségük van, a következőkben azonban közölni fogunk olyan példákat is, amelyeknek gyakorlati jelentősége nyilvánvaló.

3. példa

$$\begin{aligned} z_1 + z_2 &= 150 \\ z_1 = z_2 &= 75 \\ m &= 10 \text{ mm} \\ \alpha &= 20^\circ \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c < c_0 &= \frac{1}{6} \text{ m} \\
 a &= 784 \text{ mm} \\
 m_g &= 10,453333 \text{ mm} \\
 \varepsilon &= 25^\circ 58' 59'' \\
 x &= 3,909450 \\
 x_1 = x_2 &= 1,954725 \\
 r_{g1} = r_{g2} &= 392 \text{ mm} \\
 R_{g1} = R_2 &= 399,816642 \text{ mm} \\
 r_{a1} = r_2 &= 375 \text{ mm} \\
 r_{a1} = r_{a2} &= 352,384875 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

A kapcsolószám :

$$\kappa = 1,1619$$

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = 156,1718 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 154,5844 \text{ mm.}$$

Tehát

$$r_{t2} > r_{m2},$$

ennélfogva az interferencia bekövetkezik.

Ha a kerékkapcsolószöget és vele együtt a tengelytávolságot

$$\varepsilon = 25^\circ 22' 16,5''$$

és

$$a = 780 \text{ mm}$$

értékekre csökkentjük, akkor a kapcsolószám :

$$\kappa = 1,2539,$$

amely már alkalmazható volna, de

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = 148,7359 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 148,5984 \text{ mm,}$$

következően

$$r_{t2} > r_{m2},$$

tehát az interferencia kismértékben ugyan, de most is létrejön.

Foglalkoznunk kell még a fogazási tartománynak azzal a részével, amelyben

$$\varepsilon < \alpha$$

és

$$x_1 + x_2 = x < 0$$

A 3. ábrán az osztóvonal és a szerszámközépvonal távolsága, vagyis a szerszámelállítási x_2 abszolút értékével

$$m |x_2|$$

A szerszám lefejtőprofiljának fejevonala az osztóvonalától

$$m + m |x_2|$$

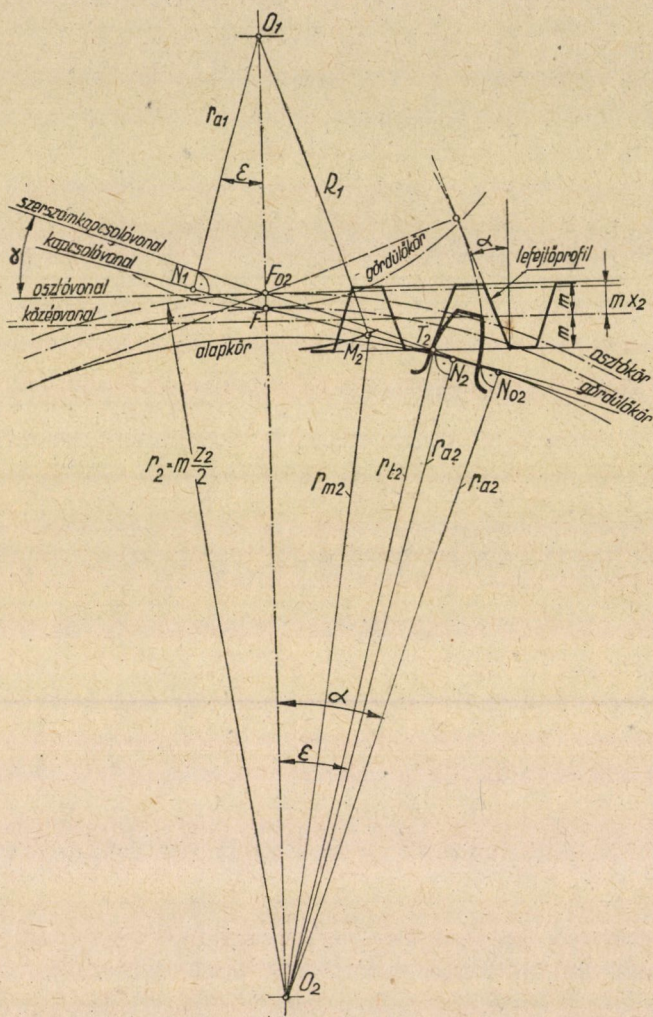
távolságban van a kerékközpontra felé.

A T_2 pont által meghatározott talpkört az ábrából követhető módon az alábbi egyenletből számítjuk :

$$r_{t2} = \sqrt{\left[r_2 \sin \alpha - \frac{m(|x_2| + 1)}{\sin \alpha} \right]^2 + r_{a2}^2}$$

Ez az egyenlet teljesen azonos az (1) egyenlettel, ha (1)-be x_2 -t az algebrai előjele szerint helyettesítjük. Tudniillik x_2 negatív előjelű, ha a szerszámot az elemi helyzetéhez képest úgy állítjuk el, hogy a szerszámközpont az

$$r_2 = m \frac{z_2}{2}$$



3. ábra

osztókört érintő osztóvonalától a kerékközpon felé tolódik; ellenkező elállításnál x_2 pozitív előjelű.

Az M_2 pont által meghatározott legkisebb működőkör sugarát ebben az esetben is a (2) egyenletből számítjuk.

4. példa

$$\begin{aligned}
 z_1 + z_2 &= 100 \\
 z_1 = z_2 &= 50 \\
 m &= 10 \text{ mm} \\
 \alpha &= 20^\circ \\
 a &= 492 \text{ mm} \\
 m_g &= 9,84 \text{ mm} \\
 \varepsilon &= 17^\circ 15' 33'' \\
 x &= -0,748685 \\
 x_1 = x_2 &= -0,374342 \\
 r_{g1} = r_{g2} &= 246 \text{ mm} \\
 R_1 = R_2 &= 255,78078 \text{ mm} \\
 r_1 = r_2 &= 250 \text{ mm} \\
 r_{a1} = r_{a2} &= 234,92325 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = 45,3219 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 44,8086 \text{ mm,}$$

következőleg

$$r_{t2} > r_{m2},$$

tehát az interferencia bekövetkezik.

5. példa

$$\begin{aligned}
 z_1 + z_2 &= 60 & r_{g1} &= 74 \text{ mm} \\
 z_1 &= 15 & r_{g2} &= 222 \text{ mm} \\
 z_2 &= 45 & R_1 &= 88,368500 \text{ mm} \\
 m &= 10 \text{ mm} & R_2 &= 227,450121 \text{ mm} \\
 \alpha &= 20^\circ & r_1 &= 75 \text{ mm} \\
 a &= 296 \text{ mm} & r_2 &= 225 \text{ mm} \\
 m_g &= 9,866666 \text{ mm} & r_{a1} &= 70,476975 \text{ mm} \\
 \varepsilon &= 17^\circ 45' 3'' & r_{a2} &= 211,430925 \text{ mm} \\
 x &= -0,378839 \\
 x_1 &= 0,356500 \\
 x_2 &= -0,735339
 \end{aligned}$$

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = 26,2166 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 36,9332 \text{ mm,}$$

tehát

$$r_{t2} < r_{m2},$$

ezért az interferencia a nagykerék fogtőben nem jön létre.

Ezzel szemben:

$$\frac{m(x_1 - 1)}{\sin \alpha} + r_1 \sin \alpha = 6,8368 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2} = 6,3961 \text{ mm,}$$

tehát

$$r_{t1} > r_{m1},$$

ennélfogva a kiskeréken a fogtőben az interferencia létrejön, vagyis a nagykerék foga a kapcsolatba lépésnél belevés a kiskerék fogtőfelületébe. Ez a fogazás használhatatlan, pedig alámetszés sem a kiskeréken, sem a nagykeréken nincsen.

Ezeknek a vizsgálatoknak alapján a Ganz—Botka fogazási rendszer táblázataiban a különböző fogsámösszegeknél és módosításoknál csak olyan ε határokat adunk meg, amelyeknél interferencia még nem lép fel, úgyhogy

a tervezőknek a kijelölt fogazási tartományon belül az interferencia vizsgálatával nem kell foglalkozniok.

Köszörült fogfelületek intreferenciája

A generáló eljárással köszörülő gépek köszörütárcsáinak lefejtőprofilja egyenes, amelynek kapcsolószöge megegyezik a lécpofilú szerszámok lefejtőprofiljának kapcsolószögével.

Ha a köszörütárcsa lefejtőprofiljának kapcsolószöge — szerszámkapcsolószöge — azonos a kívánt evolvensfogazás alappofiljának kapcsolószögével, akkor a köszörült fogazás interferenciájának kérdése ugyanaz, mint az előbbieken tárgyalt gyalult vagy mart fogaké volt.

A két tényeralakú köszörütárcsával működő MAAG-köszörűgépeknél a köszörütárcsák alaphelyzetében a szerszámkapcsolószög: $\alpha_k = 15^\circ$ és ezt csak kismértékben (1° — 2° -kal) lehet változtatni. Bizonyos határok között az α_k szerszámkapcsolószögű MAAG-köszörütárcsákkal lehet más α alappofilkapcsolószögű fogazást is köszörülni. Célunk e határok megállapítása.

Ismeretes, hogy az evolvens görbét az alapköre egyértelműen meghatározza. Valamely z fogszerű, α alappofilkapcsolószögű és m modulú fogaskerek evolvens foggörbéjének alapkörugara:

$$r_a = m \frac{z}{2} \cos \alpha = r \cos \alpha$$

Ezt az r_a alapkörugarú evolvensfoggörbét úgy állítjuk elő, hogy az α kapcsolószögű és m modulú szerszám osztóvonalát és a fogaskerek

$$r = m \frac{z}{2}$$

sugarú osztókörét csúszás nélkül legördítjük egymáson, miközben a szerszám forgácsolómozgást végez. Ha a kerék osztóköre és a szerszám lefejtőprofiljának középvonala (középső osztóvonal) gördülnek le egymáson, akkor elemi fogazást kapunk.

Ugyanazt az r_a alapkörugarú evolvens fogfelületet előállíthatjuk valamely $\alpha_k \cong \alpha$ kapcsolószögű olyan szerszámmal, amely csak az egyik fogfelületet munkálja, mialatt a fogaskereket az

$$r_k = \frac{r_a}{\cos \alpha_k}$$

sugarú osztókörön gördítjük (4. ábra). Ilyen szerszáma van pl. a két köszörütárcsás MAAG-gépnek.

Az α_k köszörütárcsa — kapcsolószöghöz tartozó szerszámosztókört tehát az alábbi ismert módon számítjuk ki:

$$r_k = m \frac{z \cos \alpha}{2 \cos \alpha_k}$$

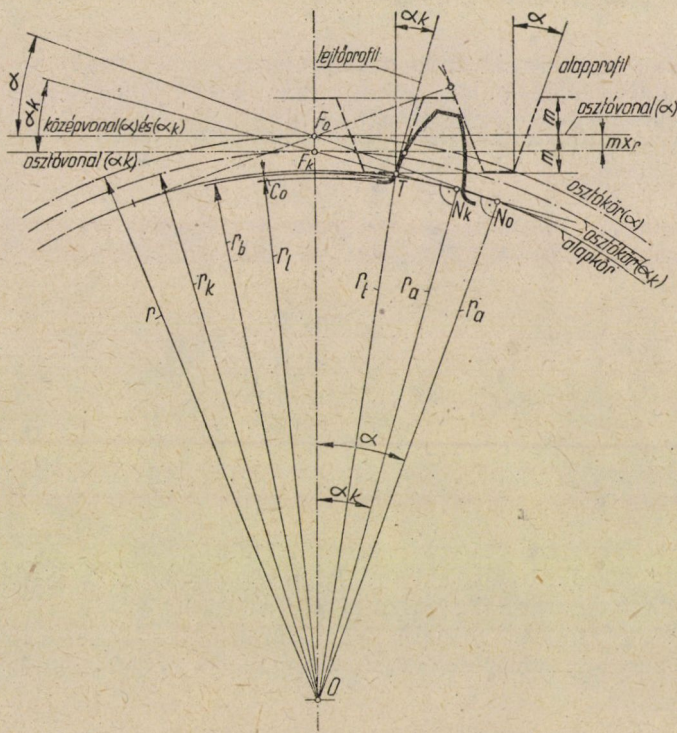
Ez lesz az osztótárcsás gépeken a szalaggördítő dob sugara.

Váltókerekes köszörűgépeknél a modulváltó kerek számításához meg kell határozni az

$$m_k = \frac{2r_k}{z} = m \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k}$$

köszörülési szerszámmodult.

A 4. ábrán feltüntetett elemi fogazás alapprofilja legyen $\alpha = 20^\circ$ kapcsolószögű. Amikor a fogazást lécpofilú szerszámmal gyaluljuk vagy marjuk, akkor a szerszám 20° -os kapcsolószögű lefejtőprofiljának középső osztóvonalára és az r sugarú osztókör gördülnek le egymáson, miközben a lefejtőprofil fejevonalára



4. ábra

az F_0 főponttól m mélységre van, vagyis érinti az r_b sugarú belső kört. A szerszám fejevonalára még a c_0 fejhézaggal mélyebben forgácsol, érintve az r_l sugarú lábkört. Köszörüléskor az α_k kapcsolószögű köszörűtárcsa ugyancsak az r_l sugarú lábkört érinti, mert hiszen ugyanazt a fogprofilét akarjuk köszörüléssel előállítani, mint amelyet gyalultunk. Ebből következik, hogy a gyaluló és köszörülő szerszámok lefejtőprofiljainak középvonalai a fogaskerék középpontjától azonos távolságban vannak, vagyis egybeesnek. A köszörűlőtárcsa lefejtőprofiljának azonban nem a középső osztóvonalára, hanem attól $m x_r$ távolságban lévő osztóvonalára gördül az r_k sugarú osztókörön a generáló köszörülés közben; ennélfogva szerszámelállítás jött létre. Ezt a szerszámelállítást, amely a szerszámnak

változatlan lábkörsugáron való működtetése mellett, a megváltozott osztókör miatt keletkezett, elnevezhetjük rejtett szerszámelállításnak. A rejtett szerszám-elállítás értéke :

$$mx_r = r - r_k,$$

amelybe r és r_k értékeit behelyettesítve

$$mx_r = m \frac{z}{2} - m \frac{z}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k}$$

vagy a fajlagos rejtett szerszámelállítás :

$$x_r = \frac{z}{2} \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} \right) \quad (9)$$

Ha $\alpha > \alpha_k$, akkor x_r minden fogszámánál pozitív szám: $\alpha < \alpha_k$ esetén pedig x_r minden fogszámánál negatív szám.

Vizsgáljuk meg a rejtett szerszámelállítás hatását a köszörült fogaskerék-pár interferenciája szempontjából.

A (9) egyenletből

$$\alpha = 20^\circ$$

és

$$\alpha_k = 15^\circ$$

esetén :

$$x_r = \frac{z}{2} \left(1 - \frac{\cos 20^\circ}{\cos 15^\circ} \right), \text{ ebből}$$

$$x_r = z 0,013579 \quad (10)$$

$$\alpha = 25^\circ$$

és

$$\alpha_k = 15^\circ$$

esetén pedig :

$$x_r = z 0,0308605 \quad (11)$$

Elemi fogazású kerékpárnál mindaddig, amíg $x_r < 1$, nem kell tartani az interferenciától. Ez az eddigiekből könnyen belátható. A $z = 73$ fogszámánál a (10) egyenletből $x_r \cong 1$. Az alábbi példában az elemi fogazású fogaskerékpár egyik kerekének fogszáma legyen 73-nál nagyobb és határozzuk meg van-e interferencia.

6. példa. (Elemi fogazás.)

$$z_1 = 50$$

$$z_2 = 200$$

$$m = 4 \text{ mm}$$

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\alpha_k = 15^\circ$$

$$\alpha = 500 \text{ mm}$$

$$x_{r1} = 0,67896$$

$$x_{r2} = 2,71584$$

$$r_1 = 100 \text{ mm}$$

$$r_2 = 400 \text{ mm}$$

$$ra_1 = 93,9693 \text{ mm}$$

$$ra_2 = 375,8772 \text{ mm}$$

$$rk_1 = 97,2842 \text{ mm}$$

$$rk_2 = 389,1368 \text{ mm}$$

$$R_1 = 104 \text{ mm}$$

$$R_2 = 404 \text{ mm}$$

A köszörülési talpkörsugarat és a legkisebb működőkör sugarat megfelelő értelmezéssel az (1) és (2), illetve a (3) és (4) egyenletekből számítjuk ki :

$$\frac{m(x_{r2} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k2} \sin \alpha_k = 127,234 \text{ mm}_2$$

$$a \sin \alpha - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 126,45 \text{ mm,}$$

következésképpen

$$r_{t2} > r_{m2},$$

tehát kapcsoláskor a nagykerékfogtőben interferencia van.

$$\frac{m(x_{r1} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k1} \sin \alpha_k = 20,217 \text{ mm,}$$

$$a \sin \alpha - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2} = 22,915 \text{ mm,}$$

következésképpen

$$r_{t1} < r_{m1},$$

tehát kapcsoláskor a kiskerék fogtőben interferencia nincs.

Elkerülhető ennél a fogaskerékpárnál a köszörülési interferencia, ha elemi fogazás helyett kompenzált fogazást (profileltolás elemi tengelytávon) alkalmazunk.

Általános evolvens fogazásnál a köszörülési interferencia elkerülésének feltételeit az 5. ábra alapján a következőképpen kapjuk:

A nagykerék

$$r_{k2} = m \frac{z_2 \cos \alpha}{2 \cos \alpha_k}$$

sugarú köszörülési osztóköre a köszörülési osztóvonal az F_{k2} főpontban érinti. A szerszámközépvonal pozitív x_2 esetén a köszörülési osztóvonalától

$$m(x_2 + x_{r2})$$

szerszámelállítással kijebb van. A szerszámközépvonalától m értékkel mélyebben lévő lefejtőprofil-fejpon az r_{a2} alapkörhöz tartozó evolvens foggörbét a T_2 pontban érinti. Az F_{k2} főpontban érintkező köszörülési osztókörenek és köszörülési osztóvonalnak egymáson való további gördítése közben a köszörütárcsa lefejtőprofiljának fejele elválik a fogevolvenstől és a T_2 pont alatt trochois pályát köszörül. A fogevolvens tehát csak a T_2 pontig készül el, ennél fogva az O_2T_2 sugár a nagykerék talpkörsugara: r_{t2} , amely az $O_2T_2N_{k2}$ derékszögű háromszögből számítható ki:

$$\overline{T_2N_{k2}} = \overline{T_2F_{k2}} + \overline{F_{k2}N_{k2}} = \frac{m(x_2 + x_{r2} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k2} \sin \alpha_k$$

ezzel és r_{a2} -vel

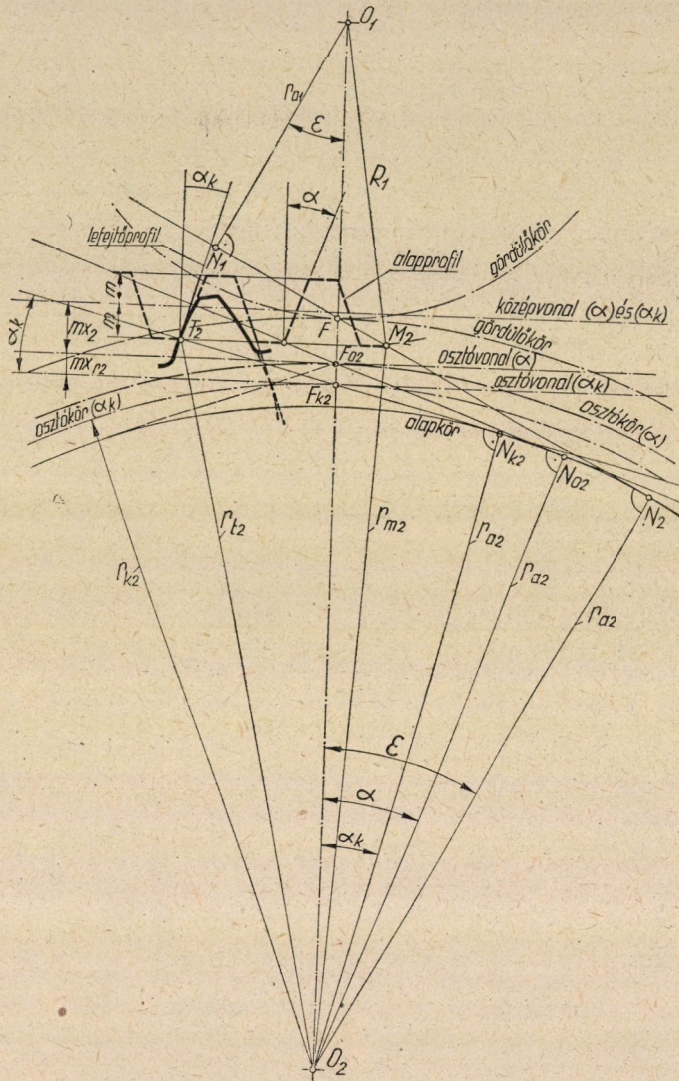
$$r_{t2} = \sqrt{\left[\frac{m(x_2 + x_{r2} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k2} \sin \alpha_k \right]^2 + r_{a2}^2} \quad (12)$$

A kiskerék fejkörön lévő profilpontja a fogaskerékpár $\overline{N_1N_2}$ kapcsolóvonalának M_2 pontjában érintkezik a nagykerék evolvens foggörbéjével. A nagykerék legkisebb működő körének sugara tehát $\overline{O_2M_2}$ sugárral egyenlő, amely kifejezhető az $O_2M_2N_2$ derékszögű háromszögből:

$$r_{m2} = \sqrt{[a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2}]^2 + r_{a2}^2} \quad (13)$$

Ez az egyenlet természetesen azonos a (2)-vel.
Hasonlóképpen a kiskerékre :

$$r_{t1} = \sqrt{\left[\frac{m(x_1 + x_{r1} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k1} \sin \alpha_k \right]^2 + r_{a1}^2} \quad (14)$$



5. ábra

$$r_{m1} = \sqrt{[a \sin \varepsilon - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2}]^2 + r_{a1}^2} \quad (15)$$

A (15) azonos a (4) egyenlettel.

A köszörülési interferencia elkerülésének feltételei a (12)—(15) egyenletekből számított sugarakkal:

$$r_{t2} \cong r_{m2} \quad (16)$$

$$r_{t1} \cong r_{m1} \quad (17)$$

Megjegyezzük, hogy a (12) és (14) egyenletek x_2 és x_{r2} , illetve x_1 és x_{r1} -nek akár pozitív, akár negatív értékeire és így kompenzált fogazásra is érvényesek.

7. példa. (Elvégzett kísérlet.)

$z_1 = 25$	$x_2 = 1,474085$
$z_2 = 86$	$r_{g1} = 51,80175 \text{ mm}$
$m = 4 \text{ mm}$	$r_{g2} = 178,19802 \text{ mm}$
$\alpha = 20^\circ$	$R_1 = 56,17314 \text{ mm}$
$a = 230 \text{ mm}$	$R_2 = 180,99284 \text{ mm}$
$m_g = 4,14414 \text{ mm}$	$r_1 = 50 \text{ mm}$
$\varepsilon = 24^\circ 54' 17''$	$r_2 = 172 \text{ mm}$
$x = 2,243188$	$r_{a1} = 46,98465 \text{ mm}$
$x_1 = 0,769103$	$r_{a2} = 161,627196 \text{ mm}$

A gyalulástól vagy marástól származó interferencia:

$$\frac{m(x_2 - 1)}{\sin \alpha} + r_2 \sin \alpha = 64,3718 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 66,068 \text{ mm,}$$

tehát

$$r_{t2} < r_{m2};$$

$$\frac{m(x_1 - 1)}{\sin \alpha} + r_1 \sin \alpha = 14,4006 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2} = 15,395 \text{ mm,}$$

tehát

$$r_{t1} < r_{m1};$$

ennélfogva gyalult fogaknál egyik keréknél sem jön létre interferencia.

A köszörülési interferencia vizsgálata:

A rejtett szerszámalállítások $\alpha_k = 15^\circ$ -nál:

$$x_{r1} = z_1 \cdot 0,013579 = 25 \cdot 0,013579 = 0,339475,$$

$$x_{r2} = z_2 \cdot 0,013579 = 86 \cdot 0,013579 = 1,167794,$$

a köszörülési osztókörök:

$$r_{k1} = r_1 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} = 50 \cdot 0,97284 = 48,642 \text{ mm,}$$

$$r_{k2} = r_2 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} = 172 \cdot 0,97284 = 167,3285 \text{ mm,}$$

$$\frac{m(x_2 + x_{r2} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k2} \sin \alpha_k = 68,6827 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 66,068 \text{ mm,}$$

következően

$$r_{t2} > r_{m2},$$

tehát a nagykerék fogtőben az evolvens foggörbe nincs a szükséges mélységben elkészítve, ami a kőszőrült fogfelületen mutatkozott is.

$$\frac{m(x_1 + x_{r1} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k1} \sin \alpha_k = 14,2675 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2} = 15,395 \text{ mm,}$$

tehát

$$r_{t1} < r_{m1},$$

ennélfogva a kiskerék fogtőben nem jönne létre kőszőrüléstől származó interferencia.

A kísérlet folyamán a MAAG-kőszőrütárcsák tengelyeit elállítottuk az α_k kapcsolószög növelése végett. Szélső helyzetben elértünk

$$\alpha_k = 17^\circ$$

kőszőrülési szerszámkapcsolószöget, amely azonban nem mindig elegendő.

Ebben az esetben a rejtett szerszámelállítások:

$$x_{r1} = \frac{z_1}{2} \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} \right) = 12,5 \cdot 0,017371 = 0,217137,$$

$$x_{r2} = \frac{z_2}{2} \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} \right) = 43 \cdot 0,017371 = 0,746953,$$

a kőszőrülési osztókörök:

$$r_{k1} = r_1 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} = 50 \cdot 0,982629 = 49,13145 \text{ mm,}$$

$$r_{k2} = r_2 \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} = 172 \cdot 0,982629 = 169,012188 \text{ mm,}$$

$$\frac{m(x_2 + x_{r2} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k2} \sin \alpha_k = 66,1197 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_1^2 - r_{a1}^2} = 66,068 \text{ mm,}$$

következőleg

$$r_{t2} \approx r_{m2},$$

tehát a nagykeréknél éppen a kőszőrülési interferencia határán vagyunk és így azt gyakorlatilag elkerültük.

$$\frac{m(x_1 + x_{r1} - 1)}{\sin \alpha_k} + r_{k1} \sin \alpha_k = 14,1763 \text{ mm,}$$

$$a \sin \varepsilon - \sqrt{R_2^2 - r_{a2}^2} = 15,395 \text{ mm,}$$

tehát

$$r_{t1} < r_{m1},$$

következésképpen a kiskerékfegtőben sem jön létre interferencia.

Kőszőrült fogfelületek alámetszése

Az alámetszés elkerülésének feltétele az, hogy a kőszőrütárcsa lefejtő-profiljának fejele az alaphengeren lévő alkotó mentén érintse a fovevolvenst,

vagyis a lefejtőprofil fejevonala átmenjen az N_k ponton. Ha ez a feltétel teljesül, akkor (6. ábra):

$$\overline{F_k N_k} = r_k \sin \alpha_k$$

és

$$m(1 - x_r - x) = \overline{F_k N_k} \sin \alpha_k = r_k \sin^2 \alpha_k,$$

Mivel

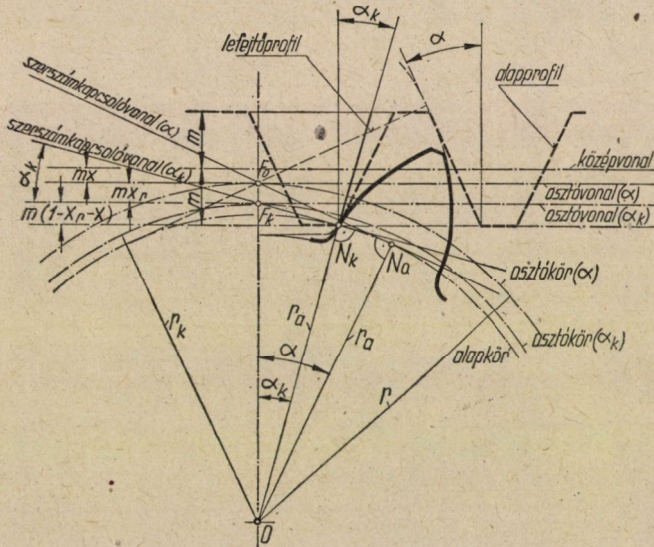
$$r_k = r \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} = m \frac{z}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k},$$

azért

$$m(1 - x_r - x) = m \frac{z}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} \sin^2 \alpha_k$$

ebből

$$x = 1 - z \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} \frac{\sin^2 \alpha_k}{2} - x_r \quad (18)$$



6. ábra

amelyben x_r mint tudjuk, a rejtett szerszámelállítás a (9) egyenlet szerint.

Ha

$$\alpha = 20^\circ$$

$$\alpha_k = 15^\circ,$$

akkor a (18) és (9) egyenletekből:

$$x = 1 - z \left[\frac{1}{2} \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} \sin^2 \alpha_k + \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\cos \alpha_k} \right) \right] \quad (19)$$

Ebből a fenti szerszámkapcsolószögekre a szögletes zárójelben lévő állandót kiszámítva kapjuk:

$$x = 1 - z 0,0461633 \quad (20)$$

Ez a z fogszámú, $\alpha = 20^\circ$ -os alapprofilú kerék gyártásánál szükséges szerszámelállítás, ha a fogakat $\alpha_k = 15^\circ$ szerszámkapcsolószögű köszörűtárcsákkal köszörüljük.

Annak az $\alpha = 20^\circ$ -os alapprofilú, $\alpha_k = 15^\circ$ szerszámkapcsolószögű köszörűtárcsákkal köszörült elemi fogazású keréknek a fogszámát, amelynél nincs köszörülési alámetszés, a (20) egyenletből kapjuk, $x = 0$ helyettesítéssel:

$$0 = 1 - z \cdot 0,0461633,$$

amelyből a köszörülési alámetszési határfogszám $\alpha = 20^\circ$ és $\alpha_k = 15^\circ$ esetén:

$$z_{\min} \cong 22.$$

Ez a fogszám jóval nagyobb, mint az $\alpha_k = \alpha = 20^\circ$ kapcsolószögű szerszámmal való megmunkálásnál érvényes

$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha} = \frac{2}{\sin^2 20^\circ} = \frac{2}{0,116978} \cong 17$$

alámetszési határfogszám.

Ha

$$\alpha = 25^\circ$$

$$\alpha_k = 15^\circ,$$

akkor a (19) egyenletből a szögletes zárójelben lévő állandót a fenti szerszámkapcsolószögekre kiszámítva kapjuk a köszörülési alámetszés elkerüléséhez szükséges szerszámelállítás alábbi képletét:

$$x = 1 - z \cdot 0,0622869 \quad (21)$$

Ebből az egyenletből $x = 0$ helyettesítéssel nyerjük annak az elemi fogazású $\alpha = 25^\circ$ -os alapprofilú, $\alpha_k = 15^\circ$ szerszámkapcsolószögű köszörűtárcsákkal köszörült keréknek a fogszámát, amelynél nincs köszörülési alámetszés:

$$z_{\min} \cong 16,$$

amely nagyobb, mint az $\alpha_k = \alpha = 25^\circ$ kapcsolószögű szerszámmal való megmunkálásnál érvényes

$$z_{\min} = \frac{2}{\sin^2 \alpha} = \frac{2}{\sin^2 25^\circ} = \frac{2}{0,178606} \cong 11$$

alámetszési határfogszám.

A fentiekben használt megnevezésekkel és betűjelekkel kapcsolatban utalunk a MNOSZ 2792—50 és 2791—50. sz. szabványokra.

A BELSŐ FOGAZÁS EGYES KÉRDÉSEI ÉS A BOLYGÓMŰVEK ÁTTÉTELÉNEK GRAFIKUS SZERKESZTÉSE

JUREK AURÉL műegyetemi tanár

A belső fogazású kerek használata a korszerű gépszerkezetekben mind gyakoribbá válik. Például majdnem minden modern autóban a hidraulikus tengelykapcsoló mellett bolygókeres sebességváltószerkezet van alkalmazásban, amelyben belső fogazású kerek vannak, sőt újabban már belső ferdefogazású kerek is. Ezenkívül rendkívül sok más alkalmazása is van a belső fogazásoknak.

A fogaskerekekkel foglalkozó szakirodalom ennek ellenére igen mostohán kezelte mindig a belső fogazású kerek ügyét. Ezelőtt 16—18 évvel konstruálnom kellett belső fogaskerekekkel bíró hajtóművet és igen nagy módosítású inercia-startert és ekkor ilyen bolygóműves szerkezeteknek még az áttétszámítása sem volt megtalálható a magyar szakirodalomban úgy, hogy az egész számítási eljárást előbb ki kellett dolgoznom és csak azután foghattam hozzá a konstrukció megoldásához. Ezen a téren eddig csak annyi javulás következett be, hogy az egyszerű bolygókeres hajtás módosításszámítása már szerepel ugyan néhány szakkönyvünkben, de a különlegesebb bolygórendszerek megoldására útmutatás nincs és a belső fogazásokkal kapcsolatban felmerülő problémák megoldásait nem kapják meg készen tervezőink, hanem alkalomadtán maguknak kell azokat megoldani.

Itt van az ideje annak, hogy fogaskeres szakembereink a belső fogazások ügyét is előbbre vigyék és teljes kielemezését gyakorlati példák bemutatásával minél hamarabb közzétegyék.

Ezen előadás célja, hogy a belső fogazásoknál fellépő kellemetlen jelenségekre, az *akadásokra* rámutasson, és azok elkerülésére megoldásokat adjon.

A belső fogazások sok tekintetben eltérnek a külső fogazásoktól. Pl. míg a külső fogazásoknál a tengelytávolság az osztókör sugarak összegével egyenlő, ez a belső fogazásnál az osztókör sugarak különbségéből adódik. A belső fogazású keréken a fogprofil alakja a külső fogazásával egyező evolvens, de itt a homorú oldal érintkezik az ellenkerék profiljával. Fontos különbség még az is, hogy belső fogazással 1:1 módosítás közvetlenül nem oldható meg, mert a két egyenlő nagyságú kerék egymáson nem gördíthető le. A legördítésnek az 1:1 módosítás közelében határa van. A belső kerék bizonyos nagyságán túl a fogcsúcsok beleakadnak a belső fogazású kerék fogcsúcsaiba. Ezt a jelenséget csúcsakadásnak nevezzük.

Ha a belső kerék kicsiny a külsőhöz képest, akkor egy másfajta akadás léphet fel. Ez akkor fordul elő, ha a belső fogazású kerék fejköre a kapcsolási vonal alapkörrel való érintkezési pontján túlnyúlik. Ekkor a belső fogazású kerék evolvensé már beleütközik a kiskerék alapkörébe. Ezt az akadástartólást evolvens akadástartólásnak nevezzük.

A belső fogazások még sok egyébben is eltérnek a külső fogazásoktól. Így pl., ha tengelytávolással alkalmazunk korrekciót, akkor itt a tengelytávolság csökken az osztókörök széttolása esetén, a kerékkapcsoló szög is csökken ebben az esetben, holott ezek külső fogazások esetén éppen fordítva vannak.

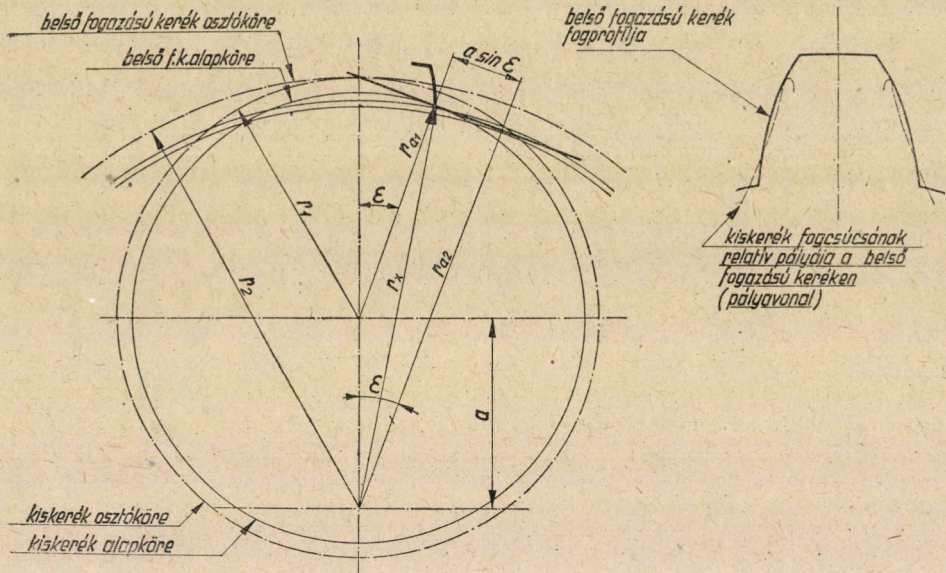
Most azonban csak az említett akadásokról essék szó.

1. Evolvens akadás

Az evolvens akadás az a jelenség, amikor a belső fogazású kerék fejköre, tehát belső köre a kapcsolási vonal alapkörrel való érintkezési pontján túlnyúlik. Ez az eset kis átmérőjű, ill. kis fogszámú belső kerék esetén szokott előfordulni. A vizsgálatot nemcsak az egymással együttműködő kerekre kell elvégezni, hanem a belső fogazású kerék és vésőkerék között is. Ugyanis, ha ez az eset a vésőkeréknél is bekövetkeznék, akkor a belső fogazás elkészítését ezzel a vésőkerékkel elvégezni nem lehet.

Jelölések :

- r_1 = kiskerék osztókör sugara ;
- r_2 = belső fogú kerék osztókör sugara ;
- a = tengelytávolság ;
- ε = kerékkapcsolási szög ;
- r_{a1} = kiskerék alapkör sugara ;
- r_{a2} = belső fogú kerék alapkör sugara ;
- r_x = belső fogú kerék legkisebb fejkör sugara (belső sugara), melynél evolvens akadás már nincs.



1. és 2. ábra

Az 1. ábrán a keresendő méret az r_x központi sugár, tehát az a távolság, amely a nagykerék középpontja és a kiskerék alapköre és a kapcsolási vonal érintkezési pontja között van. Ha a belső fogazású kerék fejkör sugara ennél az r_x -nél nagyobb, akkor már evolvens akadás nem lép fel.

Az ábrából közvetlenül felírható

$$a = r_2 - r_1$$

$$r_{a2} = r_2 \cos \varepsilon ;$$

$$r_x = \sqrt{r_{a2}^2 + (a \sin \varepsilon)^2} = \sqrt{(r_2 \cos \varepsilon)^2 + (a \sin \varepsilon)^2}.$$

Ha e számítás szerint a csúcsakadás fennáll, akkor profileltolással vagy más módon (tengelytávcsökkentés, fejmagasságcsökkentés) kerülhetjük el a bajt. Mivel a számítás igen egyszerű, minden kissé gyanús esetben érdemes ezt a vizsgálatot elvégezni.

Példa : Fogszámok : kiskerék.....	$z_1 = 15$
belső fogazású kerék	$z_2 = 40$
Kerékkapcsolószög	$\varepsilon = 20^\circ$
Modul	$m = 10$
Osztókör sugarak	$r_1 = 7,5 \cdot 10 = 75 \text{ mm}$
	$r_2 = 20 \cdot 10 = 200 \text{ mm}$

Tengelytáv $a = 200 - 75 = 125 \text{ mm}$

$$\cos 20^\circ = 0,93969, \quad \sin 20^\circ = 0,34202$$

Belső fogú kerék alapkör sugara : $r_{a2} = 200 \cdot 0,93969 = 187,938$

$$a \sin \varepsilon = 125 \cdot 0,34202 = 42,752.$$

Legkisebb fejkör sugar : $r_x = \sqrt{187,938^2 + 42,752^2} = 192,714 \text{ mm}$.

Belső fogú kerék fejkör sugara : $R_2 = r_2 - m = 200 - 10 = 190 \text{ mm}$.

Mivel $r_x = 192,714$ nagyobb 190-nél, tehát evolvens akadás van. A fejkör sugar növeler. dő pl. profileltolással.

2. Csúcsakadás.

Belső fogazásnál, ha a kapcsolódó külső fogazású kerék túl nagy, tehát a módosítás közel van 1:1-hez, előfordulhat, hogy a fogak csúcsa kigördülésnél összeakad. Ilyen esetben természetesen a kerekeket már szerelni sem lehet. A feladat az, hogy egy megtervezett belső-, külső fogazású kerékpár esetén számítással határozzuk meg, vajjon a csúcsakadás fennáll-e vagy sem.

Ezt a vizsgálatot oly módon lehet elvégezni, hogy a kiskerék fogsarkának relatív pályáját meghatározzuk a belső fogazású keréken. Ez a pályavonal a belső fogazású kerék fejkörét metszheti a fogon kívül is és a fogon belül is. Ez utóbbi esetben van a csúcsakadás. Ezt az esetet mutatja a 2. ábra, a kerekeket pedig a 2/a ábra.

Először foglalkozunk a pályagörbével (3. ábra). Ha a kiskerék saját tengelye körül η_1 szöggel fordul el, akkor a belső fogazású kerék η_2 elfordulási szöge a módosítás arányában csökken.

$$\eta_2 = \frac{r_1}{r_2} \eta_1 = \frac{z_1}{z_2} \eta_1, \quad (1)$$

hol r_1 a kiskerék, r_2 a nagykerék osztókör sugara, z_1 a kiskerék, z_2 a nagykerék fogszáma.

A 3. ábrából a koszinusz-tétel alkalmazásával felírhatjuk az ezen kerék-elfordulásokhoz tartozó pályavonal-ponthoz tartozó rádiust r_p -t

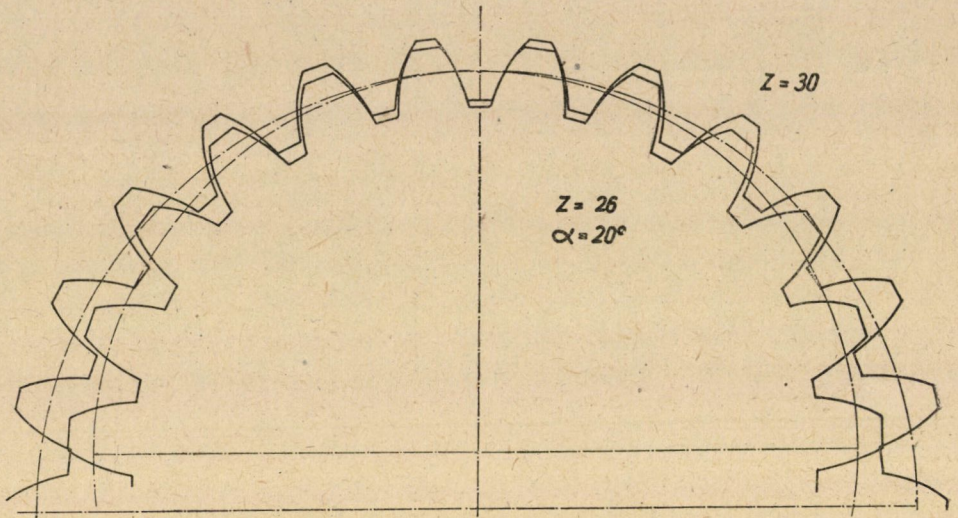
$$r_p = \sqrt{a^2 + R_1^2 + 2 a R_1 \cos \eta_1} \quad (2)$$

ahol a = a tengelytávolság, R_1 a kiskerék fejkör sugara.

Ugyancsak az ábrából a nagykerék elfordulási és az r_p rádiusz együttes szögét írhatjuk fel

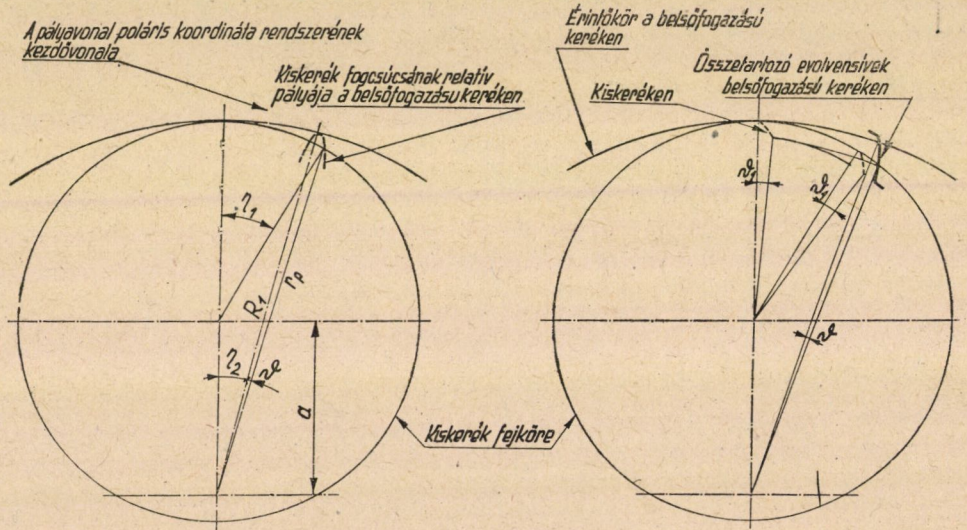
$$\sin (\eta_2 + \vartheta) = \frac{R_1 \sin \eta_1}{r_p}. \quad (3)$$

Ebből a pályavonal sugarának ϑ szögét fejezhetjük ki, amely szög a pályavonal koordináta rendszere kezdőtengelyének tekintett vonal és az r_p rádiusz



2/a. ábra

által bezárt szög. (A koordináta rendszer tengelye az a sugár, amely a pályavonal csúcspontján halad át.)



3. és 4. ábra

A (3) számú képletet szögekre alakítjuk át

$$\eta_2 + \vartheta = \arcsin \frac{R_2 \sin \eta_1}{r_p}$$

ebből

$$\vartheta = \arcsin \frac{R_1 \sin \eta_1}{r_p} - \eta_2.$$

Igy tehát az r_p rádiusz és a ϑ szög poláris koordinátákkal megadják a pályavonal alakját.

A továbbiakban szükségünk lesz még a legördülés alatt a kiskerék evolvens íve központi szögének megfelelő szögére a belső fogazású kerék evolvensén. Legyen ez δ

$$\delta = \frac{r_1}{r_2} \vartheta_1 \text{ radiánban} \quad (4)$$

ahol ϑ_1 a kiskerék gördülés alatti evolvens ívének szöge ívmértékben (4. ábra).

Az eredeti feladatunk megoldásánál úgy járunk el, hogy meghatározzuk a belső fogazású kerék fog evolvensének kezdetétől (az alapkörön) radiánban a belső fogazású kerék fogsarkának ívét, azonkívül a pályavonal és a belső fogazású kerék fejköre metszéspontjának ívét ugyancsak az előbbi evolvens kezdőponttól.

Az előző jelöléseket megtartva itt is a belső fogazású kerék elfordulási szöge

$$\eta_2 = \frac{z_1}{z_2} \eta_1. \quad (5)$$

A kiskerék elfordulási szögét kifejezhetjük a (2) egyenlethől a belső fogazású kerék fejkörével való metszésvonaláig

$$\cos \eta_1 = \frac{R_2^2 - a^2 - R_1^2}{2aR_1}, \quad (6)$$

ahol $R_2 = a$ a belső fogazású kerék fejkörsugara és $R_1 = a$ a kiskerék fejkörsugara.

A (4) egyenlet alapján az 5. ábra szerint kifejezzük a pályavonal koordinátájának kezdetétől a pályavonal és a belső fogazású kerék fejkörének metszéséig mért szöget a ϑ_j -t

$$\vartheta_j = \arcsin \frac{R_1 \sin \eta_1}{R_2} - \eta_2. \quad (7)$$

Most még kifejezzük a belső fogazású kerék evolvensének a kezdőponttól a pályavonal koordinátájának kezdő sugaráig mért szögét, a δ -t

$$\delta = \frac{z_1}{z_2} (\text{inv } \varphi_{R1} - \text{inv } \varepsilon) + \text{inv } \varepsilon, \quad (8)$$

ahol $\varphi_{R1} = a$ a kiskerék fogsúcsához tartozó gördülő egyenes hajlásszöge, $\varepsilon = a$ a kerékkapcsoló-szög (a gördülő egyenes hajlása a gördülőkörnél).

$$\cos \varphi_{R1} = \frac{r_{a1}}{R_1}$$

képletből számítható ki.

Szükség van még a belső fogazású fog csúcsánál a gördülő egyenes hajlásszögére φ_{R2} -re

$$\cos \varphi_{R2} = \frac{r_{a2}}{R_2} \quad (9)$$

r_{a1} , r_{a2} alapkör sugarak, R_1 , R_2 fejkör sugarak.

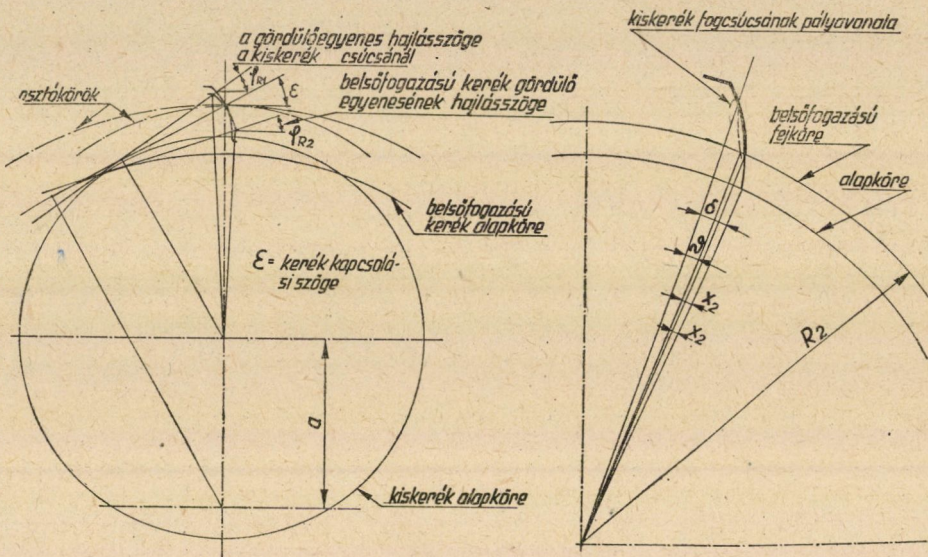
Most már a 6. ábra szerint felírhatjuk az eredményt.:

$$x_1 = \text{inv } \varphi_{R1}$$

$$x_2 = \delta - \vartheta_f$$

($\cos \varphi_{R2}$ -ből a φ_{R2} -öt kapjuk, és φ_{R2} -höz a táblázatból kapjuk $\text{inv } \varphi_{R2}$ -t, amely x_1 -gyel egyenlő). x_1 = a belső fogú kerék fogcsúcsának szöge az evolvens kezdetétől radiánban.

x_2 = a pályavonal metszésének szöge a fejkörrel, radiánban.



5. és 6. ábra

Ha x_1 nagyobb, mint x_2 , akkor csúcsakadás van. A csúcsakadás nagysága a belső fogazású kerék fejkörén mérve mm-ben = $(x_1 - x_2) R_2$.

Példa

Fogszámok : $z_1 = 25$, $z_2 = 30$

Modul : $m = 10$

Kerékkapcsolószög : $\varepsilon = 20^\circ$ inv. $\varepsilon = 0,014904$

Osztókör sugarak : $r_1 = 12,5 \cdot 10 = 125$; $r_2 = 15 \cdot 10 = 150$

Fejkör sugarak : $R_1 = 125 + 10 + 2,5 = 137,5$; $R_2 = 150 - 10 + 4 = 144$.

Itt a + 2,5 és a + 4 korrekcióból adódtak. Belsőfogazásnál a profiltolás egyirányú. A várható csúcsakadásra való tekintettel már bizonyos korrekciót alkalmaztunk.

Alapkör sugarak :

$$r_{a1} = r_1 \cos \varepsilon = 125 \cdot 0,93969 = 117,4616$$

$$r_{a2} = r_2 \cos \varepsilon = 150 \cdot 0,93969 = 140,9539$$

$$\text{Tengelytáv : } a = r_2 - r_1 = 150 - 125 = 25 \text{ mm.}$$

$$\cos \eta_1 = \frac{R_2^2 - R_1^2 - a^2}{2 a R_1} = \frac{144^2 - 137,5^2 - 25^2}{2 \cdot 25 \cdot 137,5} = 0,17524$$

tehát

$$\begin{aligned} \eta_1 &= 79,908^\circ \text{ és } \sin \eta_1 = 0,98453 \\ \eta_2 &= \frac{z_1}{z_2} \eta_1 = \frac{25}{30} \cdot 79,908^\circ = 66,590^\circ \end{aligned}$$

A pályavonal koordinátájának kezdetétől a pályavonal és a belsőfogú kerék fejkörének metszéséig mért szöge

$$\begin{aligned} \vartheta_f &= \arcsin \frac{R_1 \sin \eta_1}{R_2} - \eta_2 = \arcsin \frac{137,5 \cdot 0,98453}{144} - 66,590^\circ \\ &= \arcsin 0,940088 - 66,590^\circ = \\ &= 70,086^\circ - 66,590^\circ = 3,478^\circ = 0,060702 \text{ radián.} \end{aligned}$$

A kiskerék fogcsúcsához tartozó gördülő egyenes hajlásszöge:

$$\cos \varphi_{R_1} = \frac{r_{a_1}}{R_1} = \frac{117,461}{137,5} = 0,85426$$

ebből

$$\varphi_{R_1} = 31,322^\circ \text{ és } \operatorname{inv} \varphi_{R_1} = 0,061863.$$

A belső fogú kerék evolvensének a kezdőponttól a pályavonal koordinátájának kezdő sugaráig mért szöge

$$\begin{aligned} \delta &= \frac{z_1}{z_2} (\operatorname{inv} \varphi_{R_1} - \operatorname{inv} \varepsilon) + \operatorname{inv} \varepsilon = \\ &= \frac{25}{30} (0,061863 - 0,014904) + 0,014904 = \\ &= 0,039132 + 0,014904 = 0,054036 \text{ radián.} \end{aligned}$$

A pályavonal metszésének szöge a fejkörrel

$$x_2 = \delta - \vartheta_f = 0,054036 - 0,060702 = -0,006666 \text{ radián.}$$

A belső fogazású kerék fogcsúcsánál a gördülő egyenes hajlásszögének a cos-a

$$\cos \varphi_{R_2} = \frac{\tau_{a_2}}{R_2} = \frac{140,9539}{144} = 0,97885,$$

tehát

$$\varphi_{R_2} = 11,806^\circ \text{ és } \operatorname{inv} \varphi_{R_2} = 0,002967$$

ez egyúttal x_1 szög értékével azonos rad.-ban.

Ezzel $x_1 = 0,002967$ radián.

Látható, hogy x_1 értéke nagyobb, mint az x_2 -é. x_2 -nél a (-) jel azt jelenti, hogy a metszéspont az evolvens kezdetén túl esik, így az akadást szögértéke $x_1 + x_2$.

Tehát

$$x_1 + x_2 = 0,002967 + 0,006666 = 0,009633 \text{ radián.}$$

Ezt mm-ben a belső fogazású kerék fejkörén mérve

$$0,009633 \cdot 144 = 1,387 \text{ mm}$$

csúcsakadás lép fel, tehát az alkalmazott korrekció még mindig nem elég.

A csúcsakadás kiküszöbölésére a belső fogazású keréknél a fejkör sugarát tovább kell növelni, a kiskeréknél pedig további fogfejcsonkítást kell alkalmazni.

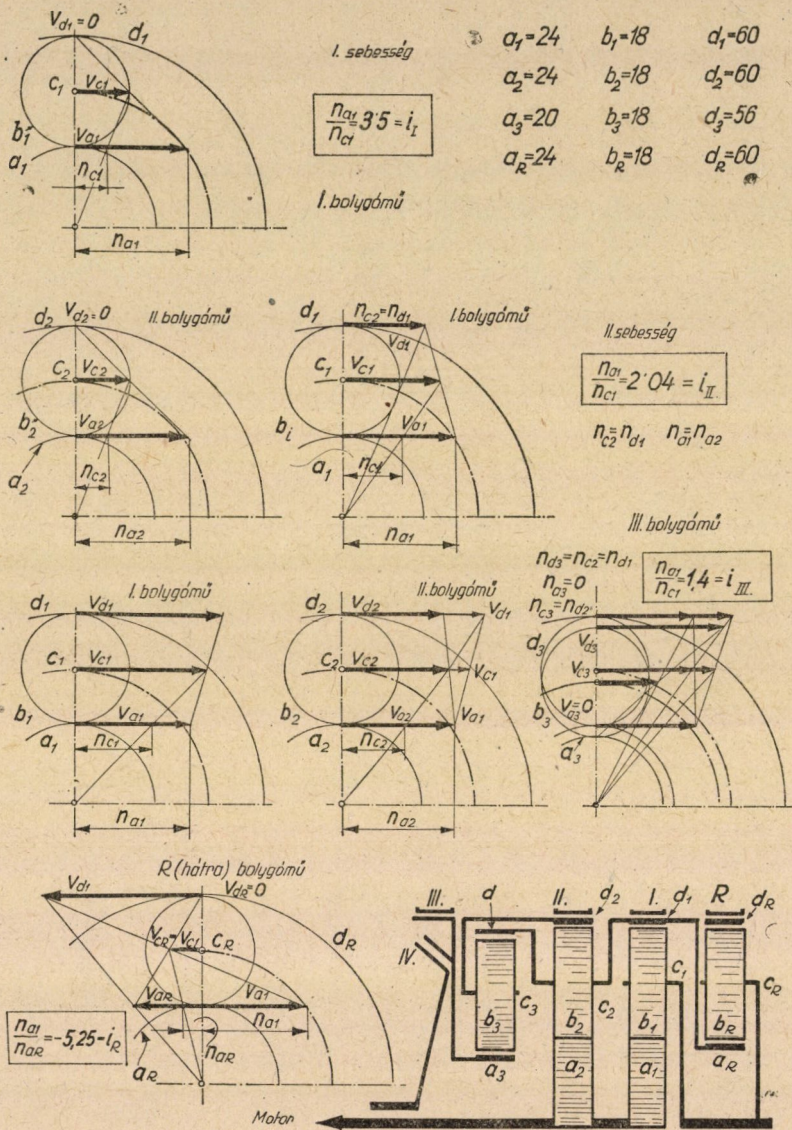
Az eljárást addig folytatjuk, amíg $x_2 = x_1$ értékét nyerjük.

A bolygóműves hajtóműveknél az áttétel kiszámítása rendszerint nagy gondot okoz.

A szakirodalom általában a szögsebességekkel operál, amely azonban nehézkesnek bizonyul és sok szerkezet azért nélkülözi e rendkívüli lehetőségeket magába rejtő szerkezeteket, mert kellő ismeret hiányában nem alkalmazzák őket.

Különösen akkor nehéz a bolygóművek áttételét kiszámítani, ha az több bolygóműrendszer eredőjeként adódik.

A 7. ábrán a járműiparban általánosan használt és világhírűvé vált Wilson-rendszerű sebességváltómű elvi szkémáját látjuk. Ez a váltómű abban különbözik a többi rendszertől, hogy az áttételek létrehozásában fokozatosan az összes bolygómu részt vesz.



7. ábra

A négysebességes váltómű (a hátramenetet nem véve figyelembe) három egymással összefüggő bolygómuvel rendelkezik. Az egyes sebességeket a megfelelő bolygómuvek belső fogazású gyűrűkerékének lefékezésével érjük el.

Jelöljük az I., II. és III. bolygóművek kerekeit 1-gyel, 2-vel, ill. 3-mal. Ennek megfelelően a három bolygóműnél a napkerekek fogszáma

$$a_1 = 24, a_2 = 24 \text{ és } a_3 = 20,$$

a bolygókerekéké

$$b_1 = 18, b_2 = 18 \text{ és } b_3 = 18,$$

a belső fogazású gyűrűkeréké

$$d_1 = 60, d_2 = 60 \text{ és } d_3 = 56$$

hátramenetnél, pedig

$$a_R = 24, b_R = 18 \text{ és } d_R = 60.$$

Számítással a megfelelő áttételeket az alábbi bonyolult egyenletekből kapjuk, feltéve, hogy az adott fogsámok azonos modulra vonatkoznak; az I. sebességnél csak az 1-es bolygómű dolgozik, a $d_1 = 60$ fogú kerék van fékezve, ill. rögzítve; az áttétel

$$i_I = 1 + \frac{d_1}{a_1} = 1 + \frac{60}{24} = 3,5.$$

A II. sebességet az első és második bolygómű összmunckája adja a $d_2 = 60$ fogú kerék fékrögzítésével. Az áttétel

$$i_{II} = \frac{1}{\frac{1}{1 + \left(\frac{d_2}{a_2}\right) \left(1 + \frac{a_1}{d_1}\right)} + \frac{1}{1 + \frac{d_1}{a_1}}} = \frac{1}{\frac{1}{\left(1 + \frac{60}{24}\right) \left(1 + \frac{24}{60}\right)} + \frac{1}{1 + \frac{60}{24}}} = 2,04$$

A III. sebességi fokozatnál az 1, 2 és 3 bolygóművek dolgoznak együtt. A megfelelő áttételt az $a_3 = 20$ fogú kerék fékrögzítésével kapjuk. Az áttétel számítása:

$$\begin{aligned} i_{III} &= \frac{1}{\frac{a_1}{a_1 + d_1} + \frac{d_1}{a_1 + d_1} + \frac{a_2(a_3 + d_3)}{d_3 a_2 + a_3(d_2 + a_2)}} = \\ &= \frac{1}{\frac{24}{24+60} + \frac{60}{24+60} + \frac{24(20+56)}{56 \cdot 24 + 20(60+24)}} = 1,4 \end{aligned}$$

A váltómű direkt sebességét a K tengelykapcsoló zárásával érjük el, tehát legördülés nem tud létrejönni a bolygóművekben, így az áttétel

$$i_{IV} = 1.$$

A váltómű hátrameneténél csak az 1-es és az R (hátrameneti) bolygóművek dolgoznak, a számított áttétel

$$i_R = \frac{a_1 a_R - d_1 d_R}{a_1 a_R} = \frac{24 \cdot 24 - 60 \cdot 60}{24 \cdot 24} = -5,25$$

A számítási eljárás az áttételek számbeli pontos értékét adja. Az egyenletek azonban bonyolultak, nehéz őket fejben megjegyezni és ha szükségünk van rájuk, a szakkönyvekben is csak elég hézagosan vannak ismertetve. A 7. ábra szerinti grafikus módszerrel a sebességvektorok felrajzolásával megkapjuk a keresett kerületi sebességet, ill. a keresett fordulatszámot is. Pl. az I. sebesség meghatározásánál, mivel az a_1 kereket a motor hajtja, ismerjük a fordulatszámát és az adott méretek szerint a kerületi sebességét is (bár ennél a szerkesztésnél sem a fordulatszám, sem a kerületi sebesség számértéke nem fontos). Tehát az a_1 és b_1 kerék érintkezési pontjában, mivel ezek kerületi sebessége egyenlő, felmérjük valamilyen kedvező méretben a v_{a1} sebesség vektorát.

Az I-es sebességnél a d_1 fogaskerék áll, tehát ezen pontban a sebesség 0. Ezen bolygóműrendszerrel a bolygókeréktartó kar (c_1) fordulatszámát keressük az a_1 hajtókerékhez viszonyítva.

A v_{a1} sebességvektor végpontjának egyenesvonalú összekötésén a $v_{d1} = 0$ ponttal, kell keresnünk a kar (c_1) sebesség vektorának értékét is. Ezt megkapjuk, ha a c_1 pontból addig húzunk párhuzamost, míg az az előbb említett egyenest metszi. Ez lesz a keresett v_{c1} sebesség vektora. A szerkesztésből látható, hogy

$$v_{c1} = \frac{v_{a1}}{2}.$$

Az áttétel meghatározásánál, mivel ismerjük az a_1 kerék fordulatszámát (azonos a hajtó motoréval), a v_{a1} sebességvektort egyúttal fordulatszám-vektornak tekinthetjük. Ha a v_{c1} sebességvektor végpontját összekötjük a rendszer forgási középpontjával, akkor az n_{c1} fordulatszám-vektor metszéke adja a keresett fordulatszámot, vagyis a n_{a1}/n_{c1} fordulatszám arányát, ill. az áttételt.

Ebben az esetben

$$\frac{n_{a1}}{n_{c1}} = 3,5.$$

Ha a szerkesztésnél elkerüljük a hegyes metszéseket és elég nagy ábrát rajzolunk, az áttétel értékét elegendő pontossággal kapjuk.

Ha nagyobb pontosságra van szükségünk, akkor az áttételi egyenlet helyett a szerkesztett háromszögeket is felhasználhatjuk az áttétel, ill. fordulatszámok pontos meghatározására.

Ugyanígy megszerkeszthetjük a II. sebesség áttételét is, mindig gondosan szem előtt tartva, hogy a sebességvektorok milyen keréksugarakhoz tartoznak.

A II. sebesség áttételének szerkesztésénél a II. bolygóműből indulunk ki. Mivel a fogsámok és modulok mindkét bolygóműnél azonosak, a második bolygómű sebesség háromszögei ($v_{d2} = 0$) teljesen azonosak lesznek az előbbi szerkesztéssel. A II. sebesség áttétele kisebb, tehát itt n_{c1} növekedni fog, ehhez az egyes bolygómű (alapbolygómű) áttételét csökkenteni kell.

Gyakorlatilag ez úgy van megoldva, hogy a c_2 bolygókerékkar össze van kapcsolva az I-es bolygómű d_1 belső fogazású koszorújával, vagyis ezek azonos fordulatszámúakkal működnek.

A v_{d1} értékét tehát úgy kapjuk, ha a $0-v_{c2}$ húrt meghosszabbítjuk, amíg a v_{d1} vektort metszi. A v_{a1} és v_{d1} összekötésén kapjuk a keresett v_{c1} sebességvektort.

A keresett n_{c1} fordulatszámot a v_{a1} fordulatszám-vektornak tekintett sebességvektoron kapjuk, a v_{c1} 0 egyenes metszékével.

A III. sebesség szerkesztését ugyanígy végezzük el, a harmadik bolygóműből kiindulva. Ezen váltóműrendszerrel a kettes és hármas bolygómű csak előtétként szerepel az egyes alpbolygómű áttételének létrehozásában.

A hátrameneti sebesség szerkesztését is látjuk a 7. ábrán, azonban megjegyzem, hogy a bolygóműrendszerek fordítóművekként nem előnyösek a rendszerben fellépő nagy nyomatékok miatt.

A bolygóművek a járműveknél rendkívül elterjedtek. Az automata sebességváltóknak is ilyen berendezésük van. A Hydramatic, Ultramatic, Ford-Mercury, Dyna-Flow stb. váltóművekben is bolygóművek vannak alkalmazva; sőt a Hydramatic-nál a bolygómű erőfolyama a hidraulikus tengelykapcsolón keresztül az erőátvitel egy új módját, a hidromechanikai kapcsolatot teremtette meg. A bolygóművek ma már az ipar valamennyi területén alkalmazásban vannak és a bolygóműrendszerek elmélete egy új tudományággá vált, a többi hajtómű mellett. A bolygóművek mechanikai viszonyai azonban túlnőnének ezen hozzászólásom keretén, így azok tárgyalásától eltekintettem.

A VISZKOZIMETRIA EGYIK KÜLÖNLEGES TÖRVÉNYSZERŰSÉGE

HAÁG DEZSŐ

Az elhangzott előadások általában a fogaskerék kinetikai és terhelési viszonyaival foglalkoztak. A kenés megoldásra váró kérdését csak pár előadó érintette, bár ezen a téren mielőbb alapvető megállapításokra lenne szükség. Nem kívánok a kérdés részletes tárgyalásába bocsátkozni. Csak a viszkozimetria egy törvényszerűségére kívánom a hallgatóság figyelmét felhívni, mert ezzel tisztázhatóvá válik egypár olyan ellentmondás, amely az irodalomban is meggyökeredett.

A kísérletek szerint kis magasságból leejtett acélgolyók az üllőn maradó alakváltozást okoznak, vagyis a folyási határon felül veszik igénybe az anyagot. A bemélyedések hol határozottan, hol pedig elfolyó átmenettel határolódtak el. Ebből arra a következtetésre jutottak, hogy első esetben nem maradt olajhártya a két ütköző felület között, a második esetben az elmosódó határvonal az olaj bizonyosfokú ékező befolyására mutat. A következtetés téves, mert a kísérletek kiterjedtek a fémes érintkezés vizsgálatára is és megállapították, hogy az éles kerületű deformációk esetén az olaj szigetelte az üllőn és a golyón átvezetett áramkört, amely pedig olajozatlan felületek ütközésénél záródott.

A látszólagos ellentmondás magyarázatát a viszkozitásnak a nyomás hatása alatti változásának törvényszerűségei teszik lehetővé. Az olaj viszkozitása nemcsak a hőmérséklettel, de a nyomással is változik. A törvényszerűség a növekedést nagyjából az alapviszkozitásnak és egy A tényezőnek a nyomáshatványán szereplő szorzatával fejezi ki.

$$VK_P = VK_0 \cdot A^P.$$

Az A tényezőről megállapítást nyert, hogy a viszkozitási görbe érintőjének hajlásszögével arányosan növekszik. Az arányszám zsíros olajnál sokkal kisebb, mint ásványolajnál úgy, hogy az ásványolaj viszkozitása rohamosan emelkedik a nyomás hatására. Az előbbi, Walter által felállított szabály igen bonyolult viszonyokat teremt, mert a viszkozitási görbe érintőjének hajlásszöge a hőmérséklet

függvényében változik. Az olaj viszkozitási indexétől és grádiensétől függően tehát sokféle változat lehetséges. A kérdést bonyolultabbá teszi az a megállapítás, hogy egy, az olajra jellemző kritikus nyomásnál az arányosság megtörik, ugrásszerűvé lesz és ettől kezdve az olaj már nem is viselkedik folyadék gyanánt, hanem a szilárd vagy képlékeny anyagok törvényeit követi. Ezt a pontot ezért nevezték el »solidifikációs pont«-nak, amit szilárdulással lehetne lefordítani. Ez a jelenség szolgál magyarázatul arra, miért lehetséges, hogy forgácsolásnál olajnyomás alatt, szinte ehhez hegedve szakadnak ki kristályok az anyagból. Természetesen ilyen körülmények között folyadéksúrlódás sem érvényesülhet, helyét a Coulumb-törvénynek megfelelő szilárd testekre érvényes felületi súrlódás foglalja el. A zsíros olaj nagyobb nyomáson beálló solidifikációja következtében alkalmazható metszőolajul ott, ahol az ásványolaj már nem biztosít hűtő-kenő hatást.

A fogaskeréknél a leírt jelenségeket sem lehet figyelmen kívül hagyni. A fellépő pillanatnyi fognyomások, igen nagy Herz-feszültségekkel egyidejűleg a solidifikáció határán felül alakulnak ki. Minthogy azonban egyidejűleg fellépő melegedés az érvényesülő viszkozitás és viszkozitási gradiens nagyságát ismeretlen mértékben befolyásolja, nincsen módunk a Walter-törvény alkalmazására. Innen származnak azok, a Varga kartárs által is említett kenéstechnikai nehézségek, amellyel mindenki szembekerülhet, aki gyakorlatban foglalkozik a fogaskerekek kenésével, t. i. hogy adott esetben tájékozatlan a tekintetben, vajjon a beállott kopásokat nagyobb, vagy kisebb viszkozitású olaj szünteti-e meg. Kétségtelen, hogy solidifikáció következtében a legkritikusabb pillanatban szűnik meg a folyadéksúrlódás, tehát a kenőhatás, a mérhetetlenül emelkedő viszkozitás miatt. Ugyanakkor azonban a lokális hőmérséklet tetemes emelkedése és ennek következményeként a viszkozitás logaritmikus arányú csökkenése következik be. Legutóbbi mérések 60°-os kerék, illetve olajhőmérséklet mellett 200—300°-os helyi hőmérsékletet állapítottak meg a fogak között. Ilyen, egyidejűleg érvényesülő, ellentétes hatások számbavételére ma még nem ismerünk módszert, ezért sokszor nincs más lehetőség az óvatos tapogatózásnál a régi mesterszabályok újbóli próbálgatásával. Ezen a téren még igen nagy kutatómunka vár megoldásra.

Elmondottak után helyesbíthetővé válik a Vidéki kartárs által idézett tévedés is. Amikor olaj jelenlétében élesen határolódik a deformáció, akkor a viszkozitás nem kicsi, ellenkezőleg olyan nagy, hogy túllépte a solidifikáció határát és így alkalmassá lett tetszésszerű nagyságú terhelés átvitelére. A helyes következtetés tehát a korábbi következtetéssel 180 fokkal ellenkező irányban van: ilyen esetben a kenési állapoton nem a viszkozitás emelésével, hanem csökkentésével lehet csak javítani.

Feltételezem, hogy a solidifikáció és a nyomásviszkozitás jelenségei olyan törvényszerűségeket vonnak be a további kutatásokba, amelyek bizonyos esetben irányt mutathatnak a helyes megoldás felé.

A FOGASKERÉK-KUTATÁS NÉHÁNY PROBLÉMÁJA

SZENICZEY LAJOS

Az elhangzott előadásokból és felszólalásokból világosan kitűnt, hogy a fogaskerekek területén folyó és kísérleteken alapuló kutatómunka elégtelen. A felszabadulás előtt kutatómunka egyáltalán nem volt, ez csak az utóbbi évek-

ben indult meg. *Vörös* professzor tanszékén már futnak a megfelelő próbagépek, de sajnos évtizedek mulasztását kell pótolni, ezért eredményeket még nem publikálhattak. Ennek folytán a kutatók munkája csaknem kizáróan spekulatív, teoretikus és majdnem teljes egészében a fogazások geometriai problémáinak tisztázására szorítkozik.

A felszabadulás óta eltelt hét esztendőben például a szakajtóban megjelent kb. 15 jelentősebb cikk közül 14 ezzel a problémával foglalkozik.

Ez azzal a veszéllyel jár, hogy a kutató utánpótlás fiatal káderei a feladatokról torz képet kapnak és úgy látják, hogy a fogazások geometriai problémái a legfontosabb kérdések és azok megoldása a legégetőbb feladat.

Ezen egyoldalúságot semmiképpen sem ellensúlyozza az a néhány gyakorlati szakember, aki a fogaskerékgyártás során felmerülő tapasztalatokat rendszeresen gyűjti és kiértékeli, mert berendezések hiányában ellenőrző kísérletekre nincsen módja, de a mai fokozott ütemű termelés mellett ideje sincs. És nincs olyan kutatóállomás, melyhez problémáival fordulhatna.

Hogy a kísérleti berendezések hiánya milyen teljes, azt a következő néhány példa sokatmondóan illusztrálja.

Ma a hazai ipar évente többezer ipari fogaskerék-hajtóművet gyárt, de arra nincs módja és lehetősége, hogy csak egy hajtómű hatásfokát is hitelesen megállapíthassa. Történik ez annak ellenére, hogy a megrendelő néha nemcsak a teljes terhelés alatti hatásfokra, hanem a részterhelések hatásfokára is külön-külön kér garanciát. Minden ilyen esetben a garancialevél csupán értéktelen papiros, mert átvételi ellenőrzésre mód egyáltalán nincsen.

Másik kiáltó példa a méretezési eljárások körüli bizonytalanság. A szerkesztő irodák túlnyomó része ma már élettartamra méretezi a hajtóműveket, de igen gyakran túlzott biztonsággal, ami érthető, mert a gödrösödés (pitting) fellépését feltétlenül el akarja kerülni és ezt a hazai fogaskerékanyagokra vonatkozó kísérleti adatok teljes hiánya miatt csak túlzott biztonsággal érheti el. A most sajtó alatt lévő MNOSZ 2794 szabvány az ipari hajtóművek méretezéseinek biztonsági tényezőjét 2-ről 1,5-re szállította le több évtizedes gyártási tapasztalatok alapján, így ez a kérdés némileg enyhült, de megoldva nincsen.

Folytathatnám tovább is a példák felsorolását, de úgy vélem e két felhozott példa is elég meggyőzően bizonyítja a kutatások azonnali megindításának, illetőleg fogazáskutató laboratórium felszerelésének halaszthatatlan szükségességét.

De vessünk egy pillantást a közeljövő kutatófeladataira is.

Csak képzett fogazószakember tudja igazán méltányolni azt a hatalmas lépést, amelyet *Botka* Imre a homlokkerekek fogazó tudománya töretlen területén, most ismertett rendszerével tett. Ennek nemzetközi viszonylatban is igen jelentős eredménye az, hogy neki sikerült először az eddig egymástól teljesen független geometrikus méretezést a dinamikus méretezéssel szoros kapcsolatba hozni, sőt tulajdonképpen a kettőt egységes és egyetlen rendszerbe foglalni.

Kétségtelen azonban az is, hogy a *Botka*-féle fogazás különleges értékét az ellenőrző kísérletsorozat fogja megadni.

Hasonló jelentőségűek azok a kutatások is, melyeket az utóbbi évtizedben *Bárány* János a kúpkerékek, különösen az ívelt fogú kúpkerékek méretezése és gyártástechnológiája területén folytatott, széles alapon, és rendkívül értékes eredményekkel. Ezeket a hazai ipar nagy kárára éppen az exakt kísérleti igazolás hiányában e kutatónk még nem is publikálhatta.

Ezek előrebocsátása után lássuk, melyek azok a feladatok, amelyeket a hazai fogaskerékkutatóknak minél előbb meg kell oldaniok, illetőleg ezen feladatok megoldására alkalmas kísérleti berendezések, amelyeket minél előbb meg kell valósítani.

Az *első* nagy feladatkör a *fogaskerékanyagok* vizsgálata. Anyagfárasztó vizsgálatok lefolytatása a hazai fogaskerékanyagokra és pedig: egyrészt *pulzator-kísérletek* ismételt sztatikus igénybevételekre, másrészt terhelés alatt futó *járasztó-gépeken* dinamikus igénybevételekre.

E vizsgálatoknak ki kell terjedniök a valóban fellépő és megengedhető Herz-feszültségek exakt megállapítására és azon feltételek szabatos meghatározására is, amelyek a profilfelszín romlását a gödrösödést és kopást bizonyosan megakadályozzák.

Ide tartoznak a feszültségoptikai vizsgálatok is, amelyeknél átlátszó műanyagból készült mintakereknek feszültségelosztását vizsgálhatjuk terhelés alatt, polározott fényben.

Itt vetem fel azt a legjobb tudomásom szerint még sehol fel nem merült gondolatot is, hogy e feszültségoptikai vizsgálatokat ne csak nyugvó mintakereken, hanem terhelés alatt forgó párokon is vizsgáljuk úgy, hogy a fényforrás stroboszkóp legyen, melynek világánál a terhelési folyamat és ezzel egyidejűleg a feszültségelosztás a teljes kapcsolóhossz mentén tetszőleges lassítás mellett is megfigyelhető, sőt filmezhető lesz. Ennek az eljárásnak mind kutató, mind oktató szempontból igen nagy jelentősége volna.

Ugyancsak ide tartoznak azok a vizsgálatok, amelyek az edzett réteg struktúrájának befolyását értékelik ki a profilfelszín romlására.

A *második* nagy feladatkör a fogaskerek és hajtóművek kenési problémáinak vizsgálata. A kenőolajnak és különösen a kenőolaj kémiai struktúrájának és mechanikai jellemzőinek befolyását a súrlódásra, illetőleg a határfokra. Meg kell végre szabatosan állapítanunk azt, hogy milyen hajtóművekhez milyen minőségű kenőolajat használjunk, mert e téren nagy a tájékozatlanság és csupán a nem mindig teljes értékű gyakorlati tapasztalatok adnak némi támogatást.

Ide tartozik a profilfelület kialakításának és az alkalmazott kenőanyagok *egymásra* hatása is, amely téren éppen a közelmúltban kaptunk csigahajtásoknál váratlan és az idegen szakirodalom adataival ellenkező, de éppen ezért sokatígérő eredményeket.

Ugyancsak megvizsgálandó a profilfelület minőségének és a kenőanyagok egymásra, valamint a Herz-feszültségre és a felületromlásra való hatása is.

Lényegileg ebbe a feladatkörbe tartozik a dinamikus terhelési együtthatók megállapítása is az összesített fogazáshibák függvényében, mert e téren teljes a tanácstalanság és a külföldi szakirodalom is igen eltérő adatokat közöl.

A *harmadik* jelentős feladatkör az ipar által sorozatban gyártott típus-hajtóművek hatásfokának szabatos mérése. Iparunk szégyene, hogy erre alkalmas állandó berendezés nincsen. Egy kísérleti állomás, amely megfelelő nagyságú fékberendezésekkel el van látva, hajtóművek hatásfokméréseit nemcsak sikeresen és szabatosan végezheti, hanem minden vitát, amely gyártó és felhasználó cégek között különösen garancia tekintetében néha oly hevesen fellángol, közmegnyugvásra le is zárhat.

Ezen kísérleti berendezés alkalmas lesz némi kiegészítéssel arra is, hogy a hajtóművek hűtésének fizikai feltételeit egységesen és szabatosan előírja.

Nemcsak a hajtómű üzemközben fejlődő melegmennyiségét, hanem ennek elvezetésére szolgáló és szükséges hűtőolaj- és hűtővízmennyiséget, valamint a hőkicserélő felületét és legcélszerűbb kialakítását is kidolgozhatja, illetőleg meghatározhatja. Ugyancsak meghatározhatja a merülőkenés és a szivattyús kenés nagyságrendi feltételeit és határait is.

A *negyedik* nagy feladatkör a fogazások geometriai formáinak vizsgálata és a különböző geometrikus fogazási rendszerek összehasonlítása és kiértékelése.

Az első kérdés különösen a most terjedni kezdő profillenyesés kérdése. Milyen mértékű legyen ez és milyen kezdeti adatokkal futó fogaskerékpár profilját ajánlatos lenyesni. Úgy látszik ez a kérdés egyelőre nagyterhelésű edzett és köszörült fogazásokra szorítkozhatik, de a határok megállapítására kísérleteket kell végeznünk.

A második kérdés, a különböző geometrikus fogazórendszerek összehasonlító kiértékelése azért fontos, mert úgy látszik, mintha e rendszerek egymástól teljesen függetlenek volnának, holott csupán a késkihúzások mértékének néhány tizednyi modulust kitevő »területén«² térnek el egymástól.

Az *ötödik* jelentős feladatkör a fogazások gyártásának technológiája és ezen belül a *fogazószerszámok készítésének tudományos megalapozása*.

Közismert tény, hogy a fogazószerszámok gyártása iparunk krónikus betegsége és e téren igen rosszul állunk.

Példának hozom fel a Filatov-féle speciális homlokkerékmarót, amelyet néhány példányban az ezévi lipcsei vásáron már bemutattak, a magyar szakirodalom is terjedelmes cikkben ismertette és ennek ellenére legjobb tudásom szerint egyetlen magyar gyárban sem kísérelték meg a bevezetését, még a kifejezetten szériagyárakban sem, holott technológiai előnyei a leírások szerint igen jelentősek.

Ugyanez a helyzet a Klingelberg-féle ívelt kúpfogazást készítő kúpos csigamarók terén is. Annak ellenére, hogy ívelt kúpkerékgyártó gépeink túlnyomó része Klingelberg-rendszerű, kúpos marókat a hazai ipar még nem gyárt. Történtek ugyan három gyárban is kísérletek ezek előállítására, de az eredmény nem volt kielégítő s a további kísérletekkel a gyárak ösztönzés és támogatás hiányában felhagytak.

E helyről is kellő nyomatékkal felhívom illetékesek figyelmét arra, hogy a kúposmarók gyártásának halogatása járműiparunk termelését komolyan veszélyezteti.

Nem kedvezőbb azonban a többi fajta fogazószerszám gyártása sem, amely több gyárban is kellő tudományos megalapozottság nélkül folyik. E kérdésben azonban iparunk is hibás, mert például egyik nagy gyártelepünk szerszámgyárában fésűskéseket úgy gyártanak, hogy sarkaikat lekerekítés helyett ferde vonalban letörik. A Műszaki Egyetem gépelemek tanszéke nagyított léptékben kiserkesztette azt a fűrészhez hasonló íbögörbét, amelyet e helytelenül kialakított szerszám lefejt, de a gyár e vizsgálatokat figyelmen kívül hagyva, tovább is helytelen profilkialakítású késeket gyárt annak ellenére, hogy ezzel a szerszámmal készült kerekben a fogtőben fellépő feszültség értéke veszedelmesen megnő.

Tudatában annak, hogy az előadottak csupán a kérdés legégetőbb problémáit jelzik, mégis remélem, hogy a közeljövő fogazó kutatásainak megindulására felszólalásom némi ösztönzést ad.

RÁZSÓ IMRE lev. tag elnöki zárszavai

Megköszönöm a hozzászólásokat. Miután a felszólalások között nem volt olyan, amely *Vörös* professzor előadott anyagával vitába szállt volna, azt hiszem, *Vörös* professzor kartárs nem kíván külön válaszolni a felszólalóknak. Magam sem akarom hosszú zárszóval a hallgatók türelmét igénybevenni. Helyes volt, hogy az előadás olyan értékeket hozott napfényre, amelyekre méltán büszkék lehetünk. Ha hiba történt, az csak talán az volt, hogy túl sok mondanivalójuk van a kartársaknak. Hiba volt, hogy ezzel nem számoltunk és talán túl rövid időre koncentráltuk a rendkívül értékes előadási anyagot. Bevezető szavaimban kitértem arra, hogy a fogaskerékgyártás, fogazás problémájához népgazdaságunknak milyen fontos érdekei fűződnek, ez anyagiakban milyen hatalmas megtakarítást jelentett, iparunkat milyen óriási mértékben fejlesztette. Az elhangzott előadások hatása alatt nem szabad megállni, annyi önálló kutatás került napfényre, annyi érték bontakozott ki, hogy szerintem helyes volna, ha konkretizálhatnók ezeket és az iparnak hasznosítható formában bocsáthatnók rendelkezésére. Javaslattal lépek fel és főleg azokhoz fordulok, akik előadásukkal hozzájárultak az Akadémia nagyhatékonyságához. Az a javaslatom, hogy akik ilyen behatóan foglalkoznak a fogazás problémájával, alakítsanak fogazási bizottságot, iparkodjanak kialakítani különleges magyar fogazási rendszert, amely ilyen eredményes utakon indult el és amelyet ha sikerül kialakítani, hozzájárul ahhoz, hogy minden üzem a fogazási problémával eredményesebben foglalkozzék, mint eddig. Köszönöm a megjelentek szíves türelmét és az ülést bezárom.

TARTALOMJEGYZÉK

<i>Rázsó Imre</i> : Adatok a traktorok dinamikájához	1
<i>Hozzászólások</i> Komondy Zoltán	28
Kund Ede	30
Pattantyus Á. Géza	31
Korbuly János	33
Lacsny Árpád	34
Billege János	36
Rázsó Imre válasza	38
Rázsó Imre elnöki megnyitója	40
<i>Vörös Imre</i> : A fogaskerekek méretezésének és gyártásának néhány problémája	41
<i>Hozzászólások</i> : Jurek Jenő	74
Varga József	92
Varga József	102
Botka Imre	108
Jurek Aurél	127
Haág G. Dezső	137
Szeniczey Lajos	138
Rázsó Imre elnöki zárszava	142



Ára: 20.— Ft

**MAGYAR
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI**

IV. KÖTET 3—4. SZÁM

SZERKESZTI
HEVESI GYULA

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
1951. DECEMBER 9-15-ÉN MEGTARTOTT NAGYGYŰLÉSÉN
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYA
ENERGETIKAI ÉS HÍRADÁSTECHNIKAI FŐBIZOTTSÁGAI
RENDEZÉSÉBEN TARTOTT ELŐADÁSSOROZAT ANYAGA



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
BUDAPEST, 1952

VI. OSZT. KÖZL.

MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI

HEVESI GYULA

IV. KÖTET 3—4. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST, V., GÉZA-UTCA 2.

KIADÓHIVATAL: BUDAPEST, V., ALKOTMÁNY-UTCA 21.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei változó terjedelmű füzetekben jelennek meg. Négy füzet alkot egy kötetet. Évenként általában egy kötet jelenik meg.

Kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest, V., Géza-u. 2.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Minden szerzőt ötven különnyomat illet meg megjelent munkájáért. Közlésre el nem fogadott kéziratokat a szerkesztőség lehetőleg visszajuttat a szerzőhöz, de felelősséget a beküldött kéziratok megőrzéséért, vagy továbbításáért nem vállal.

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 20 forint, külföldi címre 30 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány-u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 04-878-111-48), külföldi megrendelések a »KULTÚRA« Könyv-és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest, VIII., Rákóczi-út 5. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 45-790-057-50-032) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

Acta Technica

című idegennyelvű folyóirat.

E lap hivatott a magyar műszaki tudományok eredményeinek legjavát a külföld felé tolmácsolni. A cikkek orosz, német, angol, vagy francia nyelven jelennek meg lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül oroszul. Cikkeket magyar vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni:

Acta Technica szerkesztősége, Budapest, V., Géza-utca 2.

A FÖLDVEZETÉSES ENERGIASZOLGÁLTATÁSI RENDSZER*

KOVÁCS K. PÁL levélező tag előadása

I. Bevezetés

A földnek vezetőként való felhasználása az erősáramú elektrotechnikának egyik érdekes és úgy látszik még véglegesen nem lezárt területe. Tulajdonképpen természetes gondolatnak látszik, hogy a végtelen nagy keresztmetszettel ingyen rendelkezésre álló földet minél nagyobb mértékben és minél kiterjedtebben kihasználjuk vezetőként. E természetes gondolattal szemben igen sok ellenérvet vetettek már fel, amelyek között vannak szép számmal műszaki megalapozottságú hozzászólások, de voltak hazai viszonylatban pl. olyan megjegyzések is, hogy valószínűen van a földvezetésnek valami hibája, mert a külföld (t. i. a nyugati külföld) általában nem alkalmazza.

Nem lesz tehát helytelen, ha az egész kérdést a külföldön történt alkalmazások, illetve javaslatok, valamint a hazai felhasználás szempontjából összefoglaljuk.

A Szovjetunióban kb. 1933. évre tehető a meglévő irodalmi címanyag kiértékelése alapján (sajnos az eredeti cikkek nem hozzáférhetők) a DPZ (Dva Provoda-Zemlja) rendszerű földvezetéses háromfázisú vezetékek első építésének időpontja. Ez a rendszer lényegében megegyezik a hazánkban első ízben 1949 márciusban alkalmazott háromfázisú földvezetéses rendszerrel, amelynél a háromfázisú áramnak vezetése nagyfeszültségen két fémes vezetők és harmadik vezetőként a földnek a felhasználásával történik.

Sajnos ezeket az — e tárgyról szóló — szovjet cikkeket, amelyeknek a mai napig is csak címeit tudtuk megszerezni, a földvezetéses háromfázisú rendszer hazai bevezetése idején nem ismertük. Így nem állott mögöttünk az a hatalmas erkölcsi segítség és a biztonságnak az a foka, amelyet a szovjet megoldás egyszerű híre is előidézett volna, nem is szólva a tapasztalatok felhasználásának későbbi lehetőségéről.

Így kénytelenek voltunk az első hazai kísérleteket, sőt a fokozatos bevezetést is teljesen a magunk erejéből elvégezni. E munkában, amelyet a szerző és Geszti Pál Ottó javaslatára és elgondolásai szerint az akkori Állami Villamosművek Rt. vállalat foganatosított, mellettünk állott a lelkes és az ilyen természetű újszerű munkában a szocialista fejlődéstől lelkesített dolgozók, mér-

* Az előadás és Ignác Pál, Eisler János, Pázmándy László, Kaiser József, Vígvári László és Jedovszky Jenő hozzászólásai a Villamosítási Kutatási Bizottság keretében végzett munka eredményeiről számolnak be.

nőkök kicsiny csoportja, amely az első háromfázisú kísérleti vonal munkálatait a Vác—Buki szigetről kiinduló kb. 30 km hosszú 20 kV-os hálózaton rendkívül rövid idő alatt elvégezte. Mind e kísérlet eredményei, mind a még ugyanebben az évben nagy lendülettel, de nem mindig helyes műszaki megoldással végrehajtott ilyen rendszerű vidéki villamosítások megerősítették e rendszer alkalmazhatóságáról alkotott véleményünket, de egyúttal utat mutattak mindazoknak a hibáknak kiküszöböléséhez is, amelyeket részben a rendszer alkalmazási területeinek helytelen megválasztása, részben az alkalmazott technikai berendezések tökéletlensége és provizórikus jellege okozott. Ilyen előzmények után — amelyekben például szerepet játszott az akkori faluvillamosítási vállalatnak az a helytelen gondolatmenete, hogy az így épített vonalak gazdaságosságát egyes-egyedül a beruházásban elért megtakarításból számította — elhanyagolva a szükséges 1 : 1 áttételű leválasztó transzformátorállomás veszteségeit és ezek tőkésített értékét — nem lehet csodálni, hogy sok gondot okozott e villamosítási rendszer ellenzőinek felvilágosítása és az elkövetett műszaki hibák kiküszöbölése. A későbbiek során kissé részletesebb vizsgálat tárgyává tesszük a földvezetések háromfázisú rendszer műszaki és gazdasági hátrányait előnyeit és alkalmazásának határait, amikor is látni fogjuk, hogy a földvezetések háromfázisú rendszer alkalmazását nagy körültekintéssel végzett gazdasági és műszaki vizsgálatnak kell megelőznie.

Visszatérve a külföldi alkalmazások kérdésére, meg kell jegyezni, hogy úgy látszik még a Szovjetunióban sem zárultak le a DPZ rendszerre vonatkozó vizsgálatok, annak ellenére, hogy e rendszert immár 18 évvel ezelőtt alkalmazták először. Erre mutatnak az Elekricseszto-ban a legutóbbi években e tárgyban megjelent dolgozatok. Ezek közül pl. idézzük a Szovjetunió kőolajipari minisztériuma energetikai bulletinjében (1949. No. 11.) V. U. Sibakovtól megjelent cikket, amelynek címe: »DPZ rendszerű (Dva Provoda Zemlja, kétvezeték-föld) 35 kV-os erőátviteli vezeték üzemi tapasztalatai«, amely szözszerinti fordításban a következőképpen kezdődik :

»A DPZ rendszerű vezetékek lényeges kérdései, amelyekre az üzemi kísérleteknek kell választ adniok (a szerző kiemelése), a következők : 1. Az áramok és a feszültségek aszimmetriájának nagysága. 2. A vezetékek és állomások szigetelése a földhöz képesti feszültség $\sqrt{3}$ -szoros növekedésére tekintettel. 3. Gondoskodás az üzemi földelésről a DPZ rendszerben. 4. A DPZ vezetékek befolyása a gyengeáramú vezetékre és más kérdések«.

E négy pontba foglalt kérdések pontosan azok, amelyeket nekünk a földvezetések háromfázisú rendszerrel való foglalkozás feladott és amelyekre nagyobbára feleletet kaptunk, részben a kísérletek, részben az elméleti elgondolásaink alapján. Mindenesetre érdekes, hogy ezek a kérdések még a Szovjetunióban is bizonyos fokig nyitottak, de azt hisszük, hogy erre némi magyarázatul szolgálhat, hogy a Szovjetunióban a DPZ rendszert föltehetőleg csak egészen

kis, helyi jelentőségű, hálózatokon alkalmazták és csak a Nagy Honvédő Háború után kezdték nagyobb feszültségű és nagyobb teljesítményű vezetékekre próbaképpen alkalmazni.

Ami a nyugati országokat illeti, az USA-ban és Angliában a földelt csillagpontú hálózat mellett alkalmazzák a földet, mint vezetőt egyfázisú kisteljesítményű fogyasztók ellátására, és pedig az u. n. »multigrounded« rendszerben, amelynél szigeteletlen földelt vezetőt is feltesznek az oszlopokra és azt a vezeték mentén számos helyen földelik. E megoldásnál valójában nemcsak a földet használják ki, mint vezetőt, hanem a fémes vezetőt is, főként arra ügyelve, hogy a fémes földvezető mindenütt földpotenciálon legyen.

Történtek ezen kívül javaslatok pl. a svájci BBC részéről, amely a nagyfeszültségű és nagyteljesítményű nagy távolságú energiaátvitelt Scott-kapcsolású kétfázisú transzformátorral kívánja megoldani, ami a háromfázisú földvezetési rendszerhez képest azzal az előnnyel jár, hogy a hálózati üzemi kapacitások szimmetrikusok maradnak. Ezzel az aszimmetriák-okozta különféle hatások, pl. a ferrozonancia jelenségek, elmaradnának. Azonban ez a megoldás csak javaslat maradt és tudomásunk szerint próbákra nem került sor.

Meg kell még említeni a tengervíznek áramvezetésre történő felhasználását. Egyik nagyszabású ilyen energiaszolgáltatási megoldás a svédországi Gotland sziget ellátása nagyfeszültségű egyenárammal, ahol a fémes vezető a tengerbe lerakott egyerű kábel, a másik vezető a tengervíz.

Magyarországon a földvezetést alapos elméleti előkészítés után 1948. decemberében próbáltuk ki először a Balinka—Nagyvelegi egyfázisú 20 kV-os vezetéken. Az ott szerzett kielégítő tapasztalatok alapján — amint már említettük — 1949. márciusában, tehát közel három éve helyezzük üzembe a Vácról kiinduló észak-nógrádi, földvezetésre átalakított háromfázisú vezetéket.

TÁBLÁZAT
Földvezetési hálózatok Magyarországon

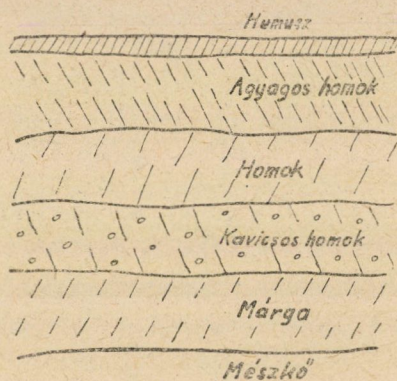
Feszültség kV	Rendszer	Hossz km	Leválasztó	Hálózati
			transzformátor (teljesítmény kVA)	
22	3 fázisú	257,3	1150	1553
22	1 fázisú	16,7	65	30
15	3 fázisú	52	200	200
12,7	3 fázisú	180,6	} 550	110
12,7	1 fázisú	23,3		
	Összesen	529,9	1965	2893

1951. július végéig Magyarországon összesen kb. 530 km hosszúságú egy- és háromfázisú földvezetési rendszerű nagyfeszültségű vezeték van üzemben. Ezeknek főbb jellemző adatait a táblázat tartalmazza.

A következőkben elsősorban a földvezetési háromfázisú rendszer néhány alapvető kérdését fogjuk vizsgálni. Különösen azokat az eltéréseket vesszük szemügyre, amelyekben a földvezetési rendszer a rendes háromvezetős háromfázisú rendszertől eltér. Így vizsgálat tárgyává tesszük a földnek, mint vezetőnek az impedanciáját és ohmos ellenállását, megvizsgáljuk a földelések kérdését és a földvezetési rendszerben fellépő aszimmetriákkal is foglalkozunk.

2. A földnek, mint vezetőnek tulajdonságai váltakozóáramú áramkörben

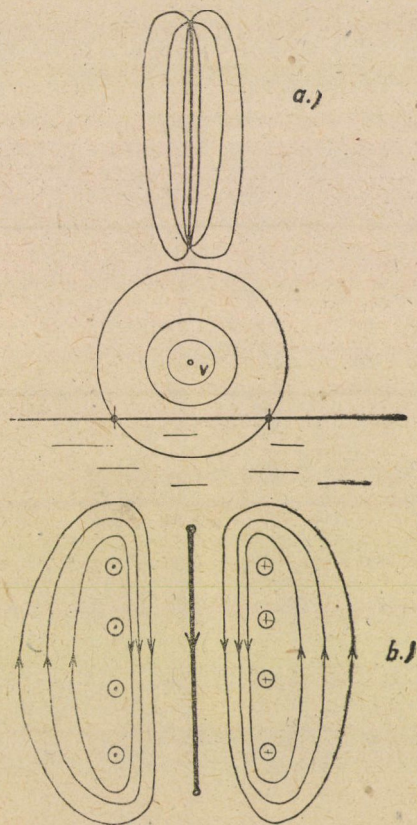
A földnek fajlagos vezetőképessége a talaj minőségétől, valamint állapotától függően erősen változó. Maga a talaj általában szigetelő, de a benne



1. ábra

levő ásványi sók a nedvességgel együtt félvezetővé teszik. Érthető, hogy ez okból a föld vezetőképessége változni fog (évszakok szerint) a hőfokkal és a nedvességtartalommal. Hazai viszonylatban az igen rossz vezető sziklás terület különösen a síkvidéki részekben nem fordul elő és így átlagos talajkeresztmetszetnek az 1. ábrán látható kép tekinthető. Az ilyen természetű talaj fajlagos vezetőképességét hazánkban $\lambda = 10^{-4}$ 1/ohm cm-re tehetjük, amit a vörösrézrel összehasonlítva $\left(\lambda_{\text{vöröz}} = 5,6 \cdot 10^5 \frac{1}{\text{ohm cm}} \right)$ a föld vezetőképessége kereken $6 \cdot 10^9$ -szeresen rosszabb a vörösrézénél. Ugyanakkor azonban a földben végtelen nagy keresztmetszet áll rendelkezésre és így a föld fajlagos vezetőképességének tulajdonképpen csak a földbe való bevezetés, a földelések környezetében van jelentősége. Ugyanis a földelés közvetlen környezetében az áramszáknak viszonylag csak kis keresztmetszet áll rendelkezésre és így a feszültség-gradiens a földelő közelében a nagy áramsűrűség és a föld nagy fajlagos ellenállása miatt nagy. Ha azonban a földelők helyétől kissé eltávolodunk, akkor az áramszálok

szétterjedhetnek és gyakorlatilag korlátlan keresztmetszet áll rendelkezésre. Egyenáram vezetése esetén valóban az a helyzet, hogy a földelések ellenállásától eltekintve, magát a földet nulla ohmos ellenállásúnak találjuk, tekintettel a végtelen keresztmetszetre. Ezzel ellentétben váltakozóáram vezetésénél a helyzet másképpen alakul, mert itt a vezetőben, ill. a földben folyó áramok-alkotta hurok inductivitása is érvényre jut. A földben levő áramszálak közül



2. ábra

a távolabbiak inductivitása nagyobb, ezért a földben a fémes vezetőtől távolabbi helyeken az áramsűrűség kisebb. Ez okból az áram a földben főként a vezető alatt folyik (lásd 3. ábrát) és a föld fajlagos ellenállásától függően jobban vagy kevésbé terül szét a vezető két oldalán. Így azután az az érdekes jelenség áll elő, hogy az áramszálak a földben lényegében követik a vezető útját.

Érdekes jelenség az is, hogy a földben az egyes helyeken levő áramsűrűségek fázisa az örvényáramok miatt különböző. Az egyszerűség kedvéért tegyük fel, hogy csak a föld felett levő vezetőben folyik áram. (L. 2. ábrát.) Koncentrikus

körökkel ábrázolható mágneses tere időben szinusz-törvény szerint változik és a földben létesített örvényáramok fáziseltolása közel 90° lesz. Természetesen az örvényáramoknak is van mágneses tere és így újabb örvényáramok keletkeznek. Ezek a hatások másként jutnak érvényre a különböző helyeken és így a földben az áramsűrűség fázisa folytonosan változik. Mayr az áramsűrűségeket két összetevőre bontja: az egyik a fémes vezető áramával fázisban levő, ezt visszavezetésinek nevezi, a másik áramrész 90° -os fáziseltolású és ezt örvényáramnak nevezi. Mindkettő a vezeték alatt a legnagyobb és a számítások szerint 50 Hz hálózati frekvenciánál mintegy 3–4 km széles sávban terül el a vezető két oldalán. A következőkben ezeket a jelenségeket számszerűen is követni kívánjuk. A földben való váltakozóáramú vezetés kérdésének vizsgálatára többféle elmélet ismeretes: ezek közül a legfontosabbakkal kívánunk foglalkozni.

a) *Carson* elmélete fizikailag a leghelyesebb, eredményei a legpontosabbak. Feltétele szerint a föld homogén, végtelen kiterjedésű, síkkal határolt és mindenütt ugyanannyi a vezetőképessége. Felírja a fémes vezető árama által létrehozott mezőnek és a földben folyó áramoknak kölcsönhatásából kialakuló eredő fluxust. Eközben igen bonyolult matematikai összefüggésekkel kell a problémát kezelnie. Az elméletnek ezzel a részével nem foglalkozunk, csak felírjuk a végeredményeket. A következőkben azonban kritikailag megvizsgáljuk Mayr és Rűdenberg vonatkozó elméleti megfontolásait és azok eredményeit összehasonlítjuk Carson eredményeivel. E kritikai vizsgálatra kettős okunk lehet: egyrészt Mayr elméletét a hazai irodalom felhasználja, Rűdenberg pedig még 1945-ben is az eredetileg 1925-ben megjelent elméletének alapján áll. Végül egyszerű, fizikai és matematikai eszközök szempontjából könnyen követhető megfontolással magyarázni kívánjuk a földvezetés kérdését.

Carson elméletét Clem úgy egyszerűsítette, hogy az egyszerűsített képletek használatával elkövetett hiba nagyon szélsőséges esetekben sem több, mint 1%. Carson és Clem szerint a fémes szabadvezetőből és földvezetőből álló végtelen hosszú huroknak 1 cm-ére eső impedancia:¹

$$\dot{Z}_{Ca} = R + jX = R_{vezető} + \frac{\pi \omega}{2} 10^{-9} + 2j\omega 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{r_{red}} - 0,06 \right) \frac{\text{ohm}}{\text{cm}}, \quad (1)$$

ahol ω a körfrekvencia, 50 Hz váltakozóáram esetében

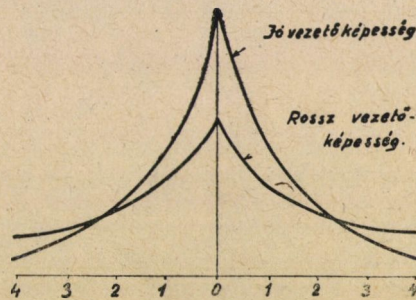
$$\omega = 314 \text{ sec}^{-1}, \quad D = \frac{1}{\pi \sqrt{2} f \lambda 10^{-9}} \text{ cm},$$

amelyben f a periódusszám (Hz), λ = föld vezetőképessége (1/ohmcm). Ha $\lambda = 10^{-2}$ /ohm cm, $f = 50$ Hz, akkor $D \cong 1,00 \cdot 10^5 \text{ cm} = 1 \text{ km}$.

¹ Megjegyezzük, hogy Carson és Clem képletét, valamint a továbbiakban felírt impedancia egyenleteket az eredetileg legkülönbözőbb felírási módokatból egységes és ezáltal közvetlenül összehasonlítható alakba ártuk.

Az (1) összefüggésből látjuk azt az érdekes tény, hogy a föld ohmos ellenállása váltakozóáramú körben nem függ a föld fajlagos ellenállásától, hanem csak a váltakozóáram frekvenciájától. Ez az eredmény egyszerű magyarázatot kap azáltal, hogy az áramsálak a föld vezetőképességétől függően szükség szerint nagyobb, vagy kisebb keresztmetszetben folyhatnak a vezeték alatt. Minél kisebb a föld fajlagos ellenállása, annál kisebb keresztmetszetet használnak fel, minél nagyobb a föld fajlagos ellenállása, annál tágabban helyezkednek el. Ha $\omega = 0$, tehát egyenáramú vezetéstről van szó, akkor $\frac{\pi \omega}{2} = 0$ és a földnek a tapasztalatnak megfelelően a vezetéssel szemben nincs ellenállása.

b) *Mayr* feltételezi, hogy a földet, mint vezetőt végtelen nagy felületű, de végtelenül vékony síklappal helyettesítheti, amelynek azonban véges homogén



3. ábra

ellenállást tulajdonít. E feltevés szerint, amelyre alapot az ad, hogy a föld felületét a nem vezető sziklás talaj felületéig viszonylag csak kis vezetőréteg fedi, hosszadalmas számítási eljárással, amely Fourier integrálokra vezet, a föld és vezető által alkotott hurok impedanciájára a következő összefüggést kapja, (földelések ellenállása nélkül)

$$\dot{Z}_{Ma} = R + j \omega L = R_{\text{vezető}} + \pi \omega 10^{-9} + 2 j \omega 10^{-9} \left(\ln \frac{1}{k r_{\text{red}}} - 0,577 \right) \frac{\text{ohm}}{\text{cm}}, \quad (2)$$

ahol $\frac{1}{k} = \frac{\varrho_0}{2\pi\omega} 10^9 = \frac{\varrho}{2\pi\omega \vartheta} 10^9$, amelyben ϱ a föld fajlagos ellenállása

(Ωcm), ϑ pedig a vezetőréteg vastagsága (cm). $\varrho_0 = \frac{\varrho}{\vartheta}$ a végtelen vékony síklemez egyenértékű fajlagos ellenállása.

Mayr által levezetett összefüggés alapján az árameloszlást a földben a vezető alatt és a vezető két oldalán a 3. ábra mutatja, és pedig a nagyobb áramcsúcsot adó görbe jó vezetőképességű, a másik rossz vezetőképességű talajra

vonatkozik. Mayr feltevésének az a hibája, hogy a földnek vezető síklappal való helyettesítésekor eltekint attól a körülménytől, hogy a valóságban mind a visszavezetési áramrész, mind az örvényáram-rész a vezetőknek a föld feletti magasságához képest igen mélyen behatol a földbe és így a síklappal való helyettesítés durva közelítésnek mondható. Ennek ellenére eredményei az eredő impedanciát tekintve nem sokkal különböznek Carsonnak a fizikai képet pontosan követő feltevéseihez képest, noha Mayr képletében az ohmos ellenállás értéke kétszer akkora. Ennek az az oka, hogy az ohmos ellenállás értéke az induktivitáshoz képest kicsi, az induktivitásban pedig, amint látni fogjuk, az eltérés mindössze kb. 4%. Hasonlítsuk össze ugyanis Mayr képletét Carsonéval. A következőket látjuk: az ohmos tagban az eltérés Mayrnál Carsonhoz képest 100%.

Az induktivitásban

$$e\% = \frac{X_{Ma} - X_{Ca}}{X_{Ca}} = \frac{\ln \frac{1}{k r_{red}} - \ln \frac{D}{r_{red}} + 0,06 - 0,577}{\ln \frac{D}{r_{red}} - 0,06}$$

Az eltérés kiszámításához $\lambda = 10^{-4}$ 1/ohmcm fajlagos vezetőképességet feltételezünk, tehát $D = 10^5$ cm-t és feltesszük, hogy Mayr képletében $\frac{1}{k} = D$, ami

$$\vartheta = \frac{e \cdot 10^9}{2\pi \omega D} = \frac{10^4 \cdot 10^9}{6,28 \cdot 314 \cdot 10^5} = \frac{10^8}{1,97 \cdot 10^3} \cong \frac{10^5}{2} = 50\,000 \text{ cm} = 500 \text{ m}$$

vezető földrétegvastagságnak felel meg.

Legyen a fémes vezető 25 mm² keresztmetszetű, amikor

$$r_{red} = 0,779 \cdot 0,315 = 0,245 \text{ cm.}$$

Ekkor az eltérés

$$e\% = \frac{-0,517}{12,8} = -4,05\%$$

Itt derült ki egyébként Mayr képletének kevésbé exakt volta, amennyiben ϑ megválasztásától függően tulajdonképpen tetszés szerinti értékű földvezetési impedanciát kaphat.

A föld ohmos ellenállásának értéke $\pi \omega 10^{-9} = 1000 \cdot 10^{-9} \Omega/\text{cm}$, amihez képest az induktív rész kereken $7500 \cdot 10^{-9} \Omega/\text{cm}$; következésképpen az ohmos ellenállás értékének nincs számottevő befolyása a teljes impedanciára.

c) *Rüdenberg* a földben a vezető alatt a vezető földfeletti magasságának megfelelő sugarú földbevájt félhengert képzel, amelynek középvonalába, a föld

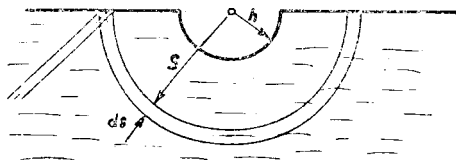
felszínével egyvonalba helyezi a vezetőt (lásd 4. ábrát). A földet homogén vezetőnek képzeli. Feltevése szerint a földben olyan kis áramsűrűség van, hogy a vezetőben folyó áram által létesített mezőt mind a földben, mind a levegőben ugyanazok a koncentrikus körerővonalak képviselik, azokra a földben folyó áramoknak nincs visszahatása. E feltevésekből a vezető-föld hurokra a következő impedancia összefüggést kapja:

$$\dot{Z}_{R\ddot{u}} = R + jX = R_{vezető} + \frac{\pi \omega}{2} 10^{-9} + 2j \omega 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{r_{red}} + 0,02 \right), \quad (3)$$

amelyben

$$D = \frac{1}{\pi \sqrt{2f\lambda} 10^{-9}}$$

Látszik, hogy Rűdenberg (3) alatt megadott egyenlete a Carson-féle pontos



4. ábra

vizsgálatokkal nyert eredménnyel rendkívül jó egyezést ad. Eltérés Carsonhoz képest az ohmos tagban nincs, az induktív részben

$$e \% = \frac{+0,02 + 0,06}{12,8} = \frac{0,08}{12,8} \cong 0,8 \%$$

Ez az egyezés arra mutat, hogy Rűdenberg közelítő feltevése a földvezetés helyettesítésére jól használható. Ezt a körülményt kevésbé befolyásolja az a tény, hogy Rűdenberg az erre vonatkozó dolgozatában (Rűdenberg cikk 382. old. (88) képlet), a fémes vezető és föld által bezárt fluxus kiszámításánál a fémes vezető belsejében levő fluxust helytelenül adja meg. Ugyanis a vezető belsejében, amint ismeretes, a mágneses térerősség a középponttól a vezető széléig lineárisan nő és ugyanakkor az erővonalak a vezető belsejében nem az összes árammal kulcsolódnak, hanem egyenletes áramelosztást feltételezve, csak a megfelelő keresztmetszetek arányában zárnak körül áramokat. Így a belső fluxus 1 cm vezetőre, r sugarú vezetőt feltételezve

$$\Phi_b = \mu \frac{I}{2\pi r} \frac{r}{2} \frac{1}{2} = \frac{I}{2} 10^{-9},$$

miután $\mu = 4\pi \cdot 10^{-9}$ a levegő és föld permeabilitása. Az önindukció:

$$L_b = \frac{\Phi_b}{I} = \frac{1}{2} 10^{-9} \text{ Hy/cm.}$$

Rüdenberg ezzel szemben úgy számítja a fluxust, mintha a vezető belsejében minden áramszál az összes erővonalakkal kulcsolódnék, vagyis nála $L_b = 10^{-9}$ Hy/cm.

Rüdenberg képletét felírjuk helyesen:

$$L_{R\ddot{u}} = 2 \cdot 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{r_{red}} - 0,230 \right). \quad (4)$$

Ha Rüdenberg helyesbített képletét hasonlítjuk össze a Carson és Clem összefüggéssel, akkor az induktív részben a következő eltérést kapjuk:

$$e \% = \frac{-0,230 + 0,06}{12,8} = -\frac{0,17}{12,8} = -1,33 \%,$$

ami még mindig nagyon jó egyezésnek számít.

A következőkben megmutatjuk, hogyan lehet a föld és fémes vezető által bezárt huroknak az impedanciáját viszonylag egyszerű eszközökkel számítani.

2.1 A földvezetés impedanciája

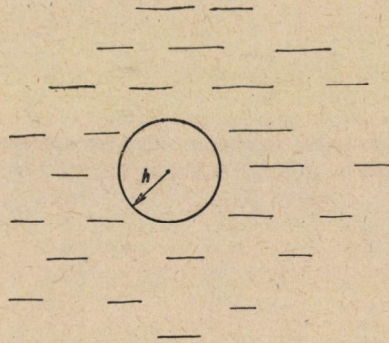
Carson egyik munkájában említi, hogy a földbehelyezett egyerű kábelek impedanciáját abból a feltevésből lehet számítani, hogy a kábelt koncentrikusan köröskörül föld veszi körül, amely homogén, minden irányban végtelen kiterjedésű és állandó a fajlagos vezetőképessége. Carson megemlíti, hogy e számítással elkövetett hiba az impedanciában 5—10% eltérést okoz, amelynek irányát is meg lehet adni.²

Ezt a gondolatot használjuk fel és alkalmazzuk a szabadvezeték és földből álló vezetékurok impedanciájának kiszámításánál.

A feltevés az, hogy a vezetőt h sugarú (h a vezetőnek a földfeletti magassága)

²) Hasonló megfontolások vezetnek egyerű tengeri kábelek impedanciájának kiszámításához is, amennyiben az áram visszavezetésére a tengervíz szolgál. (Ollendorff: Erdströme. Springer Berlin 1928. 108. old.)

földből való hengeres cső középvonalában elhelyezve képzeljük (lásd 5a. ábrát). A föld kiterjedése minden irányban végtelen, anyaga és ezzel fajlagos vezetőképessége állandó. Ez a feltevés fizikailag világos és szabatosan meghatározott képet ad, ami a matematikai kezelhetőség szempontjából is lényeges. A vezető



5a. ábra

és föld teljes kölcsönös szimmetriája kiküszöböli Carson pontos megoldásának bonyolultságát és nem teszi szükségessé a Mayr-féle kényszerű feltevést a sík vezetővel, de nem teszi szükségessé a fizikailag nehezen érzékelhető Rűdenberg-féle feltevést sem.

Legegyszerűbben a gerjesztési és az indukció-törvények alapján írhatjuk fel az alapegyenleteket.

A hengersizimmetria miatt az I áramot szállító fémes vezető körül a mágneses térerősség az s sugarú erővonal mentén mindenütt (H) értékű és e körhöz érintő irányban rajzolt vektorral ábrázolható. A gerjesztési törvény szerint a földben folyó árammal együtt:

$$\dot{I} + \int_F i dF = 2 s \pi \dot{H} \quad (5)$$

$2s\pi$ az s sugarú kör erővonal hossza, i az áramsűrűség, F pedig az a felület, amelyen az i áramsűrűségű áram az s sugarú körön belül áthalad. Eszerint az 5b és c. ábra alapján:

$$2 s \pi \dot{H} = \int_h^s i 2 \pi x dx + \dot{I} \quad (6)$$

Azonban az áramsűrűséget kifejezhetjük a fajlagos vezetőképesség (λ) és a villamos térerősség (E) szorzataként, tehát (6)-ból:

$$2 s \pi \dot{H} = 2 \pi \lambda \int_h^s \dot{E} x dx + \dot{I} \quad \text{vagy}$$

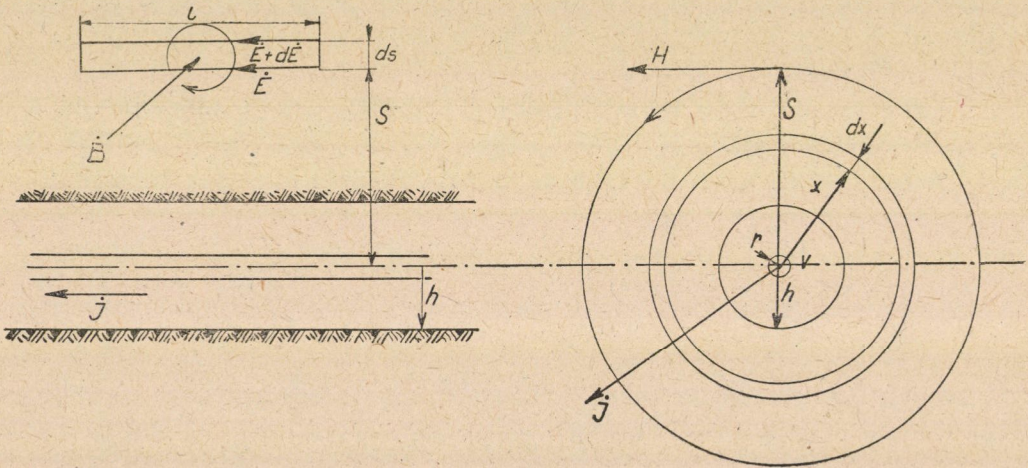
$$s \dot{H} = \lambda \int_h^s \dot{E} x dx + \dot{I} \quad (7)$$

Mindkét oldalon s szerint differenciálva:

$$\dot{H} + s \frac{\partial \dot{H}}{\partial s} = \lambda \dot{E} s \quad \text{vagy}$$

$$\frac{\dot{H}}{s} + \frac{\partial \dot{H}}{\partial s} = \lambda \dot{E}. \quad (8)$$

H és E között még egy összefüggésre van szükségünk, ezért írjuk fel az indukciótörvényt is.



5/b és c. ábra

A hosszmetsetben vizsgáljuk a középvonaltól s távolságban levő ds vastagságú l hosszúságú hengergyűrű keresztmetset körül a villamos térerősséget. A kis négyszög területét körüljárva a feszültség: (lásd 5. b. ábrát)

$$\oint \dot{E} \, dl = -\frac{\partial \Phi}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial t} \mu \dot{H} l \, ds, \quad (9)$$

ahol μ a permeabilitás a földben ($\mu = 4\pi \cdot 10^{-9}$).

A feszültség a hengersizmetria miatt az s irányban nem változik, hanem csak a hossz tengely irányában, és pedig arányos az áramerősséggel és az l hosszal, (a föld anyagát homogénnek tételezzük fel). Körüljárva tehát a kis négyszög keresztmetszetet, a feszültség: $\oint \dot{E} dl = [-(\dot{E} + d\dot{E}) + \dot{E}] l = -l d\dot{E}$ és (9) felhasználásával:

$$d\dot{E} = \mu \frac{\partial \dot{H}}{\partial t} ds.$$

Utóbbiban szinusz szerint változó \dot{H} -t feltételezve

$$\frac{\partial \dot{H}}{\partial t} = \frac{\partial |\dot{H}| e^{j\omega t}}{\partial t} = j\omega \dot{H}$$

és így

$$\frac{\partial \dot{E}}{\partial s} = \mu \frac{\partial \dot{H}}{\partial t} = j\omega \mu \dot{H}$$

$$\dot{H} = \frac{1}{j\omega\mu} \frac{\partial \dot{E}}{\partial s}. \quad (10)$$

A (8) és (10) összefüggések egybevetéséből kapjuk \dot{E} differenciálegyenletét:

$$\frac{1}{j\omega\mu} \frac{1}{s} \frac{\partial \dot{E}}{\partial s} + \frac{1}{j\omega\mu} \frac{\partial^2 \dot{E}}{\partial s^2} - \lambda \dot{E} = 0 \quad (11)$$

vagy (11)-ből, egyúttal a parciális differenciálhányadosok helyett teljes differenciálhányadosokra áttérve, (\dot{E} csak s irányban változik)

$$\frac{d^2 \dot{E}}{ds^2} + \frac{1}{s} \frac{d\dot{E}}{ds} - j\omega\mu\lambda \dot{E} = 0 \quad (12)$$

illetve $-j\omega\mu\lambda = k^2$ helyettesítéssel

$$\boxed{\frac{d^2 \dot{E}}{ds^2} + \frac{1}{s} \frac{d\dot{E}}{ds} + k^2 \dot{E} = 0} \quad (13)$$

A (13) egyenletet még a következőképpen írhatjuk :

$$\frac{d^2 \dot{E}}{d(ks)^2} + \frac{1}{(ks)} \frac{d \dot{E}}{d(ks)} + \dot{E} = 0$$

Az utóbbi a

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dy}{dx} + \left(1 - \frac{p^2}{x^2}\right) y = 0 \quad (15)$$

Bessel-differenciálegyenlettel megegyező alakú, ha a független változó ks és $p = 0$. A differenciálegyenlet megoldását *Bessel* függvénytáblázatból vesszük.

2.11. A *Bessel* differenciálegyenlet megoldása

A megoldásban szereplő állandó meghatározásához két feltételt alkalmazunk :

(a részletes számítást lásd a függelékben)

a) $s = \infty$ -ben az áramsűrűség és ezzel \dot{E} nullával egyenlő

$$\lim_{s \rightarrow \infty} \lambda \dot{E} = \lim_{s \rightarrow \infty} i = 0 \quad (16)$$

b) A földben folyó áram összesen ($-i$ -vel egyenlő, vagy ami ezzel egyenértékű feltétel: a mágneses térerősség a föld és levegő érintkezési felületén (a h sugarú henger felületén) ugrás nélkül, folytonosan változik a s sugár irányában. A térerősség eszerint mind a levegő, mind a föld felől közelítve a határfelülethez, e határfelületen

$$\dot{H} = \frac{i}{2\pi h} \quad (17)$$

Az állandók megállapításához használt feltevésekkel a következő összefüggéseket kapjuk :

$$\dot{H} = \frac{i}{2\pi h} \frac{H_1^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (18)$$

$$\dot{E} = -\frac{i}{2\pi h} \frac{j\omega\mu}{k} \frac{H_0^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (19)$$

és

$$i = - \frac{\dot{I}}{2\pi h} \frac{j\omega\mu\lambda}{k} \frac{H_0^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (20)$$

ill.

$$i = \frac{\dot{I}}{2\pi h} k \frac{H_0^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (21)$$

ahol $H_1^{(2)}(ks)$ elsőrendű másodfajú, $H_0^{(2)}(ks)$ nullarendű másodfajú Hankel-függvény. A hengerszimmetria miatt a vezetőre merőleges síkok ekvipotenciális felületek, sugárirányú áramlás nincs, tehát E meghatározását végezhetjük a föld felszínén is. Ezért a (19) egyenletből

$$\dot{E} = - \frac{\dot{I}}{2\pi h} \frac{j\omega\mu}{k} \frac{H_0^{(2)}(kh)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (19a)$$

amiből a földnek váltakozóárammal szemben az impedanciája :

$$\dot{Z}_f = \frac{\dot{E}}{-\dot{I}} = \frac{1}{2\pi h} \frac{j\omega\mu}{k} \frac{H_0^{(2)}(kh)}{H_1^{(2)}(kh)} \text{ ohm/cm} \quad (22)$$

$H_0^{(2)}(kh)$ és $H_1^{(2)}(kh)$ értékeit Bessel-függvény táblázatokból határozhatjuk meg. Egyszerűsíti a megoldást az a körülmény, hogy a gyakorlatban előforduló értékekkel ($f = 50 \text{ Hz}$, $h = 700 \text{ cm}$ és $\lambda = 10^{-4} \text{ 1/ohmcm}$) kh 10^{-2} nagyságrendű és ezért teljesen megengedhető a közelítő függvények használata. Ezeket a függvénytáblázat alapján kiértékelve a következő értékeket kapjuk

$$H_1^{(2)}(kh) = j \frac{2}{\pi} \frac{1}{(kh)} \quad (23)$$

$$\text{és } H_0^{(2)}(kh) = 1 + j \frac{2}{\pi} \ln \frac{2}{\gamma(kh)} \quad (24)$$

ahol $\gamma = 1,781 \dots$ ($\ln \gamma = 0,577 \dots$ u. n. Euler állandó) (23) és (24) felhasználásával

$$\text{és } D = \frac{1}{\pi \sqrt{2f\lambda} 10^{-9}}$$

helyettesítéssel (lásd függelék is):

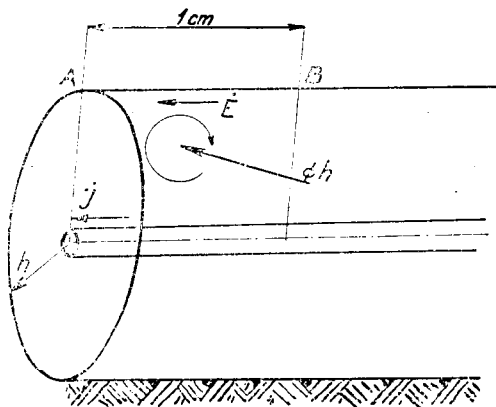
$$\dot{Z}_f = \frac{\omega\pi}{2} 10^{-9} + j 2\omega 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{h} - 0,577 \right) \text{ ohm/cm} \quad (25)$$

2.12 Föld-fémes vezető hurok impedanciája

A fémes vezetőből és földvezetéből alkotott teljes hurok impedanciájának kiszámításához :

$$\dot{U} = \dot{I}\dot{Z}_f + IR_v + j\omega\dot{\Phi}_h \quad (26)$$

ahol R_v a fémes vezető ohmos ellenállása, $\dot{\Phi}_h$ pedig a vezető és föld által bezárt fluxus (l. 6. és 7. ábrát). A $\dot{\Phi}_h$ fluxus két részből áll : a vezető szélé és a földön



6. ábra

levő AB alkotó közötti rész, valamint a fémes vezető belsejében levő fluxus. $\dot{\Phi}_h = \dot{\Phi}_k + \dot{\Phi}_b$ ezeknek értékét kiszámítva (lásd Verebély : Villamos Erőátvitel II. kötet 225 oldal)

$$\dot{\Phi}_h = \dot{\Phi}_k + \dot{\Phi}_b = 2 \cdot 10^{-9} I \ln \frac{h}{r} + \frac{I}{2} 10^{-9}$$

amiből

$$\omega \frac{\dot{\Phi}_h}{I} = \omega L_h = X_h = 2 \omega 10^{-9} \ln \left(\frac{h}{r_{red}} \right) \quad (27)$$

(27)-ben r a fémes vezető sugara (cm) és $r_{red} = 0,779 r$ a fémes vezető redukált sugara.

(26) és (27) felhasználásával a teljes földhurok impedanciája

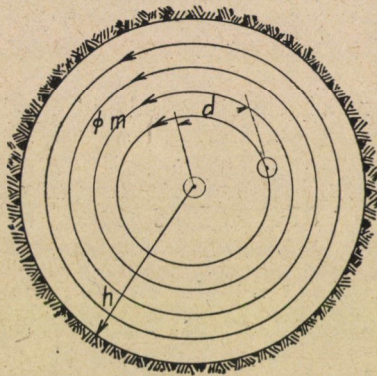
$$\begin{aligned} \frac{\dot{U}}{I} &= \dot{Z}_f + R_v + j X_h = \dot{Z} \\ \dot{Z} &= R_v + \frac{\pi \omega}{2} 10^{-9} + 2 j \omega 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{r_{red}} - 0,577 \right) \frac{\Omega}{cm} \quad (28) \end{aligned}$$

$$\text{ahol } D = \frac{1}{\pi \sqrt{2f\lambda} 10^{-9}}$$

Ha az itt levezetett összefüggést összehasonlítjuk Carson és Clem képletével, akkor azt látjuk, hogy az ohmos ellenállás $\frac{\pi \omega}{2} 10^{-9}$ megegyezik, az eltérés az induktív részben: ($D = 10^5$, $r_{red} = 0,245$)

$$\varepsilon^0\% = \frac{0,577 - 0,06}{12,08} = \frac{0,517}{12,8} = + 4,05\%$$

Látnivaló, hogy az általunk felvett hengersizmetrikus feltevés mellett rendkívül egyszerű és tiszta fizikai feltételekkel az eredmény az ohmos részben



7. ábra.

egyezést, az induktív részben szokásos λ feltételezésével mindössze 4% eltérést ad a pontos értéktől.

2.13 Föld-fémes vezető hurok kölcsönös impedanciája

Két föld-vezető hurok kölcsönös impedanciájának meghatározásához megvizsgáljuk, hogy egy második vezetőben, amely d távolságban van az eredeti vezetőtől, mekkora feszültség indukálódik a földhöz képest, (7. ábra); ekkor

$$\dot{U}_m = \dot{Z}_f \dot{I} + j\omega \dot{\Phi}_m$$

$$\dot{Z}_m = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}} = \dot{Z}_f + j\omega L_m$$

L_m értékét (27)-hez hasonlóan kiszámítva és (25) felhasználásával

$$\boxed{\dot{Z}_m = \frac{\pi\omega}{2} \cdot 10^{-9} + j\omega 2 \cdot 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{d} - 0,577 \right)} \quad (29)$$

Carson és Clemnek a kölcsönös impedanciára vonatkozó képlete :

$$\dot{Z}_m = \frac{\pi\omega}{2} \cdot 10^{-9} + j\omega 2 \cdot 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{d} - 0,06 \right)$$

Ha pl. a két vezető távolsága $d = 100$ cm és $\lambda = 10^{-4}$, akkor

$$\ln \frac{D}{d} = \ln \frac{10^5}{10^2} = \ln 10^3 = 6,9$$

Az eltérés Carson és Clem képletétől az induktív részben

$$e \% = \frac{0,577 - 0,06}{6,84} = \frac{0,517}{6,84} = + 7,5 \%$$

Tehát a kölcsönös impedancia tényezőjében is elég jó az egyezés. A kölcsönös impedancia számítását nagyobb távolságban levő vezetőre (pl. gyengeáramú vezetékben indukált feszültség számításakor) már nem helyes az általunk levezetett összefüggésből számítani, mert d növekedésével a hiba tovább növekszik.

2.2 Gyakorlati értékek. Földelések hatása

Ha megvizsgáljuk a (28) alatt megadott egyenlet egyes tényezőit $f = 50$ Hz, és $\lambda = 10^{-4}$ értéket feltéve ($D = 10^5$), akkor 25 mm² aludur-sodrony esetében az impedancia képlet egyes tényezőire a következő értékeket kapjuk :

A vezető ohmos ellenállása : $R_v = 1,4 \Omega/\text{km}$.

A föld ohmos ellenállása: $R_f = \frac{\pi\omega}{2} \cdot 10^{-4} \simeq 0,05 \Omega/\text{km}$ (680 mm² aludur vezetőnek felel meg).

A hurok induktív ellenállása :

$$X = 2 \omega 10^{-4} \left(\ln \frac{10^5}{0,779 \cdot 0,315} - 0,577 \right) = 628,12,32 \cdot 10^{-4} = 0,775 \Omega/\text{km}$$

E számértékek világosan mutatják, hogy a földvezetésnél a föld ohmos ellenállása — különösen kisebb keresztmetszetű fémes vezető ohmos ellenállása mellett — elhanyagolható. Ez az oka annak, hogy Mayr képletében helytelenül kiadódó kétszeres földellenállásnak a számításnál nincs gyakorlati következménye.

Ha magának a fémes vezetők inductív ellenállását (a föld felületéig terjedő fluxusnak megfelelő rész) a (27) összefüggés alapján kiszámítjuk, a következő értéket kapjuk :

$$X_h = 2 \omega 10^{-4} \ln \frac{h}{r_{red}} = 628 \cdot 10^{-4} \ln \frac{700}{0,245} = 628,795 \cdot 10^{-4} = 0,5 \Omega/\text{km}$$

Következésképpen a föld inductív ellenállása a felvett esetben ($\lambda = 10^{-4}$ 1/ohmcm)

$$X_j = 0,275 \Omega/\text{km}$$

A vezeték eredő ellenállására igen jelentős befolyással van még a földelések ellenállása.

2.21 Földelések ellenállása

A földvezetési rendszerű vezetékek létesítésénél hazai irányelv, hogy a földelés ellenállása 10 Ohmnál kisebb legyen, illetve a transzformátor teljesítménye szerint

$$5 \frac{U^2}{N} > R_{fd} \Omega$$

ahol U láncolt feszültség kilovoltban, N a transzformátor teljesítmény kilovolt-
amperben. A földeléseknek ez az irányelve azt jelenti, hogy a feszültségesés,
ill. veszteség egy földelőn a névleges terhelésnél ne legyen több, mint 0,5%.

Ugyanis a fogyasztói impedancia $Z_{t/fázis} = \frac{U^2}{N} \Omega/fázis$ ha U voltban és N VA-ban
van adva. Ha U -t kV-ban és N -et kVA-ban helyettesítjük, akkor $\frac{Z_{t/fázis}}{1000}$ értéket

kapunk és az irányelv szerint ennek ötszörösét engedjük meg $\left(\frac{5}{1000} = 0,5\% \right)$

Ha $U = 20$ kV és $N = 200$ kVA, akkor

$$5 \frac{U^2}{N} = 10 \Omega$$

vagyis az előírások szerint 200 kVA-nál nagyobb teljesítményű transzformátorok
esetében már esetenként kell a földelés értékét megvizsgálni. Ha a teljesítmény
200 kVA-nál kisebb, akkor legfeljebb 10 Ω földelési ellenállást kell elérni.
A földvezetési egyfázisú távvezetékhurok impedanciáját a földelési ellen-

állásokat is figyelembevéve a (28) felhasználásával a következőképpen kell számítani:

$$\dot{Z} = l \left[R_v + \frac{\pi \omega}{2} 10^{-4} + 2 j \omega 10^{-4} \left(\ln \frac{D}{r_{red}} - 0,577 \right) \right] + R_{fd1} + R_{fd2} \quad \Omega \quad (30)$$

ahol R_v Ω/km ; l km, R_{fd1} és R_{fd2} a földvezetések vezeték kiindulási és végpontján a földelések ellenállása. Ha 10Ω megengedett legnagyobb földelési ellenállással számolunk, akkor 10 km hosszú vezeték esetében a két földelés együtt $\frac{10+10}{10} = 2 \Omega/\text{km}$ többlet ohmos ellenállást képvisel. De például 30 km hosszú 20 kV-os vezeték és 400 kVA átvitt teljesítmény esetén a földelések megengedett legnagyobb többlet ellenállása:

$$R_{fd1} = R_{fd2} = 5 \frac{20^2}{400} = 5 \Omega$$

és így a földelések $\frac{5+5}{30} = 0,333 \Omega/\text{km}$ vezetékellenállással egyenértékűek.

Földvezetések rendszerénél előforduló közepes vezetékhozzánál a földelések ellenállása tekintélyesen megnöveli az impedancia ohmos részét.

2.3. Háromfázisú földvezetések távvezeték impedanciája. Aszimmetriák

A háromfázisú földvezetések vezeték két fémes vezetőből és a földvezetőből áll. Tegyük fel, hogy a két fémes vezető a földhöz képest szimmetrikus elrendezésű. A két fémes vezető B -vel és C -vel, a földet, mint vezető A -val jelöljük. E jelölésnek megfelelően folyják I_A áram a földben, I_B , ill. I_C áramok a fémes vezetőkben (lásd 8/a. ábrát). Minthogy 0 pontból áram nem folyik, tehát

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0. \quad (31)$$

A korábbiakban kiszámítottuk egy vezető-föld-hurok impedanciáját (28) és ismerjük e huroknak egy másik földvezetések hurokkal kölcsönös impedanciáját (29). Ezeknek az impedanciáknak ismeretében a következő megfontolással határozzuk meg a háromfázisú impedanciákat.

Feltételezzük, hogy a B vezető a földdel, valamint a C vezető a földdel külön-külön hurkot alkot, amelyekben I_B ill. I_C áram folyik; ekkor e fémes-vezető-föld-hurkokra a következő feszültségi egyenleteket írhatjuk fel:

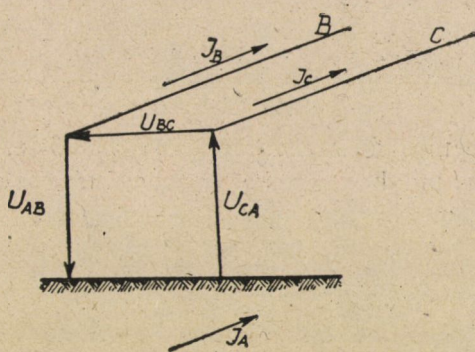
$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{I}_B \dot{Z} + \dot{I}_C \dot{Z}_m \\ \dot{U}_{AC} &= \dot{I}_C \dot{Z} + \dot{I}_B \dot{Z}_m \end{aligned} \quad (32)$$

ahol a két azonos elrendezésű hurok saját impedanciája \dot{Z} , a kölcsönös impedancia \dot{Z}_m .

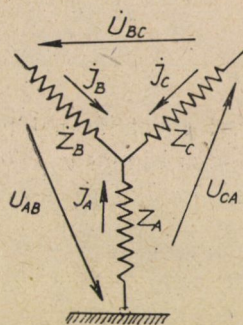
A harmadik láncolt feszültség

$$\dot{U}_{CB} = \dot{U}_{AB} - \dot{U}_{AC} = (\dot{I}_B - \dot{I}_C) (\dot{Z} - \dot{Z}_m). \quad (33)$$

A három feszültség ismeretében meghatározhatjuk az egyenértékű fázisonkénti impedanciákat. Egyenértékű fázisonkénti impedancián azt a háromfázisú csillagba kapcsolt aszimmetrikus impedancia-rendszert értjük, amelyre háromfázisú feszültséget kapcsolva, az ugyanakkora áramokat vesz fel, mint



8/a. ábra



8/b. ábra

amekkora áram a földvezetéses rendszer három fázisában (két fémes vezető és föld) folyik, ha a földvezetéses rendszer elejét ugyanakkora háromfázisú feszültségre kapcsoljuk, a végét pedig fémesen rövidre zárjuk. A 8 b. ábra szerint

$$\dot{U}_{AB} = -\dot{I}_A \dot{Z}_A + \dot{I}_B \dot{Z}_B \quad (34)$$

$$\dot{U}_{AC} = -\dot{I}_A \dot{Z}_A + \dot{I}_C \dot{Z}_C$$

(31) felhasználásával

$$\dot{U}_{AB} = \dot{I}_B (\dot{Z}_A + \dot{Z}_B) + \dot{I}_C \dot{Z}_A \quad (35)$$

$$\dot{U}_{AC} = \dot{I}_B \dot{Z}_A + \dot{I}_C (\dot{Z}_A + \dot{Z}_C).$$

A (35) és (32) egyenletek összehasonlításából látszik, hogy :

$$\dot{Z}_A + \dot{Z}_B = \dot{Z}$$

$$\dot{Z}_A = \dot{Z}_m$$

$$\text{ill.} \quad \begin{aligned} \dot{Z}_A + \dot{Z}_C &= \dot{Z} \\ \dot{Z}_A &= \dot{Z}_m \end{aligned} \quad (36)$$

amiből az egyenértékű fázisonkénti impedanciák

$$\dot{Z}_A = \dot{Z}_m; \quad \dot{Z}_B = \dot{Z} - \dot{Z}_m; \quad \dot{Z}_C = \dot{Z} - \dot{Z}_m. \quad (37)$$

2.31 Hálózati szimmetria feltétele

A föld és a két fémes vezetőből álló rendszer szimmetrikus az impedanciák tekintetében, ha

$$\begin{aligned} \dot{Z}_A &= \dot{Z}_B = \dot{Z}_C \\ \text{vagy} \quad \dot{Z}_m &= \dot{Z} - \dot{Z}_m, \quad \text{amiből} \\ \dot{Z} &= 2 \dot{Z}_m. \end{aligned} \quad (38)$$

A földelések ellenállásának figyelembevételével a (29), (30) és (38) összefüggésekből; külön az ohmos és külön az induktív részeket egyenlővé téve a következő feltételeket kapjuk a teljes háromfázisú impedancia szimmetriára

$$l R_v = R_{fd} + l \frac{\pi \omega}{2} 10^{-4}, \quad (39)$$

ahol R_{fd} két földelés ellenállása.

Az induktív részek egyenlőségéből

$$0,577 = \ln \frac{r_{red} D}{d^2}, \quad (40)$$

vagy Carson és Clém szerint

$$0,06 = \ln \frac{r_{red} D}{d^2}. \quad (40a)$$

A (39) alatti feltétel szerint a teljes szimmetriához az szükséges, hogy egy fémes vezető ohmos ellenállása egyenlő legyen két földelésnek és a földnek, mint vezetőnek ohmos ellenállásával. A második feltétel alapján az előző példákban alkalmazott számértékekkel ($D = 10^5$, $r_{red} = 0,245$) d értékére

$d = 117$ cm-t kapunk.

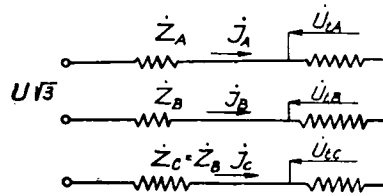
A Carson-féle összefüggés d -re túlzottan nagy értéket ad, ezért nézzük meg, hogy ha $d = 117$ cm, akkor D értékére, ill. λ -ra milyen értékek adódnak. Ez esetben a (40a)-ból

$$\left[D = \frac{1}{\pi \sqrt{2 \cdot 10^{-9} f \lambda}} \right]; \quad D = 0,59 \cdot 10^5 \quad \text{és} \quad \lambda = 2,9 \cdot 10^{-4},$$

ami ugyancsak a lehetséges értékek körébe tartozik. Látszik egyúttal, hogy λ értékének bizonytalansága a különböző egyenletek használatánál elég tág határok között valószínűsíthető értékeket ad. Általában csak szabatosan végrehajtott nagyszámú kísérlet vezet megnyugtató eredményhez. Megjegyezhetjük, hogy az impedanciák aszimmetriája, amelyet az említett körülményeken kívül a földelések különböző és az időjárástól erősen függő ellenállás-értékei is erősen befolyásolnak, a földvezetési rendszerben nem jelentős.

2.32 Az aszimmetria vizsgálata

Még világosabbá válik ez a körülmény, ha megvizsgáljuk, hogy adott impedancia- viszonyok mekkora aszimmetriát okozhatnak a fogyasztóknál.



9. ábra

Vizsgálatunk tárgyául olyan földvezetési hálózatot választunk, amelyet a tápponton szimmetrikus, háromfázisú, végtelen nagy hálózatról táplálunk. A fogyasztót szimmetrikus háromfázisú impedanciarendszerrel ábrázolhatjuk. A hálózat vázlatát, amelybe a megfelelő impedancia-értékeket berajzoltuk, a 9. ábra mutatja.

A fogyasztói kapcsolófeszültség aszimmetria fokának megállapítására a fogyasztói kapcsolófeszültséget szimmetrikus összetevőire bontjuk és az aszimmetria mértékét a negatív és pozitív sorrendű feszültségösszetevők abszolút értékének hányadosával mérjük.

$$\delta = \frac{U_{12}}{U_{11}} \quad (41)$$

2 indexszel a szokásnak megfelelően a negatív sorrendű, 1 indexszel a pozitív sorrendű feszültségeket és áramokat jelöljük. Ha a fogyasztói impedanciának a negatív sorrendű áramokkal feszültségesést okozó részét \dot{Z}_{12} -vel, a pozitív sorrendű áramokkal feszültségesést okozó részét \dot{Z}_{11} -gyel jelöljük, akkor

$$\dot{U}_{t1} = \dot{I}_1 \dot{Z}_{t1}$$

$$\text{és} \quad \dot{U}_{t2} = \dot{I}_2 \dot{Z}_{t2}, \quad (42)$$

ahol mind \dot{Z}_{t1} , mind \dot{Z}_{t2} szimmetrikus háromfázisú impedanciák. Mint ismeretes, ha a fogyasztói hálózat passzív fogyasztókból áll (világítás, fűtés, motorok nélkül), akkor $\dot{Z}_{t1} = \dot{Z}_{t2} = \dot{Z}_t$; ellenben ha motorok is vannak a hálózaton, akkor $\dot{Z}_{t1} > \dot{Z}_{t2}$, éspedig attól függően, hogy milyen arányú a motoros fogyasztás a világítási passzív fogyasztáshoz képest. Ha csak motoros fogyasztó van, akkor

$$\frac{\dot{Z}_{t2}}{\dot{Z}_{t1}} \cong 0,2 - 0,35$$

(41) és (42)-ből az aszimmetria mértéke, amelyre a külföldi előírások felső határként $\delta = 0,05$ értéket engednek meg

$$\delta = \frac{U_{t2}}{U_{t1}} = \frac{I_2}{I_1} \frac{Z_{t2}}{Z_{t1}}. \quad (43)$$

I_2 és I_1 szimmetrikus áramösszetevők között összefüggést abból állapíthatunk meg, hogy a hálózatot tápláló feszültség szimmetrikus, vagyis a tápfeszültségnek negatív sorrendű összetevője nincs ($U_2 = 0$). E feltétellel

$$U_2 = 0 = \dot{I}_1 \dot{z}_1 + \dot{I}_2 \dot{z}_0 + \dot{I}_2 \dot{Z}_{t2} = \dot{I}_1 \dot{z}_1 + \dot{I}_2 (\dot{z}_0 + \dot{Z}_{t2}). \quad (44)$$

A (44) egyenletben :

\dot{z}_1 ill. \dot{z}_0 az aszimmetrikus földvezetési impedanciákból alkotott háromfázisú impedanciarendszer szimmetrikus összetevői :

$$\dot{z}_1 = \frac{\dot{Z}_A^2 + a\dot{Z}_B + a^2\dot{Z}_C}{3} = \frac{\dot{Z}_A - \dot{Z}_B}{3}$$

$$\text{és} \quad \dot{z}_0 = \frac{\dot{Z}_A + \dot{Z}_B + \dot{Z}_C}{3} = \frac{\dot{Z}_A + 2\dot{Z}_B}{3}$$

Ezeket az értékeket (44)-be helyettesítve

$$I_1 \frac{|\dot{Z}_A - \dot{Z}_B|}{3} = I_2 \left| \frac{\dot{Z}_A + 2\dot{Z}_B}{3} + \dot{Z}_{t2} \right|$$

és (44) felhasználásával :

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{\left| \frac{\dot{Z}_A - \dot{Z}_B}{3} \right|}{\left| \frac{\dot{Z}_A + 2\dot{Z}_B}{3} + \dot{Z}_{t2} \right|}. \quad (45)$$

A (43) kifejezésbe a (45) összefüggést behelyettesítve és a következő jelöléseket alkalmazva :

$$\frac{\dot{Z}_{t2}}{\dot{Z}_{t1}} = k \quad \text{és} \quad \frac{\dot{Z}_A + 2\dot{Z}_B}{3\dot{Z}_{t1}} = \varepsilon$$

$$\delta = \left| \frac{\dot{Z}_A - \dot{Z}_B}{3\dot{Z}_{t1}} \right| \frac{k}{\varepsilon + k} \quad (46)$$

ahol k értéke 0,2 és 1 között változik a motorterheléseknek a többi fogyasztóhoz való aránya szerint és amint mondtunk, értéke $0,2 < k < 1$. ε értéke igen jó közelítéssel a hálózati feszültségesés relatív értéke. A (46) összefüggésből látszik, hogy minél több a motoros fogyasztó, annál kisebb a fogyasztói aszimmetria.

A (46) összefüggést (37) felhasználásával alkalmassá tesszük arra, hogy a (28) és (29) egyenleteket közvetlenül alkalmazhassuk, figyelembe véve még, hogy ha U a hálózati feszültség (kV) és N a hálózati teljesítmény (MVA), a fogyasztó impedancia

$$Z_{t1} = \frac{U^2}{N} \Omega$$

$$\delta = \frac{|2\dot{Z}_m - \dot{Z}|}{3} \frac{|k|}{|\varepsilon + k|} \frac{N}{U^2}. \quad (47)$$

Az eddig használt számértékekkel, $R_{fd} = R_{fd1} + R_{fd2} = 20 \Omega$ és pl. 20 km hosszú

vezeték esetén $|2\dot{Z}_m - \dot{Z}| = |-7 + j0,45| \cong 7 \Omega$, ha $N = 200 \text{ kVA} = 0,2 \text{ MVA}$ és $U = 20 \text{ kV}$, a hálózatban tiszta ohmos a fogyasztás ($k = 1$) és $\varepsilon = 0,08$ 8%-os feszültségesés) feltételezésével

$$\delta = \frac{7}{3} \frac{1}{0,08 + 1} \cdot \frac{0,2}{20^2} = 0,0011,$$

azaz 0,11% ; a megengedett 5%-hoz képest.

Az északnógrádi vonalon pl. a mérési adatok alapján:

$$\dot{Z}_A = 12,8 + j 9,05 \ \Omega \quad \text{és} \quad \dot{Z}_B = \dot{Z}_C = 35,7 + j 11,7 \ \Omega$$

ezekből $N = 0,2$ MVA és $U = 20$ kV értékekkel ohmos fogyasztók esetében

$$\delta \cong \frac{|-22,9 - j 2,65|}{3} \frac{1}{2000} \cong 0,004$$

$\delta = 0,4\%$, ami ugyancsak messze alatta van a megengedhető értékeknek.

A háromfázisú impedanciákról elmondottakból kitűnik, hogy a földvezetés által okozott vonalirányú impedancia-aszimmetria a középfeszültségű hálózatokban jelentéktelen és a zavartalan üzemre nincs befolyással.

3. Földelés. Védekezés a lépésfeszültség-okozta esetleges áramütések ellen

A földelések ellenállásának, amint láttuk, nagy befolyása van a földvezetés impedanciájára, különösen rövidebb távvezetéseknél. Azáltal, hogy a földelések ellenállásának legnagyobb értékét az irányelvekben megadjuk, egyúttal behatároljuk a földelések ohmos ellenállásának és az ellenállás változásának hatását is. Magáról a földelések elkészítésének módjáról és az ezzel kapcsolatos elméleti kérdésekről e helyen nem kívánunk szólni, annál kevésbé, mert erre vonatkozóan az irodalom bőséges anyagot ad.

3.1 A földelési hely elkerítése

Az életveszélyeztetettség szempontjából azonban foglalkoznunk kell a földelések kérdésével.

Amikor ugyanis az áramot a földelőkhöz át bevezetjük a földbe, akkor a földelés környezetében az áramszálaknak a viszonylag kis felületű fémes földelőket elhagyva, igen hirtelen, nagy gradienssel kell a földben elterjedniök. Ennek az a következménye, hogy rövidzárlatok alkalmával a földelés közelében a föld felületén is fölléphet a felület két nem túl messze fekvő pontja között emberre, vagy állatra veszélyes, u. n. lépésfeszültség. A földvezetési rendszerrel erre tekintettel a földelések helyét az építési irányelvek szerint el kell keríteni. A kerítés sugarára nézve az irányelv

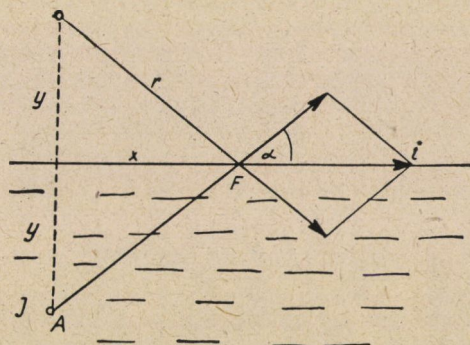
$$x = \sqrt{-\frac{l^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{l^2}{2}\right)^2 + 1,75 I_{zm}^2}} \quad (48)$$

métert ír elő, ahol l a földelő (beverési, beásási) mélysége méterben (legmélyebb

pontja), I_{zm} a transzformátorállomáson fellépő legnagyobb rövidzárlati áram (amper).

A következőkben megmutatjuk, hogy miképpen vezethető le a (48) összefüggés.

Tudni kell, hogy a lépésfeszültség értékét úgy kell megszabni, hogy az áramütésre igen érzékeny lovak lépéstávolságban (kb. 2 m) 40 V-nál nagyobb feszültséget ne kaphassanak. Ez a behatárolás egyúttal azt jelenti, hogy az emberre, akinek lépéstávolsága legfeljebb 1 m, teljesen veszélytelen lépésfeszültség áll elő.



10. ábra

ség áll elő. A Szovjetunióban az erre vonatkozó előírások 20 V/m lépésfeszültséget engednek meg. Ha általában U_l V/m lépésfeszültséget engedünk meg és a föld fajlagos ellenállása a kérdéses helyen ϱ Ω m, akkor a megengedhető áramsűrűség A/m^2 a föld felszínén

$$i = \frac{U_l}{\varrho}. \quad (49)$$

Feladatunk a föld felületén a földelő helyétől számított távolságnak a kijelölése, ahol már

$$U_l = i \varrho < U_{l\text{vesz}}. \quad (50)$$

Azt a területet, amelyen belül $U_{l\text{vesz}}$ (a veszélyességi határfeszültség), vagy a szabványoknak megfelelő legnagyobb lépésfeszültség felléphet, be kell keríteni.

Hogy a föld felületén a földelő vonalától x távolságban levő helyen meghatározassuk az áramsűrűséget, először megnézzük, hogy mekkora ez az érték, ha I áram bevezetése a földbe egyetlen, a föld felszínétől y mélységben levő pontban történik (10. ábra). Az elektrosztatikában alkalmazott tükrözési

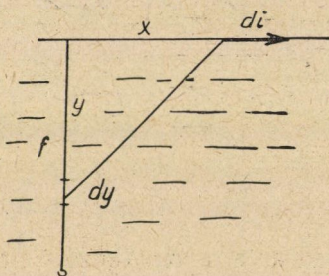
elvet felhasználva úgy képzeljük, hogy a földben fellépő áramsűrűséget két, a föld felszínéhez szimmetrikusan elrendezett pontszerű áramforrás hozza létre. Ha az A és A' tükörkép pontokban az áramerősség I , akkor e pontoktól r távolságban levő F pontban a föld felszínén a két áram által összesen létesített áramsűrűség

$$i = \frac{I}{4\pi r^2} \cdot 2 \cos \alpha \quad (51)$$

vagy, $\cos \alpha = \frac{x}{r}$ helyettesítéssel:

$$i = \frac{I}{2\pi r^3} \cdot x = \frac{I}{2\pi (\sqrt{x^2 + y^2})^3} x$$

Az (51) összefüggés azt mutatja, hogy az árambevezetéstől x távolságban a föld



11. ábra.

felszínén annál kisebb az áramsűrűség, minél mélyebben vezetjük be az áramot (minél nagyobb y).

Ha a tényleges földelések számítására térünk át, akkor úgy képzeljük, hogy a földbe helyezett l hosszúságú rúd-földelőből (11. ábra) teljesen hosszában egyenletesen elosztott áramerősség lép ki, vagyis az egységnyi hosszra eső áram $\frac{I}{l}$. Ezzel a feltétellel a biztonság irányában követünk el hibát, mert a földelőből általában a mélyebben fekvő pontokon indul ki fajlagosan több áram, ami a vizsgált x helyen átlagosan kisebb áramsűrűséget eredményez, az egyenletes áramkilépés feltételezéséhez képest.

A földelő dy hosszán kilépő áram által a földelőtől x távolságban létrehozott áramsűrűség (51) felhasználásával

$$di = \frac{I}{2\pi f} \frac{x}{(\sqrt{x^2 + y^2})^3} dy, \text{ ill.}$$

$$i = \frac{I}{2\pi l} \int_0^l \frac{x}{(\sqrt{x^2 + y^2})^3} dy. \quad (52)^a$$

Az integrálást végrehajtva

$$i = \frac{I}{2\pi x \sqrt{x^2 + l^2}} \quad (53)$$

(53) ból $\frac{I}{2\pi i} = a$ helyettesítéssel

$$(x^2)^2 + l^2 x^2 - a^2 = 0. \quad (54)$$

Ebből:

$$x = \sqrt{-\frac{l^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{l^2}{2}\right)^2 + a^2}} \quad (55)$$

Az irányelvekben

$$a^2 = 1,75 \frac{I_{zm}^2}{i^2}$$

vagy, az áramsűrűséggel kifejezve:

$$1,75 \frac{I_{zm}^2}{i^2} = \frac{I_{zm}^2}{4\pi^2 i^2}$$

tehát az irányelv

$$i = \sqrt{\frac{1}{4\pi^2 \cdot 1,75}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1,32} \cong 0,12 \text{ A/m}^2$$

állandó áramsűrűséggel számol. Ha pl. $\rho = 10^2 \Omega \text{ m}$, akkor a lépésfeszültség $U_l = i\rho = 12 \text{ V/m}$, vagyis a megengedhetőnél jóval kisebb érték. Ha ellenben a föld fajlagos ellenállása a földelés helyén $\rho = 10^3 \Omega \text{ m}$, ami ugyancsak előfordulhat, akkor a lépésfeszültség

$$U_l = i\rho = 120 \text{ V/m}$$

az x sugárral körülkerített terület határán megengedhetetlenül nagy. Ezek alapján javasolható, hogy általában pontosabb számítással ellenőrizzük az elkerítés sugarát, a lépésfeszültségnek és a föld helyi vezetőképességének figyelembevételével. Eszerint a földelés elkerítésének sugarát

$$i = \frac{U_l}{\rho} \text{ és } 4\pi^2 \cong 40$$

* Legkönnyebben célravezető, ha az integrálásnál $\frac{y}{x} = \operatorname{tg} z$ helyettesítést vezetjük be.

helyettesítéssel

$$x = \sqrt{-\frac{l^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{l^2}{2}\right)^2 + 2,5 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\rho}{U_l}\right)^2 I_{zm}^2}} \quad (56)$$

összefüggésből számíthatjuk, ahol $\rho \Omega \text{m}$ a fajlagos földellenállás, $U_l \text{V/m}$ a megengedett legnagyobb lépésfeszültség és I_{zm} a legnagyobb rövidzárlati áram a földelés helyén.

3.2 Mélyföldelők alkalmazása

Mélyföldelők használata, amelyre a földvezetési rendszerrel kapcsolatban a VKB legközelebbi jövőben tesz javaslatot, lényegesen lecsökkenti a bekerítés sugarát. Mélyföldelő esetén ugyanis az áramot a földbe úgy vezetik be, hogy a földelőt mélyebben leverik és a földelőhöz a földtől szigetelt vezetővel létesítik a föld feletti csatlakozást. Ezzel elérjük, hogy a földelő lényegében a pontszerű árambevezetésről elmondottakhoz hasonlóan fog viselkedni és az áramsűrűségnek a föld felszínén való eloszlását az (51) összefüggés fogja szolgáltatni.

Példaképpen számítsuk ki a kerítés sugarát rendes földelő esetén az (53) összefüggés alapján az eddigi példákban használt $\rho = 10^2 \Omega \text{m}$, $U_l = 20 \text{V/m}$ és $I_{zm} = 120 \text{A}$ legnagyobb rövidzárlati áramot feltételezve; a rúd földelő legmélyebb pontja legyen $f = 10 \text{m}$. Eszerint

$$x = 7,5 \text{ m}$$

sugarú elkerítést kell alkalmazni. Nézzük meg, hogy ugyanilyen mélyen mélyföldelőt alkalmazva — milyen áramsűrűséget kapunk $x = 7,5 \text{m}$ távolságban. Az (51) összefüggést felhasználva

$$i = \frac{120}{2\pi} \cdot \frac{7,5}{(\sqrt{(7,5^2 + 10^2)})^3} = 0,074 \text{ A/m}^2$$

és a lépésfeszültség $0,074 \cdot 10^2 = 7,4 \text{V/m}$, messze a megengedett érték alatt van.

Mélyföldelés alkalmazása esetén 10 m-es földelőnél kiszámítjuk, hogy a legnagyobb áramsűrűséget milyen x helyen kapjuk. (51)-ből

$$\frac{\partial i}{\partial x} = 0 \text{ feltételezésével } x_m = 7,1 \text{ m és}$$

ezen a helyen

$$i_m = 0,0742 \text{ A/m}^2.$$

Azt az érdekes eredményt kapjuk, hogy a példánkban az adott feltevések mellett a mélyföldelő esetén a lépésfeszültség miatt tulajdonképpen egyáltalában nem kellene kerítést alkalmazni.

Kerítésre azonban mégis szükség van, mert a szabályzat a földeléshez csatlakozó vezetésekre, részben a földelés közvetlen fémes érintésének veszélye,⁴ részben a földelő vezető esetleges elszakadása miatt a nagyfeszültségű vezetésekre érvényes érintési szabályokat előírja. Az elkerítés sugarát azonban a felvett példában a legkisebb értékre lehet csökkenteni. A mélyföldelő természetesen nem képviseli a 10. ábrán látható ideális esetet, hanem a rendes rúd-földelő és a pontszerű földelés között foglal helyet. Általánosságban a pontszerű mélyföldelésnél a legnagyobb áramsűrűség helye az (51) egyenlet alapján

$$\left(\frac{\partial i}{\partial x} = 0\right) \quad x_m = \frac{y}{\sqrt{2}} \quad (57)$$

és ezen a helyen az áramsűrűség

$$i_{\max} = \frac{6 I_{zm}}{y^2} 10^{-2}, \quad (58)$$

amiből adott i_{\max} mellett a mélyföldelő mélysége legalább

$$y = \frac{1}{10} \sqrt{\frac{6 I_{zm}}{i_{\max}}} \quad (59)$$

kell, hogy legyen. Ha az előbbi példában $i_{\max} = 0,2 \text{ A/m}^2$, $\rho = 10^3 \text{ } \Omega\text{m}$, akkor $y = 6 \text{ m}$ és az elkerítés sugara $4,24 \text{ m}$. Ha a föld fajlagos ellenállása $\rho = 10^2 \text{ } \Omega\text{m}$ $i_{\max} = 0,02 \text{ A/m}^2$ akkor a mélyföldelő mélysége $y = 19 \text{ m}$.

az elkerítés sugara :

$$x_m = \frac{19}{\sqrt{2}} = 13,4 \text{ m.}$$

Rendes földelő alkalmazása az utóbbi esetben az (56) egyenlet szerint :

$$x = \sqrt{-\frac{19^2}{2} + \sqrt{\left(\frac{19^2}{2}\right)^2 + 2,5 \cdot 10^{-2} \left(\frac{10^3}{20}\right)^2 \cdot 120^2}} = 25 \text{ m}$$

kerítés-sugárral történnék, tehát a mélyföldelésnél szükséges kerítés-sugárnak majdnem a kétszeresét kellene alkalmazni. A felsorolt példákából világosan látható hogy a földvezetéses rendszerben a jövőben teljesen indokolt lesz a mélyföldelők alkalmazása, különösen a nagyobb teljesítményekre való áttérés miatt.

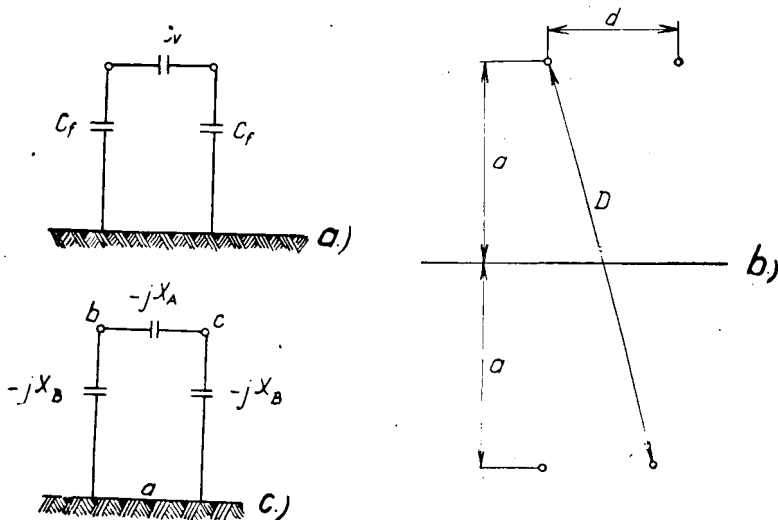
⁴) Ha valaki rövidzárlatkor a földelővel fémes összeköttetésben van, akkor $R_{fd} I_{zm}$ feszültségű áramütést kap. Pl. ha rövidzárlati áram $I_{zm} = 120 \text{ A}$ és $R_{fd} = 8 \text{ ohm}$, akkor az illető 960 V feszültségű ütést kap testén keresztül, ami feltétlenül életveszélyes. Természetesen nagyobb rövidzárlati áramoknál ez a feszültség nagyobb értékeket is felvehet.

A földelések kérdését azzal akarjuk lezárni, hogy különösen a rendszer kiterjesztésével és az esetleges nagyobb teljesítményekre való tekintettel az állandó áramot vezető földelések kérdéséről vizsgálatokat kell folytatni. A VKB előzetes tájékozódás céljából már végzett egyetlen kísérletet máscélú (100 kV-os alállomási) szalagföldelésen, állandó áramterhelés alatt. Azt tapasztalták, hogy kb. 1,5 A/m terhelésnél 48° C túlmelegedés lépett fel és 21 üzennap után a földelés talaja kiszáradt, amit a földelési ellenállás ugrásszerű megnövekedése bizonyított. A kísérlet-sorozatot véleményünk szerint ki kell terjeszteni különféle típusú földelésekre, különösen mélyföldelésre. Meg kell állapítani azt a határáramot, amely alatt a fenti értelmű kiszáradást már nem lehet tapasztalni. Megfelelő megoldást kell találni a határáram feletti áramerősséggel állandóan terhelt földelések kiszáradásának megakadályozására. Meg kell állapítani, hogy az állandó árammal terhelt és jelenleg üzennben levő földelő-elemek korrozója nem következett-e be. Irányelvet kell kidolgozni a földelések ellenőrzésére és karbantartására.

4. Üzemi kapacitások

Amint láttuk, a háromfázisú földvezetéses rendszerű távvezeték-impedancia aszimmetriája nem számottevő.

Ezzel szemben az üzemi kapacitások erős aszimmetriát mutatnak, aminek ugyan rendes üzennben semmiféle hátránya nem tapasztalható, de amely körülmény első kísérleti vezetékünknel kellemetlen ferrezonanciás jelenségeknek volt okozója.



12. ábra

A háromfázisú földvezetésű rendszerű vezeték üzemi kapacitását az irodalomból jól ismert összefüggések alapján számíthatjuk. A földfeletlen nullapontú szimmetrikus háromfázisú rendszerben a vezetők egymásközötti kapacitása háromszögbe kapcsolt szimmetrikus háromfázisú kapacitásrendszert alkot. Ugyanekkor a három vezetőknek a földhöz képest megállapított kapacitásai háromfázisú, szimmetrikus csillagba kapcsolt kapacitásrendszert jelentenek. Így a háromfázisú vezeték üzemi kapacitásai mind a három fázisban, elhanyagolható kicsiny különbségektől eltekintve, egyenlő nagyok. Ezzel szemben a földvezetésű rendszerben, szimmetrikus földfeletti elrendezést feltételezve két egyenlő nagy földkapacitás c_f (12. ábra) és az ezektől különböző c_v vezetők közötti kapacitás háromfázisú, háromszögbe kapcsolt aszimmetrikus kapacitásrendszert alkot. Az egyes kapacitások értékét a 12. ábra b képen látható magyarázó ábra jelölései alapján a következőképpen számítjuk (I. Verebély : Villamos erőtvitel II. kötet, 255. oldal)

$$C_f = \frac{1}{18 \ln \left(\frac{2a}{r} \frac{D}{d} \right)} \mu F / \text{km}$$

$$C_v = \frac{\ln \frac{D}{d}}{18 \ln \left(\frac{2a}{r} \frac{D}{d} \right) \ln \left(\frac{2a}{r} \frac{d}{D} \right)} \mu F / \text{km}.$$

A két kapacitás különböző és hányadosuk :

$$\frac{C_f}{C_v} = \frac{\ln \frac{2a}{r}}{\ln \frac{D}{d}} - 1. \quad (60)$$

Ha pl. $a = 700$ cm ; $D = 1400$ cm ; $d = 100$ cm és $r = 0,315$ cm

$$\frac{C_f}{C_v} = \frac{8,43}{2,64} - 1 = 2,2.$$

A vezetőknek a földhöz viszonyított kapacitása a példában felvett és 20 kV-os hálózatoknál szokásos távolságok esetén kereken kétszer akkora, mint a két fémes vezető egymás közötti kapacitása. A különböző értékű kapacitások következményeképpen a vezeték töltőárama a három fázisban különböző lesz. Egyenlő földfeletti magasságú vezetők esetén a két fémes vezető egyenlő nagy töltőáramot vesz fel a hálózatból, amelynek értéke nem sokkal különbözik a rendszer háromfázisú vezeték töltőáramától, de eltér a földben folyó töltőáramtól.

4.1 Aszimmetrikus töltőáramok számítása

A 12c. ábra szerint az a , b és c pontok között szimmetrikus háromfázisú U hálózati feszültséget feltételezve a töltőáramok

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}}{-jX_A}; \quad \dot{I}_B = \frac{a^2 \dot{U}}{-jX_B}; \quad \dot{I}_C = \frac{a \dot{U}}{-jX_C}. \quad (61)$$

A vonali áramok:

$$\text{ahol } X_A = \frac{1}{C_v \omega} \quad \text{és} \quad X_B = X_C = \frac{1}{C_f \omega}.$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{a földben:} \\ \text{a fémes vezetékben:} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \dot{I}_a = \dot{I}_B - \dot{I}_C \\ \dot{I}_b = \dot{I}_C - \dot{I}_A \\ \dot{I}_c = \dot{I}_A - \dot{I}_B \end{array} \quad (62)$$

(61) értékeket (62)-be helyettesítve és $\frac{C_v}{C_f} = \frac{X_B}{X_A} = m$ helyettesítéssel

$$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}}{X_B} \sqrt{3}; \quad \dot{I}_b = \frac{\dot{U}}{-jX_B} (a - m); \quad \dot{I}_c = \frac{\dot{U}}{jX_B} (a^2 - m).$$

A vonali áramok abszolút értékei:

$$I_a = \frac{U}{X_B} \sqrt{3}; \quad I_b = \frac{U}{X_B} \sqrt{m^2 + m + 1} = I_c. \quad (63)$$

Szimmetrikus háromfázisú U értékű kapcsolófeszültség mellett a földben

$$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{m^2 + m + 1}}$$

arányban nagyobb kapacitív áram folyik, mint a fémes vezetőkben. Felvett példánkban ez az arány

$$\frac{\sqrt{3}}{\sqrt{0,207 + 0,445 + 1}} = \sqrt{1,815} = 1,35.$$

A VKB egyik földvezetékes hálózatán mérésel ellenőrizte a számítást és teljes egyezést talált a számítás és mérés között. A vezeték adatai alapján $C_f = 0,484 \cdot 10^{-2} \mu F/km$; $C_v = 0,208 \cdot 10^{-2} \mu F/km$, tehát

$$m = \frac{C_v}{C_f} = \frac{X_B}{X_A} = \frac{0,208 \cdot 10^{-2}}{0,484 \cdot 10^{-2}} = 0,43.$$

A három fázisban a töltőáramok abszolút értékének kiszámításához (ha a vonal hossza 36 km)

$$X_B = \frac{10^6}{0,484 \cdot 10^{-2} \cdot 314 \cdot 36} = 18\,300 \text{ } \Omega.$$

A töltőáramok a (61) összefüggések szerint :

$$I_a = \frac{20\,000}{18\,300} \sqrt{3} = 1,89 \text{ A}$$

mérésből

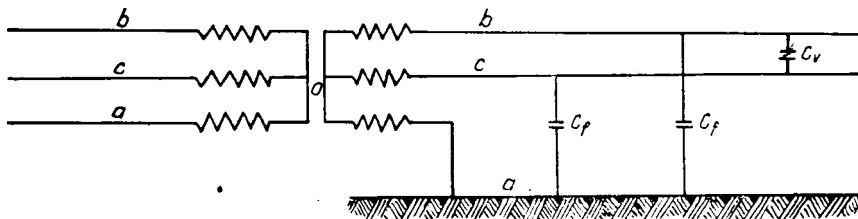
$$I_a = 1,94 \text{ A}$$

$$I_b = I_c = \frac{20\,000}{18\,300} \sqrt{0,185 + 0,430 + 1} = 1,39 \text{ A}$$

mérésből $I_b = I_c = 1,41 \text{ A}$. Látjuk a mérés és számítás teljes egyezését.

4.2 Ferrerrezonanciás jelenség

Az aszimmetrikus terhelést jelentő töltőáramok, illetve kapacitások akkor okozhatnak zavart, ha a leválasztó transzformátor viszonylag kis teljesítőképességű és valamely okból pl. a tápoldalon az egyik vezetőben szakadás következik be és a fogyasztói oldalon kis terhelés, vagy üresjárás van. A hálózat kapcsolását a transzformátorral együtt a 13. ábra mutatja. A leválasztó transz-



13. ábra.

formátor (amely az áttekinthetőség miatt Y/Y kapcsolású) vezetőszakadás esetén egyfázisú táplálást kap. Ennek az a következménye, hogy a c és az a fázis között a feszültség változatlan értékű marad, ellenben a b fázisban, a föld-

vezetős hálózat oldalán — a C_v és C_f kapacitások különbözősége miatt — kapacitív áram fog folyni, ami az ellenampermenet nélkül maradt b vasmagos transzformátortekercset felgerjeszti és u. n. ferrozonancia-jelenséget okoz. A ferrozonancia esetleg kellemetlen feszültségemelkedéshez, sőt bizonyos körülmények között a fázis forgássorrend megváltozásához vezethet. Ez a jelenség inkább elméleti érdekességű, amióta megszüntettük a leválasztó transzformátoroknak fázisonként biztosítóval történő védelmét és előírtuk, hogy a leválasztó transzformátorállomáson a tápoldalon háromfázisú megszakítót kell használni. Legújabb berendezéseink eszerint készültek.⁵

Az előző fejezetekben megvizsgáltuk a földvezetési rendszernek azokat a tulajdonságait, amelyekkel különbözik a fémes vezetőkkel történő háromfázisú energiaátviteltől. A következőkben rövid összefoglalásban felsoroljuk a földvezetési rendszer előnyeit, illetve hátrányait és javaslatot teszünk a további fejlesztés irányára.

5. A földvezetési rendszerű vezeték üzemi értékelése

Hátrányok :

a) Földzárlatok egyúttal rövidzárlatot jelentenek. Ez a körülmény látszólag az üzembiztonságot és főként az üzemfolytonosságot befolyásolja. Amióta azonban bevezettük a háromfázisú megszakítást és előírtuk, hogy a leválasztás olyan helyen legyen, ahol kezelő állandóan rendelkezésre áll, az ezirányú hátrányokat minimumra csökkentettük. Megjegyezzük, hogy földeletlen nullapontú rendszer háromfázisú hálózatot sem szabad huzamosan földzárlattal üzemben tartani és így csak a múlt földzárlatoknál van különbség. Ugyanakkor a leválasztóállomások az eddiginél nagyobb szelektivitást biztosítanak. Különösen javítható az üzemfolytonosság a kifejlesztés alatt álló önműködő késleltetett visszakapcsolók alkalmazásával.

b) A földvezetési rendszerben ugyanolyan névleges feszültség mellett a szigetelések $\sqrt{3}$ -szoros állandó igénybevételt kapnak. Valóban ez a nagyobb igénybevétel a helytelenül méretezett, vagy gyenge minőségű berendezésekben rövidebb idő után meghibásodáshoz vezethet. Különösen a szerves szigetelőanyagok minőségére és méretezésére kell ügyelni ; a szerves szigetelőanyagok, így különösen a porcelánok nem annyira érzékenyek a nagyobb igénybevételre. Helyes méretezés, a szabványok betartása és minőségi munka mellett semmi ok sincs arra, hogy e hátrány az üzemet befolyásolná. A három éve üzemben levő berendezések transzformátorai és berendezései nem mutattak különbséget a földvezetési rendszer hátrányára.

⁵ Megjegyezzük, hogy ferrozonanciás jelenség felléphet nem földvezetési szigetelt nullapontú hálózatnál is, ha az egyik vezető leszakad és egyidejűleg a földdel érintkezésbe kerül.

Mégis voltak másutt hálózati részek, ahol feltűnően nagyszámú volt a transzformátorok meghibásodása. Ezeken a helyeken az okokat nagyon gondosan kellett megvizsgálni, mert a nagyobb igénybevételt az előbbiek szerint a berendezéseknek állandóan kell bírniok és ha mégis nagyobb arányú bajok voltak, akkor ennek okait nem a rendszerben kell keresni. Egyébként utalunk itt a már idézett szovjet cikkekre, amelyben erről a kérdéstről szószzerű fordításban a következő áll: »A szigetelésről az ötéves működés alapján elmondható, hogy mindenfajta 35 kV-os vonali és állomási szigetelés teljesen alkalmas a DPZ rendszer számára, azonban, *beépítés előtt figyelmesebb vizsgálatot és kiválasztást követel*« (a szerző kiemelése). A szovjet cikk 35 kV-os üzemi feszültségű DPZ rendszerű hálózatra vonatkozik.

Megítélésünk szerint jól méretezett és épített berendezések a nagyobb feszültségigénybevétel ellenére sem szenvednek hátrányt a három fémes vezetővel történő energiaátvitelhez képest.

c) A földvezetéses rendszerben az eddig alkalmazott leválasztó transzformátorok kis teljesítménye akadálya lehetett a hálózatok továbbfejlődésének. Ezt a kérdést a Hálózat Tervező Iroda alaposan megvizsgálta és arra a megállapításra jutott, hogy a jövőben építendő nagyszabású földvezetéses villamosításoknál ez a kérdés elveszíti jelentőségét, mert a földvezetéses rendszert azoktól a pontoktól kiindulva építik ki, ahol amúgy is van transzformáció (pl. 35/20 kV, vagy 60/20 kV).

d) Gyengeáramú vezetékek befolyásolása. Több esetben felmerült az a kérdés, vajjon a földvezetéses hálózat nem okoz több telefontörzést, mint a rendes háromfázisú vezeték. A VKB a postával közösen alapos kísérletsorozatot hajtott végre, amelynek eredményeképpen kiderült, hogy a gyengeáramú vezetékek veszélyeztetettsége a szabványos értékek alatt marad, ha telefon és távvezeték megközelítési és párhuzamosan haladási szabályait betartják. Ez mind az induktív, mind a sztatikus befolyásolásra fennáll. Mindenesetre a földeléseket a postahivataltól távol kell elhelyezni (legkevesebb 200 m távolságban). Új vezetékek építésénél természetesen együtt kell működni a postával és a posta igényeinek eleget kell tenni.

Előnyök

a) Az építésnél megtakarítunk egy szál fémes vezetőt, szigetelőket. Az oszlopokat alacsonyabbra lehet méretezni, mert csak egy síkban elhelyezett két vezetőt kell az oszlopoknak hordaniok ill. nagyobb (leggazdaságosabb) oszlopközt lehet választani. A mai rendkívül szűk színes-fém- és valuta-helyzetben a kérdés döntő fontosságú és sok millió forint értékű anyagtakarítást jelent.

b) A földdel állandó fémes kapcsolatban levő vezeték légköri kisülésekre feltehetően kevésbé érzékeny. Az erre vonatkozó vizsgálatokat, statisztikai

adatgyűjtést és beható elméleti tanulmányokat folytatni kell. Idézzük e helyen is a már említett szovjet cikkeknek vonatkozó részletét szóserinti fordításban : »Megjegyezhető, hogy a DPZ rendszerben működő vezetékek majdnem védettek zivatarai kisülésektől akkor, amikor az ezen területen áthaladó háromvezetékes vonalak meghibásodtak minden zivatarban.« E kérdésben a hazai nézetek különbözök. A bekért hozzászólásoknak mintegy fele jobbnak, fele rosszabbnak tartotta légköri kisülések szempontjából a földvezetékes rendszert a rendes háromfázisú energiaátvitelnél. Időközben kiderült azonban, hogy az a hálózat-rész, ahonnan a legrosszabb jelentést kaptuk, műszakilag helytelenül volt felszerelve és a leválasztó állomáson, amely a legközelebbi lakott helytől mintegy 4 km távolságban volt elhelyezve, az egész hálózat a fogyasztói transzformátorok biztosítóinál kisebb névleges áramerősségű biztosítókkal volt védve.

c) A földvezetékes rendszerről egyfázisú földvezetékes leágazások révén közvetlenül csatlakoztathatók, főleg gyéren lakott, világítási fogyasztókkal ellátott kisebb községek. Az egyfázisú csatlakozások jelentősége megfelelő egyfázisú motorok kifejlesztése esetén lényegesen fokozódhat.

5.1 Gazdaságosság

Leválasztó (1 : 1 áttételű) transzformátorok alkalmazása esetén az a kérdés, hogy a vezeték és egyéb szerelési anyagokban elért megtakarítások mekkora vezetékhozznál egyenértékűek, ill. nagyobbak a többletbefektetésnek és a leválasztó állomás veszteségeinek tőkésített értéke összegénél.

A többletberuházások : földelések készítése, a leválasztó állomás kapcsoló- és transzformátorberendezései.

Többletköltség : az állandó leválasztótranszformátor veszteségek pénzben kifejezett értéke.

Különösen a 20 kV-os, viszonylag rövidebb vonalaknál (ilyeneket sajnálatos módon szép számmal építettek 1949—1950. évben) furcsa a helyzet. Ugyanis a hálózati töltőáramok, 100 kVA-es leválasztó állomásra kapcsolt üresen járó földvezetékes vezeték esetén, kb. 40 km hálózati hossz (VKB számításai szerint) eléri a névleges terhelési áramot. Így ennél hosszabb földvezetékes hálózatot nem lehet 100 kVA-es leválasztó állomásra kapcsolni. Ugyanakkor kimutatható, hogy kb. 25 km az a legkisebb vezetékhozz, amelynél a földvezetékes hálózat gazdaságossága 100 kVA-es leválasztó állomás esetében kezdődik. Ennél a vezetékhozznál, illetve e fölött, a vezeték és szerelési anyagban elért megtakarítás több, mint a fent felsorolt többletkiadás. 100 kVA-es leválasztó állomáshoz tehát csak 25 és 40 km közötti hosszúságú vonalat lehet kapcsolni, amely körülmény rendkívüli módon leszűkíti az alkalmazási területet. Az ilyen kis teljesítményeknél helyesnek látszott a $22/\sqrt{3}$ kV alkalmazása,

amelynél a legkisebb gazdaságos hossz kb. 15 km, a rákapcsolható legnagyobb vezetékhozz, 123 km, ami az alkalmazási területet megnöveli.

Amint azonban már megjegyeztük, a jövő fejlődése szempontjából a gazdaságosságnak ez a megítélése fölöslegessé válik. Ugyanis a jövőben mindenütt, ahol erre a lehetőség fennáll, visszamegyünk a földvezetési rendszerrel addig a pontig, ahol 60, vagy 35 kV-ról esetleg 100 kV-ról amúgyis transzformálunk 20 kV-ra. Ez esetben a leválasztó állomás építési költsége és a veszteségek tőkésített értéke elmarad és a vezeték az első km-től kezdve gazdaságos. A nagyobb teljesítményű kiindulási transzformátorok üzemére a töltőáramok már nincsenek befolyással. Az egész üzem biztosabb és olcsóbb lesz. Ma, amikor a színes fémek kérdése fontos, kormányzati probléma, így lehet a földvezetési rendszerben rejlő lehetőségeket maradéktalanul kihasználni.

Látnivaló, hogy a műszaki és a gazdasági hátrányok elhanyagolhatók azok mellett az előnyök mellett, amelyeket a földvezetési háromfázisú rendszer alkalmazása, népgazdaságunk számára nyújt.

6. Összefoglalás

Fentiekben megvizsgáltuk a földvezetési villamosenergia szolgáltatási rendszernek azokat a sajátosságait, amelyekben eltér a megszokott háromfázisú háromvezetős rendszertől.

Eközben azt találtuk, hogy a föld, mint vezető rendkívül kis ohmos ellenállású fémes vezetővel egyenértékű, amelynek induktivitása a fémes vezetőéhez hasonló érték. Láttuk, hogy nagy gondot kell fordítani a földvezetési rendszer sarkalatos pontjára : a földelésre. Előnyös a mélyföldelések használata. További kísérleteket és elvi vizsgálatokat kell végezni az állandó áramot vezető földelések, valamint a földvezetési hálózatnak légköri kisülésekkel szemben mutatott viselkedésével kapcsolatosan.

Az üzemi kapacitások háromfázisú aszimmetrikus kondenzátorrendszert alkotnak, aminek aszimmetrikus töltőáram a következménye. A hálózat rendes üzemére a töltőáramok eltérései nincsenek befolyással. Bizonyos üzemi viszonyok között azonban nehézségek állhatnak elő a töltőáramok aszimmetriája miatt, amiért a leválasztó transzformátorok előtt háromsarkú megszakítást kell alkalmazni.

Helyesnek mutatkozik, hogy a végtelen keresztmetszettel mindenütt rendelkezésre álló ingyen energiaszállító lehetőséget, a földet, mint vezetőt minél tágabb határok között kihasználjuk és e rendszert az eddiginél sokkal intenzívebben és tervszerűbben tovább fejlesszük.

Az első földvezetési rendszerű vezeték üzembehelyezése előtti időben és azóta is számos kartárs, mérnök és technikus, szerelő és művezető foglalkozott e kérdéssel. Ezek közül különösen ki kell emelni Geszti Pál Ottót, aki a vonatkozó

műszaki és tudományos irodalomnak részletes feldolgozásával és önálló továbbfejlesztésével elkészítette azt az elméleti alapot, amelyen elindulva siker reményével lehetett a gyakorlati munkához kezdeni. Meg kell emlékeznünk Dr. Eisler János, Gányi Zoltán, Ignác Pál, Jedovszky Jenő, Kaiser József, dr. Vajta Miklós és Vígváry László kartársakról, akik szívós munkájukkal, gyakorlati útbaigazításukkal lehetővé tették a próbavezetékek szakszerű megépítését és a rendszer gazdaságos továbbfejlesztését.

Meg kell emlékeznünk a Villamosítási Kutatási Bizottságnak az elmúlt évben végzett rendszerező és adatgyűjtő munkájáról, amelynek keretében különösen Elek András, Gerzelyi Vilmos, Lomb Frigyes és Pázmándy László kartársak tisztáztak fontos kérdéseket. Végül köszönetet mondunk Rácz István kartársnak, aki az elméleti részletek kidolgozásánál kiváló munkájával segített.

7. Függelék

A (14) Bessel differenciálegyenlet megoldása

Részben ellenőrzésként, részben annak bemutatására, hogy a Maxwell egyenletekből közvetlenül is megkaphatjuk a (14) differenciálegyenletet, írjuk fel a 5. ábra *b* és *c* képe szerint a Maxwell egyenleteket. A korábbi jelölésekkel: (a földben)

$$\operatorname{rot} \dot{H} = i = \lambda \dot{E} \quad (64)$$

$$\operatorname{rot} \dot{E} = -\mu \frac{\partial \dot{H}}{\partial t} \quad (65)$$

(65)-ből $\frac{\partial \dot{H}}{\partial t} = j \omega \dot{H}$ helyettesítéssel

amiből

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \dot{E} &= -j \omega \mu \dot{H}, \\ \dot{H} &= -\frac{1}{j \omega \mu} \operatorname{rot} \dot{E} \end{aligned}$$

\dot{H} -nak ezt az értékét (64) egyenletbe helyettesítve

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \dot{E} = -j \omega \mu \lambda \dot{E}. \quad (66)$$

A vektoranalízisből ismeretes azonban, hogy

$$\operatorname{rot} \operatorname{rot} \dot{E} = \operatorname{grad} \operatorname{div} \dot{E} - \nabla^2 \dot{E},$$

(lásd Kocsin könyv (Irodalom 14) 282. old.)

ahol ∇^2 (nabla négyzet) a Laplace-féle differenciál operátor. Minthogy \dot{E} diver-

genciája, ha a sztatikus teret elhanyagoljuk, zérussal egyenlő, vagyis $\text{grad div } E = 0$, tehát $j\omega\mu\lambda E = \nabla^2 E$, amit hengerkoordinátában kell felírunk, hogy a (14) egyenlettel megegyező írásmódot kapjunk. A vektoranalízisből ismeretes, hogy a derékszögű koordinátarendszérből (x, y, z) a hengerkoordinátarendszerbe (s, φ, z) való transzformáció következőképpen történik :

$$\Delta^2 \dot{E} = \frac{\partial^2 \dot{E}}{\partial s^2} + \frac{1}{s} \frac{\partial \dot{E}}{\partial s} + \frac{1}{s^2} \frac{\partial^2 \dot{E}}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 \dot{E}}{\partial z^2}. \quad (67)$$

(Lásd Magnus könyv (Irodalom 15.) 193. old.)

Azonban a hengerszimmetria miatt E a φ irányban és z irányban nem változik, tehát

$$\begin{aligned} \frac{\partial \dot{E}}{\partial \varphi} = 0 \quad \text{és} \quad \frac{\partial \dot{E}}{\partial z} = 0, \\ \frac{d^2 \dot{E}}{ds^2} + \frac{1}{s} \frac{d\dot{E}}{ds} - j\omega\lambda\mu \dot{E} = 0, \\ \frac{d^2 \dot{E}}{ds^2} + \frac{1}{s} \frac{d\dot{E}}{ds} + k^2 \dot{E} = 0 \end{aligned} \quad (13)$$

azonos (13)-mal.

A (13) egyenletet még a következőképpen írhatjuk :

$$\frac{d^2 \dot{E}}{d(ks)^2} + \frac{1}{(ks)} \frac{d\dot{E}}{d(ks)} + \dot{E} = 0, \quad (14)$$

amely alak azonosítható a Jahnke—Emde : Funktionentafeln (a következőkben J. E.) Teubner, Leipzig 1938 kiadás, 146. oldalán 7. pont alatti 7. differenciálegyenlettel. (A J. E. függvénytáblázatok orosz nyelven is megjelentek a Goszudarsztvennoje Izdateljsztvo Tehniko-teoreticeszkoj Literaturi Moszkva, 1949. kiadásban, amelyben az említett differenciálegyenletet a 237. oldalon a 7. pont alatt találjuk.) Ez az egyenlet :

$$\frac{d^2 y}{dx^2} + \frac{1}{x} \frac{dy}{dx} + \left(1 - \frac{p^2}{x^2}\right) y = 0, \quad (15)$$

amely $p = 0$ esetében $y = \dot{E}$ és $x = ks$ helyettesítéssel átmegy a (14) egyenletbe.

A megoldást J. E.-ben a differenciálegyenlet mellett található $y = Z_p(x)$, ill. esetünkben $\dot{E} = Z_p(ks)$ függvény alakjában kapjuk. Az $\dot{E} = Z_p(ks)$ függvényről tudjuk, hogy \dot{E} értéke $s = \infty$ helyen 0-val egyenlő. Így tehát a fenti

Bessel-függvénynek olyan megoldását kell találnunk, amelynél (ks) független változónak minden határon túl történő növelésénél a függvény értéke eltűnik. A (ks) független változót még a következő alakban írhatjuk:

$$(ks) = s \sqrt{-j} \sqrt{\omega \mu \lambda} = s \sqrt{\omega \mu \lambda} e^{-j \frac{\pi}{4}} \quad (68)$$

Következőleg a független változó negatív képzetes részű komplexszám. Azt a követelményt, hogy komplex változójú Bessel-függvény a független változó végtelen helyén eltűnjék, J. E. szerint (133. oldal, szovjet kiadásban 227. oldal *d.* pont) harmadik fajú u. n. Hankel-függvények elégítik ki. Erre vonatkozóan J. E.-ben a jelzett helyen a következőt olvashatjuk: (szószerinti fordítás) »... A H függvénynek az alkalmazásokban főként az a jelentősége, hogy a Bessel-függvények közül egyedül ezek tűnnek el végtelen komplex argumentum mellett, éspedig a $H^{(1)}$ akkor, ha az argumentum képzetes része pozitív, a $H^{(2)}$ akkor, ha az negatív.

$$\lim_{r \rightarrow \infty} H_p^{(1)}(r e^{j\vartheta}) = 0; \quad \lim_{r \rightarrow \infty} H_p^{(2)}(r e^{-j\vartheta}) = 0, \quad \text{ha } 0 \leq \vartheta \leq \pi. \llcorner$$

Látszik, hogy a mi esetünkben a második Hankel-függvényt kell tekintetbe venni. Ha még figyelembe vesszük, hogy $p = 0$, akkor a megoldást

$$\dot{E} = \dot{A} H_0^{(2)}(ks) \quad (69)$$

alakban nyerjük. A értékének meghatározásához abból a feltételből indulunk ki, hogy a mágneses térerősség a föld felszínén sugárirányban nem ugrásszerűen, hanem folytonosan változik. A \dot{H} térerősség a föld felszínén a levegő felől közelítve a földet:

$$\dot{H} = \frac{\dot{I}}{2\pi h} \quad (18)'$$

Ugyanekkor a (10) összefüggés szerint

$$\dot{H} = \frac{1}{j\omega\mu} \frac{d\dot{E}}{ds} \quad (10)'$$

\dot{E} értékét (69)-ből a (10) egyenletbe helyettesítve:

$$\dot{H} = \dot{A} \frac{1}{j\omega\mu} \frac{d H_0^{(2)}(ks)}{ds}$$

Azonban a nulladrendű Bessel-függvények differenciálási szabályai szerint (J. E. 145. old. 5. fejezet, utolsó képlet, szovjet kiadásban 236. old. 5. fejezet utolsó képlet)

$$\frac{dH_0^{(2)}(x)}{dx} = -H_1^{(2)}(x),$$

vagy a mi esetünkben

$$\dot{H} = -\dot{A} \frac{k}{j\omega\mu} H_1^{(2)}(ks). \quad (70)$$

E kifejezéstől azt kívánjuk, hogy a föld felszínén ($s = h$) egyenlő legyen a (18)' kifejezés szerinti \dot{H} értékkel, vagyis

$$\dot{H} = \frac{\dot{I}}{2\pi h} = -\dot{A} \frac{k}{j\omega\mu} H_1^{(2)}(kh)$$

amiből

$$\dot{A} = -\frac{\dot{I}}{2\pi h} \frac{j\omega\mu}{k} \frac{1}{H_1^{(2)}(kh)}. \quad (71)$$

\dot{A} értékét (71)-ből (69)-be, illetve (70)-be helyettesítve kapjuk a villamos térerősség:

$$\dot{E} = -\frac{\dot{I}}{2\pi h} \frac{j\omega\mu}{k} \frac{H_0^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)}. \quad (19)'$$

a mágneses térerősség:

$$\dot{H} = \frac{\dot{I}}{2\pi h} \frac{H_1^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (18)'$$

és végül az $i = \dot{E}\lambda$ összefüggés felhasználásával:

$$i = -\frac{\dot{I}}{2\pi h} \frac{j\omega\mu\lambda}{k} \frac{H_0^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)},$$

utóbbiból $k = \sqrt{-j\omega\lambda\mu}$ érték figyelembevételével az áramsűrűség:

$$i = \frac{\dot{I}}{2\pi h} k \frac{H_0^{(2)}(ks)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (21)'$$

általános kifejezéseit. Amint már említettük, a hengersizmetria miatt sugárirányú áramlás nincs (l. 2. 11,b) és a vezetőre merőleges síkok ekvipotenciális

felületek. Következésképp E kifejezésében $s = h$ értéket helyettesíthetünk, a (föld felületét a föld oldaláról közelítjük meg) és a következőket kapjuk:

$$\dot{E} = - \frac{I}{2\pi h} \frac{j\omega\mu}{k} \frac{H_0^{(2)}(kh)}{H_1^{(2)}(kh)} \quad (19a')$$

Feladatunk végül $\frac{H_0^{(2)}(kh)}{H_1^{(2)}(kh)}$ számszerű értékének meghatározása. E célra

a H függvényeket felbontjuk J és N függvényekre (J. E. 134. old., szovjet kiadás 228. old. 4. sor), amely szerint

$$H_p^{(2)}(x) = J_p(x) - jN_p(x), \quad \text{vagy } p=0 \text{ és } p=1 \text{ esetében}$$

$$H_0^{(2)}(kh) = J_0(kh) - jN_0(kh)$$

és

$$H_1^{(2)}(kh) = J_1(kh) - jN_1(kh).$$

A függvényértékek kiszámításánál a közelítő megoldásokat választhatjuk mert (kh) abszolút értéke sokkal kisebb 1-nél.

$$k = \sqrt{-j} \sqrt{\omega\lambda\mu}; \quad |k| = \sqrt{\omega\lambda\mu} = \sqrt{314 \cdot 10^{-4} \cdot 4\pi \cdot 10^{-9}} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ 1/cm}$$

$$\text{és } h = 700 \text{ cm-rel } |kh| = 0,014 \ll 1.$$

Ezért:

a) J. E. 156. oldalon levő táblázat szerint (szovjet kiadás 291. oldal) $J_0(kh) = 1$, ha $|kh| \ll 1$

b) J. E. 132. oldalon található szerint $|x| \ll 1$ esetre (szovjet kiadás 227. old. c. pont, alulról második képlet)

$$N_0(kh) = -\frac{2}{\pi} \ln \frac{2}{\gamma(kh)},$$

ahol $\gamma = 1,781$ (J. E. 130. old., szovjet kiadás 225. old. 1. sor).

c) J. E. 128. oldalon alul (szovjet kiadás 224. old. 1a pont, alulról a második sor) $|z| \ll 1$ esetében:

$$J_p(z) = \frac{z^p}{p!2^p};$$

amennyiben $p = 1$ és $z = (kh)$, akkor

$$J_1(kh) = \frac{(kh)}{2}.$$

d) Végül J. E. 132. oldalon található összefüggés szerint (szovjet kiadás : 227. old. c pont, utolsó képlet), ha $|x| \ll 1$, akkor

$$N_n(x) := -\frac{(n-1)!}{\pi} \left(\frac{2}{x}\right)^n;$$

a mi esetünkben $n = 1$ és $x = (kh)$ mellett

$$N_1(kh) = -\frac{1}{\pi} \frac{2}{(kh)}.$$

J_0, N_0, J_1, N_1 értékeinek ismeretében

$$H_0^{(2)}(kh) = 1 + j \frac{2}{\pi} \ln \frac{2}{\gamma(kh)} \quad (24)$$

$$H_1^{(2)}(kh) = \frac{(kh)}{2} + j \frac{2}{\pi} \frac{1}{(kh)} \cong j \frac{2}{\pi} \frac{1}{(kh)}, \quad (23)$$

valamint

$$\frac{H_0^{(2)}(kh)}{H_1^{(2)}(kh)} = \left(-j \frac{\pi}{2} + \ln \frac{2}{\gamma(kh)}\right) (kh) \quad (72)$$

(72)-öt (19a)'-be helyettesítve kapjuk a földimpedanciának 1 cm-re eső értékét j -vel történt osztás után. ($\mu = 4\pi \cdot 10^{-9}$)

$$\begin{aligned} \dot{Z}_f &= \frac{\dot{E}}{-j} = \frac{j \omega 4\pi 10^{-9}}{2\pi (kh)} (kh) \left[-j \frac{\pi}{2} + \ln \frac{2}{\gamma(kh)}\right] \\ \dot{Z}_f &= \pi \omega 10^{-9} + j 2 \omega \ln \frac{2}{\gamma(kh)} 10^{-9}. \end{aligned} \quad (73)$$

A földvezetés számításánál szokásos a $D = \frac{1}{\pi \sqrt{2 f \lambda 10^{-9}}}$

elméleti távolságot bevezetni, amely $k = \sqrt{-j} \sqrt{2\pi f \mu \lambda - \gamma}$ -val a következő összefüggésben van:

$$k = \frac{2 \sqrt{-j}}{D}.$$

Az utóbbi egyenlőség felhasználásával (73) még a következő alakban írható:

$$\dot{Z}_f = \omega \pi 10^{-9} + j 2 \omega 10^{-9} \left(\ln \frac{D}{h} + \ln \sqrt{j} - \ln \gamma\right)$$

vagy, ha $\ln \gamma = 0,577$ és $\ln \sqrt{j} = \ln e^{j\frac{\pi}{4}} = j\frac{\pi}{4}$, helyettesítést tesszük, akkor

$$\dot{Z}_f = \frac{\pi \omega}{2} 10^{-9} + j 2 \omega \left(\ln \frac{D}{h} - 0,577\right) 10^{-9} \quad (25)$$

IRODALOM

1. *R. Rüdenberg* : Die Ausbreitung der Erdströme in der Umgebung von Wechselstromleitungen. Z. ang. Math. Mech. Bd. 5. S. 361. 1925.
2. *O. Mayr* : Die Erde als Wechselstromleiter. ETZ 1925. S. 1352 és 1436.
3. *J. R. Carson* : Wave Propagation in Overhead Wires with Ground Return. The Bell System Technical Journal 1926. 539. o.
4. *F. Ollendorff* : Erdströme. Springer, Berlin 1928.
5. *Wagner—Evans* : Symmetrical Components. McGraw-Hill, 1933.
6. *R. Rüdenberg* : Grounding Principles and Practices. Electrical Engineering, 1945. jan.
7. *P. Benar* : Elektropredacsza »dva provoda-zemlja«. Elektricesesztvo 1933. 20. sz.
8. *P. Benar* : Raszcszet szelszkohozjasztvennih elektroszetej sz iszpolzovanijem zemli v kacsesztve szilovogo provoda. Elektricesesztvo 1936. 11. sz.
9. *P. Oresinszkij* : Posztrojenije szisztemi »dva provoda-zemlja«. Elektricesesztvo 1934. 6. sz.
10. *L. M. Vilycsur* : O primenenii szisztemi dva provoda-zemlja v gornih uszlovijah. Elektricesesztvo 1951. 2. sz.
11. *Geszi Pál Ottó* : Nyomtatásban eddig még nem jelent dolgozatai, különösen a Magyar Elektrotechnikai Egyesületben tartott »Az egyfázisú földvisszavezetésű rendszer műszaki és gazdasági kérdései« előadásának anyaga. Ez az anyag a közel jövőben a VKB-nak a földvezetéses rendszerről írt összefoglaló munkájában megjelenik.
12. *Kaiser J.* : Földvezetéses rendszerek műszaki kérdései és gazdaságos alkalmazása. Elektrotechnika 1950. ápr.—jún.
13. *Kalantarov—Nejman* : Teoreticeszkije osznovü elektrotehniki. Goszenergoizdat 1951.
14. *Kocsin* : Vektornoe iszcsiszlenie i nacsala tenzornogo iszcsiszlenija. Izdatelsztvo Akademii Nauk SzSzsZR 1951.
15. *Magnus-Oberhettinger* : Formeln und Sätze für die speziellen Funktionen der mathematischen Physik. Springer, Berlin 1948.
16. *Jahnke—Emde* : Tablici funkcii. Goszudarsztvennoe Izdatelsztvo Tehniko-Teoreticeszkij Literaturi, 1949.
17. *Jahnke—Emde* : Funktionentafeln. Teubner, Leipzig, 1938.
18. *V. K. Sibakov* : DPZ rendszerü (dva provoda-zemlja, két vezeték-föld) 35 kV-os erőátviteli vezetékek üzemi tapasztalatai. A közlejtőipari minisztérium energetikai bulletinje, 1949. No. 11.

HOZZÁSZÓLÁSOK :

IGNÁCZ PÁL (V.K.B.)

1) A Villamosítási Kutatási Bizottság vizsgálatai a földvezetési rendszerrel kapcsolatban

Minden komolyabb műszaki alkotásnak — különösen, ha nagy anyagi befektetéssel jár — szüksége van néhány év érési időre.

Igy volt ez a földvezetési rendszerrel is. Meg kellett küzdeni az újtól való idegenkedéssel, az előítéletekkel és a túlzott aggályoskodással. Másfelől viszont nehézségek támadtak abból is, hogy akadtak, akik jószándékkal és az újért való lelkesedéssel vetették be magukat, anélkül azonban, hogy kellő műszaki felkészültségük és mérlegelő képességük lett volna.

A mélyreható és igen szép *elméleti előkészítés* után — amelyről az első és a rendszer kialakításánál alapvető dolgozatot *Geszt* kartárs írta meg és amelynek továbbfejlesztéséről most *dr. Kovács* számolt be — a *végrehajtásban* tagadhatatlanul voltak hibák, amelyek táplálták az ellenkezést és az előítéleteket és sokáig elhomályosították a rendszerrel alkotott képet.

Hiba volt, hogy mi néhányan, akik e kezdeti időben a Nehézipari Minisztériumban dolgoztunk, a gyakorlati végrehajtást nem tartottuk kézben teljes mértékben. Szerencsére ennek következménye túlnyomórészt nem gazdasági, hanem szellemi téren mutatkozott, leginkább abban, hogy sokáig bizonytalanság volt a rendszer értékének megítélésében.

Bizonyára nem volt tehát hiábavaló a *Villamosítási Kutatási Bizottság* ezidei munkája, amelyet a Magyar Tudományos Akadémia megbízásából végzett és amelynek az volt a célja, hogy a homályokat eloszlassa, a rendszert egészében értékelje és alkalmazhatóságának határait megállapítsa.

Sok dolgot sikerült tisztáznunk, mind műszaki-elméleti téren, mind a tapasztalatok és statisztikák alapos feldolgozásával és ma sok dolgot másképp látunk, mint egy-két évvel ezelőtt.

A rendszer például úgy indult útjára, mint a gyéren lakott nagy területen szétszórt kis fogyasztókhöz vezető elágazások gazdaságos megoldása és ma úgy látjuk, hogy különösen a még nem villamosított, nagyobb teljesítményű tápponttal bíró területek ellátására alkalmas.

A mai előadó esetet felhasználjuk arra, hogy beszámoljunk a VKB összefoglaló munkájáról és a gazdasági kiértékelést és a további fejlődést utánam munkatársunk, *Kaiser* kartárs fogja felvázolni.

Az építési és üzemi tapasztalatokról *Vigváry* és *Jedovszky* kartársak beszélnek majd.

A műszaki problémák két főkérdés körül csoportosultak.

Az egyik abból ered, hogy a háromfázisú földvezetési rendszerben két fázis feszültség szintje $\sqrt{3}$ -szor nagyobb, mint a normális háromfázisú rendszerben. Az evvel kapcsolatos vizsgálatokról *dr. Eisler* kartárs ad tájékoztatást.

A másik problémakör a nagyfeszültségű vezetékek kapacitásával függ össze. Az evvel kapcsolatban fellépő ferreorezonancia jelenségekről én magam szeretnék néhány szót szólni.

A kapacitások jelenléte és egyenlőtlensége egyrészt — amint már a főelőadásban említést nyert — egyfázisú megszakítás esetén lehetővé teszi egy többé-kevésbé torz háromfázisú rendszer kialakulását. Ez a fázisforgás megváltozásához és feszültségemelkedésekhez vezethet.

Másrészt, egészen az utolsó hónapokig az volt a téves felfogás, hogy a földvezetéses rendszerben lényegesen nagyobb kapacitív áramok lépnek fel, amelyek a hálózati veszteségeket túlságosan megnövelik és az ú. n. leválasztó (szigetelő) transzformátorokat olyan mértékben túlterhelik, hogy ez a rendszer alkalmazhatóságát erősen korlátozza. Bebizonyosodott, hogy ez nem helytálló. A kapacitív viszonyokat *Pázmány* és *Elek* kartársak vizsgálatai tisztázták, amit a következőkben szintén vázolni fogunk.

2.1 Háromfázisú rendszer kialakulásának lehetősége egyfázisú gerjesztés esetén

Azt a körülményt, hogy kapacitások és fojtótekerccsek, vagy transzformátortekercselések kombinációjából álló kapcsolás egyfázisú táplálása esetén megvan a lehetősége annak, hogy háromfázisú rendszer alakuljon ki úgy, hogy a kapcsolás három kivezetésén háromfázisú áram vehető le — a következőkben kíséreljük megmagyarázni. A jelenségre az irodalomban nem találunk magyarázatot és általános érdekessége miatt talán megérdemli, hogy foglalkozzunk vele.

Energetikailag érthetővé válik a jelenség, ha meggondoljuk, hogy a kondenzátorok alkalmasak arra, hogy a lüktető egyfázisú táplálás energiájának egy részét tárolják és időben eltolva adják vissza, ami lehetővé teszi a három fázis kialakulását.

Az alábbiakban a felvetett kérdésnek azt a némileg leszűkített változatát vizsgáljuk, amelynél kapacitásokból és *háromfázisú* (pl. három oszlopos) *transzformátorból* álló csoporttal van dolgunk. Amint látni fogjuk, a három tekercselés mágneses kapcsolatának lényeges szerepe van.

A későbbiekből kitűnik, hogy a transzformátor a telítési tartományban dolgozik. Ékkor az alapharmonikus mellett felharmonikusok fognak megjelenni, mind a fluxusokban, mind a feszültségekben, mind az áramokban. Ezeknek figyelembevétele nagy nehézséget okozna és elhomályosítaná a fizikai magyarázatot. A következő vizsgálatokban gyakran folyamodunk a vektorábrázolás módszeréhez. Természetesen ezt csak úgy tehetjük meg, ha feltételezzük, hogy a felső harmonikusok e mennyiségeknek effektív értékét, — amelyet általában mérőműszereinkkel ellenőrziünk és amelyet vektorként ábrázolunk — nem változtatják meg nagy mértékben. Valóban, a kísérletek azt mutatják, hogy a közölt gondolatmenetek rendszerint nemcsak minőségi, hanem elég jó közelítéssel mennyiségi eredményeket is adnak.

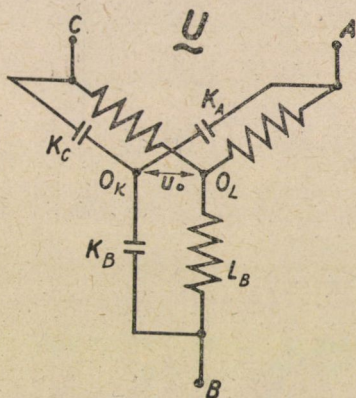
Induljunk ki abból a feltevésből — amire egyébként a tapasztalati és kísérleti tények feljogosítanak — hogy a háromfázisú rendszer tényleg kialakul. Tehát, ha például az 1. ábra szerinti kapcsolásban egy háromfázisú transzformátortekercselés A C kapcsaira egyfázisú gerjesztést adunk, akkor az A B C kivezetéseken olyan feszültség jelenik meg, amelynek vektorai háromszöget alkotnak. Nézzük meg, hogy ez az 1 ábrán feltüntetett kombinációval elérhető-e és milyen feltételek mellett.

Mint hogy a három fázis mágneses kapcsolatban van, bizonyos, hogy a három oszlop mezeje 0 eredőt ad. Feltehető ugyan, hogy a fluxusoknak van zérusrendű összetevője, de ez kénytelen a vasra kívül, a levegőn keresztül záródni, és, mivel az útjába eső mágneses ellenállás nagy, erősen lefojtódik. Másrészt azonban, ha van a vasra háromszögkapcsolású gombolyítás, vagy járomzáró menet, akkor ezek is kiküszöbölik az ilyen összetevőt.

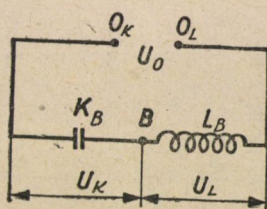
Ezek után feltehetjük a kérdést: mi szükséges ahhoz, hogy háromfázisú rendszer keletkezzék?

A válasz az, hogy a három fluxus nagyságra nézve ne legyen nagyon különböző.

Ha ugyanis a három mezővektor 0 eredőt ad és valamilyen módon létrejön az, hogy a fluxusok abszolút értéke nem nagy mértékben tér el egymástól,



1. ábra



2. ábra

akkor a mezők vektorháromszöge közel egyenlő oldalú lesz és ennek megfelelően többé-kevésbé torz háromfázisú rendszert kapunk.

Az a feltétel, hogy a fluxusok *egyenlők* legyenek, akkor elégül ki, ha mindhárom oszlop a *telítési zónába* kerül. Ekkor ugyanis, a gerjesztés tág határok közötti változása esetén is, a mező közel állandó nagyságú.

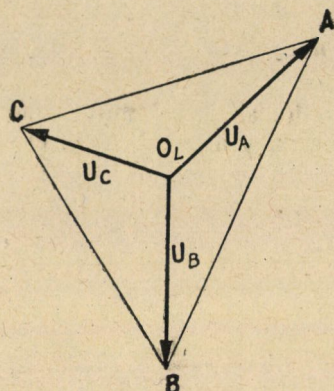
Az a körülmény, hogy a tulajdonképpen gerjesztetlen *B* fázis telítődik, rezonancia — különösképpen ferrezonancia — segítségével teljesül, a következő megfontolás szerint.

Ha egy induktív és egy kapacitív ellenállást a 2. ábra szerint sorbakapcsolunk, akkor az O_L és O_K kapcsokon elegendő egy igen kicsiny u_0 feszültség ahhoz, hogy az u_L , u_K részfeszültségek nagyok legyenek. A vasmasos induktivitás esetén kialakuló különleges viszonyokról még később részletesebben fogunk beszélni.

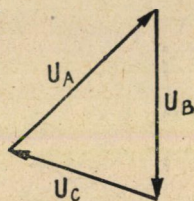
Első megfontolásra úgy látszik, hogy ha az 1. ábra szerinti kapcsolásban egyrészt az *A* és *C* oszlopok és azok gombolyításai, másrészt a K_A és K_C kapacitások pontosan egyenlők, akkor az O_L és O_K pontok az *AC* feszültséget egyformán felezni fogják és így nem adódik közöttük feszültségkülönbség. Azonban

már aránylag kis eltérések, akár a két oszlopban vagy gombolyításaikban, akár a kapacitások nagyságában, elegendő u_0 feszültségkülönbséget adnak az O_L O_K csillagpontok között, hogy rezonancia, és evvel a telítés a B oszlopban, létrejöjjön.

Ha viszont ez az oszlop telített, akkor, amint említettük, annak a feltétele, hogy közel szimmetrikus három fázis keletkezzen az, hogy a másik két oszlop

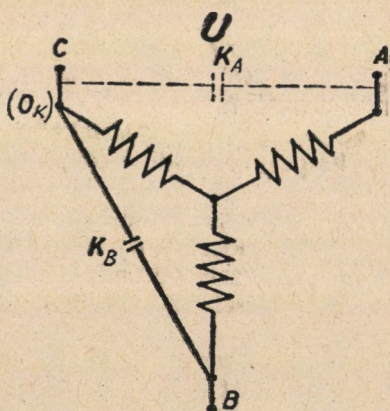


3. 1. ábra

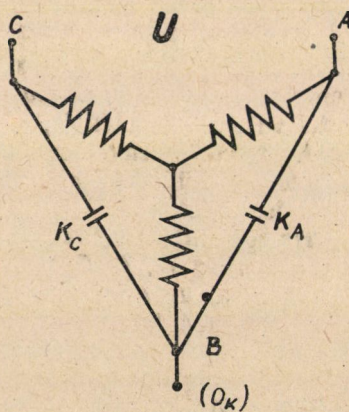


3. 2. ábra

is telített legyen. Ekkor a viszonyok a 3. ábra szerint alakulnak ki. Az A és C oszlopok fluxusainak, illetőleg u_A és u_C fázisfeszültségeinek vektorai kilépnek az AC összekötő egyenes vonalából, végpontjaik az u_B vektor végpontjával együtt egy háromszög csúcsához illeszkednek és vektorösszegezésüknel közel egyenlő-oldalú zárt háromszöget adnak, mivel a telítettség következtében a három vektor nem lényegesen különbözik egymástól. Ez az egyfázisú gerjesztőfeszültség



4. 1. ábra



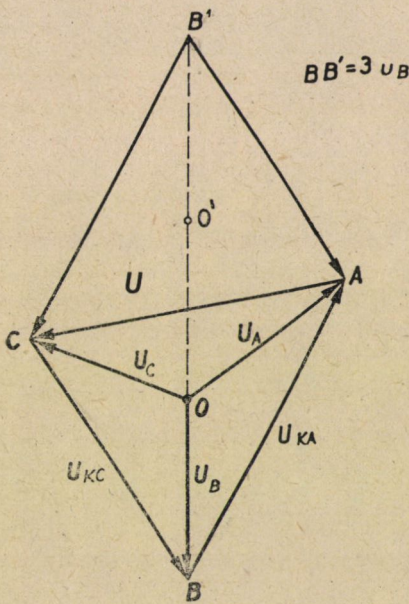
4. 2. ábra

viszonylag kis értékeinél létrejön, ha a kapacitások és induktivitások aránya megfelelő.

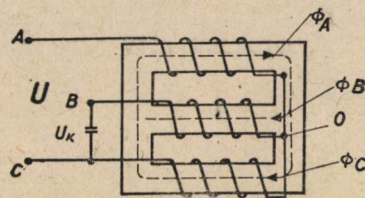
Láttuk, hogy a három fázis kialakulásának egyik lényeges kelléke a (legalább) háromszlopos vasmag. Másik feltétele, a kapacitások aszimmetriája, mert ennek következtében jön létre a feszültség-rezonancia, amely viszont a nem közvetlenül a feszültségre kötött oszlop telítéséhez szükséges.

A kapacitások aszimmetriájának két különleges esetét a 4.1 és 4.2 ábrán láthatjuk.

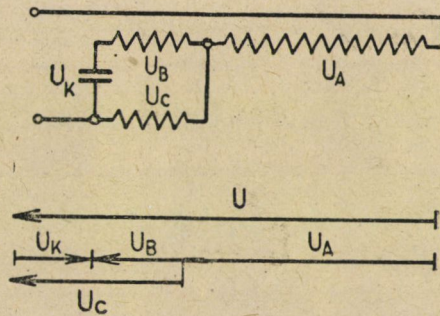
Az első az 1. ábrából úgy jött létre, hogy $K_C = \infty$ értéket választottunk, tehát O_K csillagpont a C gerjesztési ponttal fedésbe került. Minthogy most a K_A



5. ábra



6. ábra



7.1. ábra

kondenzátort közvetlenül a gerjesztőfeszültség kapcsaira kapcsoltuk, a jelenség létrehozásában már nem játszik szerepet és el is hagyható.

A másik eset, amidőn $K_B = \infty$ és így O_K a B pontig vándorolt.

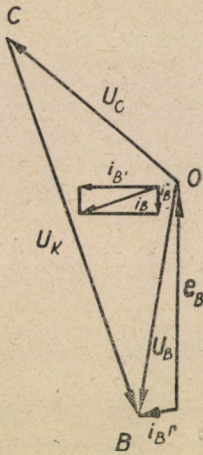
A terheléstől egyelőre eltekintünk.

Akár az első, akár a második kapcsolást vesszük alapul, könnyen bebizonyítható, hogy ha nem hanyagoljuk el a szóródásokat és veszteségeket, de a három oszlop szimmetriáját feltételezzük, akkor nemcsak a három fázis elektromotoros erői adnak zérus eredőt :

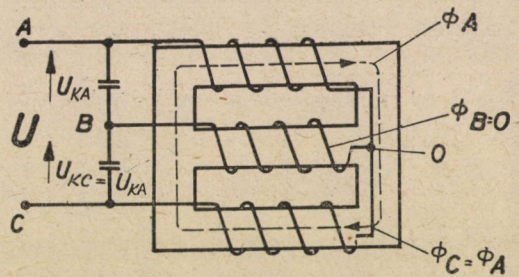
$$\Sigma e = 0$$

feszültség előjelben különbözik e_B -től és így a két impedancia együttes kapcsolási feszültségét úgy kapjuk meg, hogy a mágnesezési görbe és a kondenzátornak megfelelő egyenes közötti függőleges metszékeket felrajzoljuk i_B függvényében.

Így jutunk az u_C feszültség előjeles értékéhez, amelyet a P' pontig teljes, azon túl pedig szaggatott vonallal rajzoltunk fel. Mivel az abszolút értékre van szükségünk, e szaggatott részt tükrözéssel szintén a tengely fölé rajzoljuk. A vékonyan ábrázolt görbe — amelynek P' -nél éles csúcsa van — u_C -nek azt az értékét adja meg, amely akkor jönne létre, ha a veszteségeket elhanyagolnánk. Ez utóbbiak okozzák a P' -nél mutatkozó vastagon kihúzott lekerekedést. Ez a



9. ábra



10. ábra

dolgok érzékeltetése volt, a szabatosabb eljárásakor a kivonásnál, ill. összeadásnál figyelembe kell venni a vektorirányokat.

Mi történik, ha a két soros impedancia u_C kapcsolási feszültségét 0-tól növelni kezdjük?

Először a felvett i_B áram lassan nő Q'' pontig, ha azt elérte, további feszültségnövelésnél — mivel nincsen nagyobb feszültségérték a görbének ezen az ágán — átbillenés következik be és az áram hirtelen M'' pontnak megfelelő értéket vesz fel. Az ezen túlmenő növekedés megint folytonos. Ha ezen az ágon elindulva a feszültséget csökkentjük, akkor ellenkező irányban haladva P'' pontig juthatunk el, ahonnan további csökkentéskor az áram billenéssel hirtelen az N'' pontnak megfelelő értékre változik. A Q'' és P'' közötti szakasz nem stabil, $N'' Q''$ ill. $P'' M''$ pedig kétértelmű.

Visszatérhetünk tehát arra, mint a 7.2 ábrával kapcsolatosan elmondtunk és jobban megvilágíthatjuk a dolgot.

Amíg a $O Q''$ szakaszon járunk, az u_B és u_C vektorok egy egyenesbe esnek. Az átbillenés után (M'' -nél) u_B hirtelen mélyen a telítési zónába kerül a feszültségvektorok kilépnek az egyenesből, és ha u M'' ponton túl olyan értékre nő, amely a C oszlop normális mágnesezési görbéjének telítettebb részén van, a vektorcsillag mindegyik ága közel egyenlő és egymástól kb. 120° fáziseltolású lesz.

A helyes vektorkép megrajzolásánál, amely a 9. ábrán látható, a veszteségeket nem hanyagolhatjuk el.

Különös érdekessége van a 4.2 illetőleg 10. ábra szerinti két kondenzátort tartalmazó kapcsolásnak, amely a ferreorezonanciának eddig ismeretlen változatát mutatja.

Induljunk ki mindjárt abból az általánosabb feltételezésből, hogy háromfázisú rendszer alakul ki.

A B kapocsban összefutó áramokra nézve fennáll, hogy a B gombolyítás árama egyenlő a kondenzátorok áramának különbségével.

$$i_{KA} - i_{KC} = i_B$$

Másrészt a kapacitív áramok arányosak a kondenzátorok u_{AB} és u_{BC} kapcsolófeszültségével (ha a felharmonikusokat elhanyagoljuk). Az előbbiekből láttuk, hogy ezekre nézve

$$u_{BC} - u_{AB} = 3 u_B$$

Ha elhanyagoljuk a veszteségeket és azt a legegyszerűbb esetet vizsgáljuk, amikor a két kapacitív ellenállás értéke egyenlő $\left(\frac{1}{j\omega c}\right)$, akkor egyfelől

$$u_{BC} - u_{AB} = \frac{1}{j\omega c} (i_{KC} - i_{KA})$$

másfelől azonban

$u_B = jXi_B$, ahol X a B oszlop i_B áramerősségnek megfelelő reaktanciája.

Ez összefüggéseket összevetve az előbbiekkal

$$(i_{KA} - i_{KC}) \left(3jX - j\frac{1}{\omega c}\right) = 0$$

Ennek $i_{KA} - i_{KC} = i_B = 0$ és ennélfogva $u_B = 0$ az a kézenfekvő megoldása, amelyre gondolunk, ha megnézzük a 10. ábrát. Elképzelésünk szerint itt a középső oszlop gerjesztetlen, mert a két szélső oszlop tekercselése az U feszültséget ugyanúgy két egyenlő félre osztja, mint a két kondenzátor, ennélfogva O és B pontok potenciálja azonos, a középső tekercs kapcsolófeszültsége, u_B zérus. Így tehát nem alakulna ki háromfázisú rendszer, minden feszültség egyenesbe esnék.

Ennek az egyenletnek azonban van még más megoldása is.

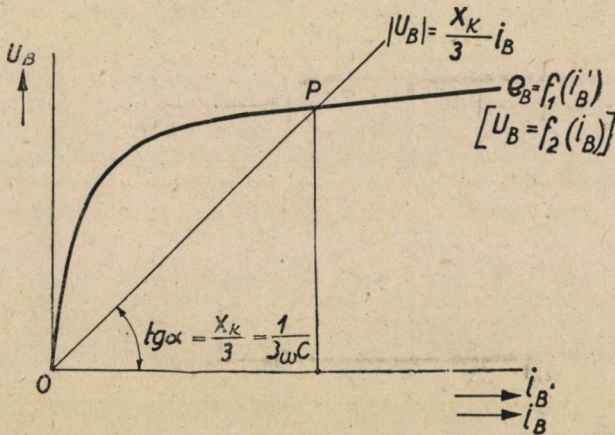
$$3jX - j\frac{1}{\omega c} = 0$$

Hogy lássuk, hogy ez mit jelent, szorozzuk be $\frac{i_B}{3}$ -mal

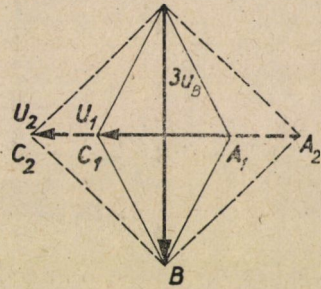
$$-e_B - i_B j\frac{1}{3\omega c} = 0$$

Fenti összefüggést a 11. ábrán tanulmányozhatjuk, amelyen az abszolút értékeket rajzoltuk fel.

A kondenzátoroknak megfelelő $i_B \cdot \frac{1}{3\omega c}$ egyenes és a B oszlop e_B mágnesezési görbéjének 0 pontján kívül — amely megint az $e_B = u_B = 0$, $i_B = 0$ megoldáshoz vezet — a P pont is megoldást szolgáltat. Minthogy csakis a *metszéspontokban* jöhet létre egyensúly az U tápláló feszültség különböző értékeinél, u_B teljesen állandó lesz, u_{AB} és $-u_{BC}$ úgy adódnak össze, hogy eredőül mindig



11. ábra



12. ábra

ezen állandó feszültség háromszorosát szolgáltatassák (l. 12. ábrát). u_B nagyságát a mágnesező görbe és a kapacitások értéke határozza meg

$$X = \frac{1}{3\omega c}$$

összefüggés alapján.

Szimmetrikus három fázis $U = \sqrt{3} u_B$ -nek megfelelő gerjesztésnél keletkeznek. Bár az ohmos ellenállások és a telítődés miatti mellékkörülmények (főleg a felső harmonikusok) a képet némileg megzavarják, a jelenség valójában így is jön létre.

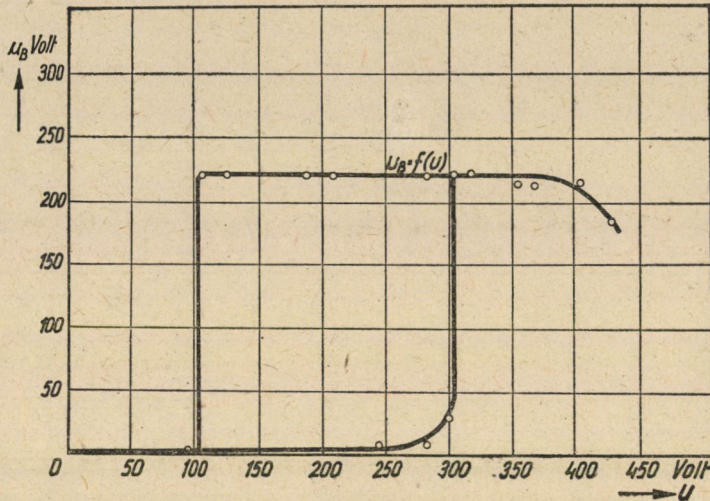
A kísérletek a 13. ábra szerinti lefolyást mutatják.

Bebizonyítható, hogy egyrészt az ellenállások és veszteségek figyelembevételével, másrészt a tárgyalt egyetlen és két egyenlő nagyságú kapacitást tartalmazó kapcsolat minden közbenső esetében — tehát egyenlőtlen kondenzátoroknál — szintén kialakul a háromfázisú rendszer.

Ohmos és induktív terhelések a háromfázisú rendszert eltorzíthatják, vagy ha elegendő nagyságúak, létrejöttét meg is akadályozzák. Az olyan — motoros — induktív terhelés azonban, amelyben forgó mező keletkezik, a már kialakult háromfázisú rendszer szimmetriáját javítja.

Tisztában kell lennünk avval, hogy mindaz amit elmondottunk számos elhanyagolást tartalmaz. Ennek ellenére a kísérleti tények jó egyezésben vannak az ismertetett elmélettel.

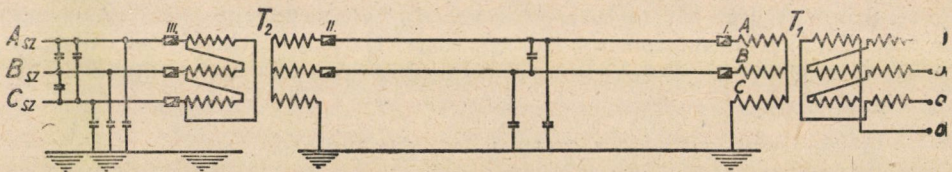
Az itt közölt vizsgálat még távolról sem teljes, a további elméleti és főleg kísérleti feldolgozás folyamatban van.



13. ábra

2.2 A fázisok forgásirányának megváltozása, feszültségemelkedések. A biztosítás kérdései a földvezetéses rendszerben

Miután láttuk, hogy háromfázisú transzformátorok és kapacitások kombinációjában, ferrezonancia útján, egyfázisú gerjesztés mellett is létrejöhet háromfázisú vektorcsillag, nézzük meg most, hogy a földvezetéses rendszer alkal-



14. ábra

mazásánál milyen következményekkel jár ez, milyen hibákat okozhat és milyen rendszabályok szükségesek, hogy e hibáknak elejét vegyük.

A háromfázisú földvezetéses rendszer egy leágazásának képét a 14. ábra mutatja. T_1 a fogyasztói transzformátor, csillag/zegzűg kapcsolású szokott

lenni. T_2 a (kb. 1 : 1 áttételű) szigetelő transzformátor, amely galvanikusan elválasztja a földetlens és a földelt hálózatot. Ez általában háromszög/csillag kapcsolású.

Az ábrán feltüntettük a nagyfeszültségű vezetékek biztosítóit az I., II., III. helyeken. A földelt fázisban nem kívánatos a megszakítás, mert bizonytalan potenciálok kialakulása miatt feszültségemelkedésekhez vezet. Ezért itt nem alkalmazunk biztosítót.

Ezenkívül berajzoltuk mind a földelt, mind pedig a földtől elszigetelt (földhöz képest szimmetrikus) hálózatban a vezetékek kapacitását jellemző kondenzátorokat, vezeték és vezeték, valamint vezeték és a föld között.

A szigetelt hálózat kapacitásai (a vezetékek megfelelő cseréje esetén) egyenlők. A földelt rendszerben 20 kV feszültség alkalmazásánál és a szokásos oszlopképnél a vezetékek egymás közötti kapacitása 30—40%-a a vezetékek földhöz képesti kapacitásának.

Ha sorra vesszük a lehetséges biztosítókivadásokat, akkor azt látjuk, hogy

I. Az egyik biztosító kiégése az I. helyen avval jár, hogy a megfelelő fázisvég teljesen *szabad* marad és a T_1 transzformátor a másik két gombolyításon egyfázisú gerjesztést kap. Ennek következtében kapcsain a normális feszültségeknél kisebb egyfázisú feszültségek jelennek meg.

A közvetlenül a tápláló feszültségre kötött kapacitásoknak nincs különösebb hatása.

II. Evvel szemben a II. helyen való biztosító kiolvadás esetén T_1 nagyfeszültségű tekercselései közül az, amelyiknek fázisában a biztosító kiégett, a vezetékek kapacitásain keresztül továbbra is táplálást kap.

III. Ha a III. helyen olvad ki egy biztosító, akkor a szigetelt hálózat kapacitásai ugyan közvetlenül a tápláló feszültséggel párhuzamosan kötött kondenzátorok és így nincs jelentékeny befolyásuk, a földelt hálózat kapacitásai viszont itt is összekötik a T_2 transzformátor eredetileg gerjesztetlen fázisának végét a gerjesztett végekkel.

Ilyenformán mind a II., mind pedig a III. esetben kialakul a 4.2 ábrának megfelelő kapcsolat és így az előbbieik alapján megvan a lehetősége annak, hogy háromfázisú rendszer keletkezzék.

Ennek feltételeit a vasmagoszlopok mágnesező jelleggörbéje és a kapacitásértékek viszonya határozza meg. Ezekről függ még az is, hogy a kialakuló feszültség háromszög mennyire szimmetrikus.

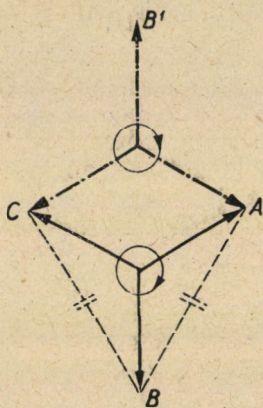
Ennek két gyakorlati következménye van. Egyrészt e háromszög eltorzulása miatt esetleg komoly mértékű feszültségemelkedések lehetségesek. Másrészt a hálózatra kötött rövidrezárt motorok forgásiránya megváltozhat, ha az egyfázisú gerjesztés mellett kialakuló háromfázisú rendszer fázissorrendje más, mint az eredeti háromfázisú rendszeré volt.

Valóban, a földvezetékes rendszer kezdeti idejében, amikor ezt a jelenséget még nem ismertük és a szigetelő transzformátornál is alkalmaztunk biztosítókat, mindkét jelenség többször előfordult. Jelentékeny feszültségemelkedéseket tapasztaltak, amelyek amellet, hogy életveszélyt jelentenek, a felszerelt berendezésekre nézve is károsak lehetnek. Szerencsére komoly hiba nem fordult elő.

Az is megesett, hogy a hálózatra kötött motorok egy biztosító kiolvadása alkalmával ellenkező irányban kezdtek forogni. Ez egyes szerszámgépeknél pl. fűrésznél, köszörűkőnél szintén veszélyessé válhat, más berendezéseknél is megengedhetetlen. Baleset ezáltal sem fordult elő.

Még egy szót kell arról szólnunk, hogyan lehetséges a fázissorrend *megváltozása*. Láttuk, hogy akár egy, akár két kondenzátor köti össze a megszakított fázist a gerjesztett kapcsokkal, a vektorcsillag a 15. ábrában teljes vonallal kihúzott módon alakul ki. Lehetséges azonban, hogy az előzőleg normálisan rákötött háromfázisú rendszer az eredményvonallal jelölt forgásirányú vektorokat adta, tehát az $A-C-B'$ sorrendet. Tegyük fel, hogy a B' fázisban történt a megszakítás. Akkor B' áthelyeződik B -be és a sorrend $A-B-C$ lesz.

Összefoglalva tehát megállapíthatjuk, hogy a fogyasztói transzformátor egyik biztosítójának kiolvadása nem okozhat bajt. Ezzel szemben a szigetelő transzformátor áramkörében egy fázis megszakadása — akár a primer, akár



15. ábra

a szekunder oldalon történik ez — feszültségemelkedéshez és a fázissorrend megváltozásához vezethet és ezért feltétlenül elkerülendő.

Éppen ez okból szabálynak kell tekintenünk, hogy a földvezetések rendszer szigetelő transzformátorait

- a) vagy nem szabad egyáltalán biztosítóval ellátni,
- b) vagy pedig arról kell gondoskodni, hogy biztosítás esetén a megszakadás legalább két fázisban történjék. Ez utóbbi elérhető háromfázisú megszakítókkal, vagy olyan — még eddig ki nem fejlesztett — különleges biztosítókkal, amelyeknél egyfázisú kiegészítés esetén legalább még egy fázis olvadószála is megszakad.

*

Befejezésül szeretnék még rámutatni arra, hogy a vidék villamosítása ma egészen más perspektívában történik, mint régebben.

Akkor »ráfizetéses üzlet« volt, amellyel alig volt érdemes foglalkozni. Ma szocialista építésünknek súlyponti feladata a mezőgazdaság gépesítése és ezen belül a villamos energiával való ellátása.

Ha ezt a feladatot gazdaságosabban tudjuk megoldani, ugyanazon anyagi eszközökkel többet és gyorsabban tudunk építeni — evvel egész fejlődésünk ütemének fokozásához járulunk hozzá.

Ez ad jelentőséget a földvezetések rendszerrel való foglalkozásunknak és a rendszer kimunkálásának.

EISLER JÁNOS (VKB)

A) *Bevezetés*

Miután két fázis feszültsége a földhöz képest $\sqrt{3}$ -szorosa a szigetelt vagy kompenzált nullapontú hálózatban ott uralkodó feszültségnek, a szigetelés kérdése, mint a rendszer gazdaságosságát és üzembiztonságát nagymértékben érintő probléma, mindjárt a rendszer bevezetése előtt felmerült.

Alapvető elvi kérdés itt az, hogy tulajdonképpen milyen feszültségre is kell méretezni a szigeteléseket a normális háromfázisú rendszerekben, milyen igénybevételeket vettek figyelembe a szabványos próbafeszültségek megállapításánál. Erre számszerű adatokat szerezni nem sikerült. A kérdést kísérleti alapon pedig csak hosszú ideig tartó kísérletekkel lehet megnyugtatóan eldönteni. Arról ugyanis, hogy a háromfázisú szigetelt rendszerben a biztonság kielégítő, tapasztalataink vannak, de nem tudjuk, mennyivel nagyobb esetleg a biztonság a feltétlenül szükségesnél. Ennek viszont az az oka, hogy a transzformátorok meghibásodását elsősorban a hőaltali öregedés, valamint a túlfeszültségek és a zárlatok által bevezetett menetzárlatok és nem a szigetelés átütése okozza. Miután gyors döntésre volt szükség, meg kellett kísérelni az üzemszervezési és a szigetelés méretezési módjának analízise alapján megoldani a problémát.

Világos, hogy földzárlat esetén a szigetelt nullapontú hálózatban tartósan fellépnek ugyanazok az igénybevételek, amelyeket a földvezetési rendszer jelent. Erre az lehet az ellenvetés, hogy ez igaz, de azok nem állandóak, csupán a földzárlat fennállásának idejéig tartanak, a földvezetési rendszerben viszont állandó jellegűek.

Az érvelés helytállóságának megvizsgálására fel kell bontani a problémát a szigetelések különböző részeire.

B) *A porcelánszigetelők átívelésének a szabványok értelmében kisebb feszültségnél kell megtörténnie, mint az átütésnek, úgy, hogy csak az átíveléssel foglalkozunk.*

Ha földzárlatnál, amely a szigetelt rendszerben — de a kompenzáltban is — órákig fennállhat, nem ívelnek át, akkor a földvezetési rendszerben sem fognak átívelni, csupán a biztonság lesz kisebb, aminek azonban nem nagy a jelentősége, mert ugyanis elsősorban atmoszférikus eredetű túlfeszültségek alkalmával fognak átívelni.

Ha nem ívelnek át, még kevésbé fognak átütni. Itt az időnek lényeges szerepe nincs, mert a porcelán átütési feszültsége hideg állapotban kevésbé függ az igénybevétel idejétől.

A szigetelőknél tehát a földvezetési rendszer csupán nagyobb igénybevételt, kisebb biztonságot jelent, de a jó szigetelőnek ezt a nagyobb igénybevételt feltétlenül ki kell bírnia, és, amint a tapasztalatok bizonyítják, ki is bírja.

Nagyobb lesz azonban a levezetési veszteség, különösen az esetleg meghibásodott szigetelőknél, amelyeknél a szigetelést ilyenkor az oszlop fája képezi.

C) *A másik lényeges szigetelés, ami egészen más jellegű, a transzformátorok szigetelése.*

Ezen a téren eleinte komoly nehézségek is voltak, igen sok volt az átütés, a meghibásodás.

Vegyük sorra a transzformátor szigetelését és nézzük meg, hol milyen hatással lesz a feszültség $\sqrt{3}$ -szoros felemelése.

1. Az *átvezetők*re ugyanaz áll, amit a szabadvezetéki szigetelőkre mondtunk: kisebb a biztonság az 50~ μ -ú átívelésre, ez azonban nem lényeges, mert átívelés szempontjából a túlfeszültségek a mértékadók, azok pedig a szigetelt rendszerben sem kisebbek, tehát velük szemben a biztonság nem csökken.

2. Az *olajközök* igénybevétele nagyobb lesz, még pedig úgy a nagy és kisméretű tekercsek közötti, mint a nagyfeszültségű tekercselés és a tartály közötti olajközökre nézve. Itt is hasonló a helyzet a porcelánszigetelőkéhez. Az olajközök bizonyos mértékig szintén a túlfeszültségekre vannak méretezve, tehát az, hogy az 50~ μ -ú feszültségekre vonatkozólag lecsökkentjük a biztonságot, a valódi biztonságot ugyan érinti, de nem nagy mértékben. Kétségtelen, hogy az olaj állapotát gondosabban kell figyelni, mert nyilvánvaló, hogy az olaj azt az elszennyeződési fokot, amelynél 50~ μ -ú feszültség mellett átüt, $\sqrt{3}$ -szoros üzemi feszültség esetében hamarabb éri el, gyakrabban kell tisztítani. Persze ismét hangsúlyozni kell, hogy földzárlat esetén a szigetelt hálózatban ugyanez az állapot szintén bekövetkezik.

3. A *csövek*, amelyek helyes méretezés mellett csak az olajnak túlfeszültségeknél bekövetkező átütése esetén vannak igénybevéve, azonos méretek mellett ugyanolyan biztonságot nyújtanak a földvezetéses, mint a szigetelt rendszerben, legalábbis azokon a helyeken, ahol az olajjal dielektromos szempontból sorba vannak kapcsolva.

4. A *menetszigetelést* és az azonos fázishoz tartozó tekercsek egymás közötti szigetelését a földvezetéses rendszerben való alkalmazás nem érinti.

5. Alapos vizsgálatot igényelnek a *végzigetelések*. Ezek általában részben, vagy egészben szerves szigetelőanyagok felhasználásával készülnek, a gyárak újabban alkalmaznak porcelán-elemeket is.

A szerves szigetelőanyagok átütésének mechanizmusa a melegátütés vagy átégés.

Ennek lényege az, hogy a szigetelőanyag belsejében levő gyengébb helyeken több áram folyik át, mint a nagyobb szigetelési ellenállásúakon, és így a két elektródot összekötő, nagyobb áramot vivő csatornák keletkeznek, először anélkül, hogy az anyagban egyéb változás keletkezne, mint az, hogy a csatornák anyaga melegebb lesz a környező anyagréseknél. A melegedés azonban, tekintettel a szigetelőanyagok negatív temperatúrakoefficienciájára, ellenálláscsökkenést, tehát áramnövekedést okoz. Emiatt az eredetileg nagyobb áramot vivő csatornák még nagyobb áramot visznek, a folyamat erősödő jelleget mutat. Ha a keletkező meleg nagyobb, mint az elvezetett, akkor a folyamat mindaddig erősödik, amíg átégés nem következik be.

Miután a folyamat kialakulásához idő kell, világos, hogy a melegátütésre hajlamos anyagok átütési feszültsége az idő függvénye. A kérdés csak az, milyen alakú ez a függvény, hogyan lehet meghatározni. A mérések (VKKL, régebbi, az irodalomból ismert mérések) azt mutatják hogy a végtelen hosszú ideig kibírt feszültség jóval kisebb, mint az egyperces, még pedig annak kb. 50—85%-a. Az egyperces értékről az átütési feszültség az igénybevételi idő növekedésével elég gyorsan lecsökken közel az említett 50%-ra, még pedig néhány óras nagyságrendű idő alatt.

Ha tehát a szigetelés a szigetelt rendszerben az általában ilyen nagyságrendű időnkig fennálló földzárlatokat kibírja, akkor valamivel kisebb biztonsággal, de ki fogja bírni a földvezetéses rendszer igénybevételét is. A szigetelt hálózatok transzformátorainak pedig a földzárlati igénybevételt ki kellett bírniok, hiszen a szabványok nem korlátozták a földzárlatok időtartamát.

Nyilván ilyen megfontolásokra vezethető vissza az, hogy az új Nemzetközi Szabvány azonos elbírálás alá is veszi a földvezetékes és a szigetelt nullapontú rendszert. Meg kell itt azonban jegyezni, hogy a felléphető nagyobb igénybevételek miatt a szabványtervezet a kompenzált vagy földelt nullapontú rendszereket mind a kettővel szemben előnyben részesíti.

Miután nálunk eddig sok szigetelt hálózat volt, a gyáraknak nyilván olyan transzformátorokat kellett szállítani, amelyek végbetétei az ott fellépő igénybevételeket ki is állották. Már pedig akkor a földvezetékes rendszer igénybevételét is ki kell állniok, legalábbis átütés szempontjából. Az átívelési veszély nem nagy, mert a végbetét átvezető jellegű szigetelés, amelynél az átütés mellett az átkúszás a mértékadó.

Nézzük meg ezért közelebbről az átkúszási igénybevételt. A tapasztalat szerint ennek van egy bizonyos küszöbfeszültsége, amelynek túlhaladása esetén az átkúszás megkezdődik, a felületen beégések keletkeznek, amelyek, különösen feszültséglokécek alkalmával, továbbterjednek és végül összekötik az elektródákat, a felületen átütést idéznek elő.

Így tehát az volt a kérdés, milyen messze vagyunk a szokásos szigetelések-nél a küszöbfeszültségtől. Úgy látszik szerencsére eléggé messze voltunk. Ezt bizonyítja az, hogy egy még folyamatban levő kísérletben, amelyet a VKB egy kivitelezett transzformátoron végez, a biztonság kedvéért kissé megerősített, több szegletgyűrűt tartalmazó végbetét tartósan elbírt 56 kV-ot is. Hasonló eredményt adtak a VKKL modellkísérletei is. Szerencsés körülmény az is, hogy a végbetétek porcelánból való részei is vannak, amelyek az átkúszás szempontjából kedvezőbben viselkednek, mint a szerves szigetelőanyagok. Itt megjegyzem, hogy a gyárak az összes 20 kV-os transzformátorokat már ilyen megerősített végbetéttel készítik.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a földvezetékes rendszer ugyan látszólag 33-szor nagyobb igénybevételt jelent a szigeteléseknek, mint a szigetelt hálózat, azonban a valóságban ennél jóval kisebb mértékben nő meg a meghibásodás veszélye, ezért a szokásos szigetelésű, a földzárlatokat kibíró, jól megépített transzformátor elvileg használható a földvezetékes rendszerben is, ugyanarra az üzemi feszültségre. Mégis, mint már említettem, a gyárak kissé megerősítették a végbetéteket, de csak olyan mértékben, hogy az számottevő anyag és költségöbbitet nem jelent. Kétségtelen azonban, hogy a biztonság, ha véleményem szerint csak viszonylag kis mértékben, semmi esetre sem $1/\sqrt{3}$ arányban, de csökken. Végleges választ arra, hogy mennyivel csökken, a tapasztalat fog adni. A legújabb statisztika szerint egyelőre ugyan még százalékosan jóval több transzformátor esik ki a földvezetékes rendszerben, mint a szokásos kompenzált vagy szigeteltben, de a különbség már nem olyan nagy, mint eleinte volt: a két meghibásodási százalék úgy aránylik egymáshoz, mint 1,6 az 1-hez. A földvezetékes rendszerben alkalmazott transzformátorok közül a statisztikában csak azokat vettük figyelembe, amelyeket jelenleg is transzformátor gyártással foglalkozó vállalatok gyártottak. Meg kell itt jegyezni, hogy az országos statisztika egységnek vett meghibásodási százaléka magában foglalja a kábelhálózatokon levő, túlfeszültségek által nem veszélyeztetett transzformátorokat, valamint a túlfeszültséglevezetővel védett transzformátorokat is, míg az atmoszférikus túlfeszültségeknek kivétel nélkül kitétt földvezetékes hálózatokon túlfeszültséglevezetők még jóformán sehol nincsenek felszerelve.

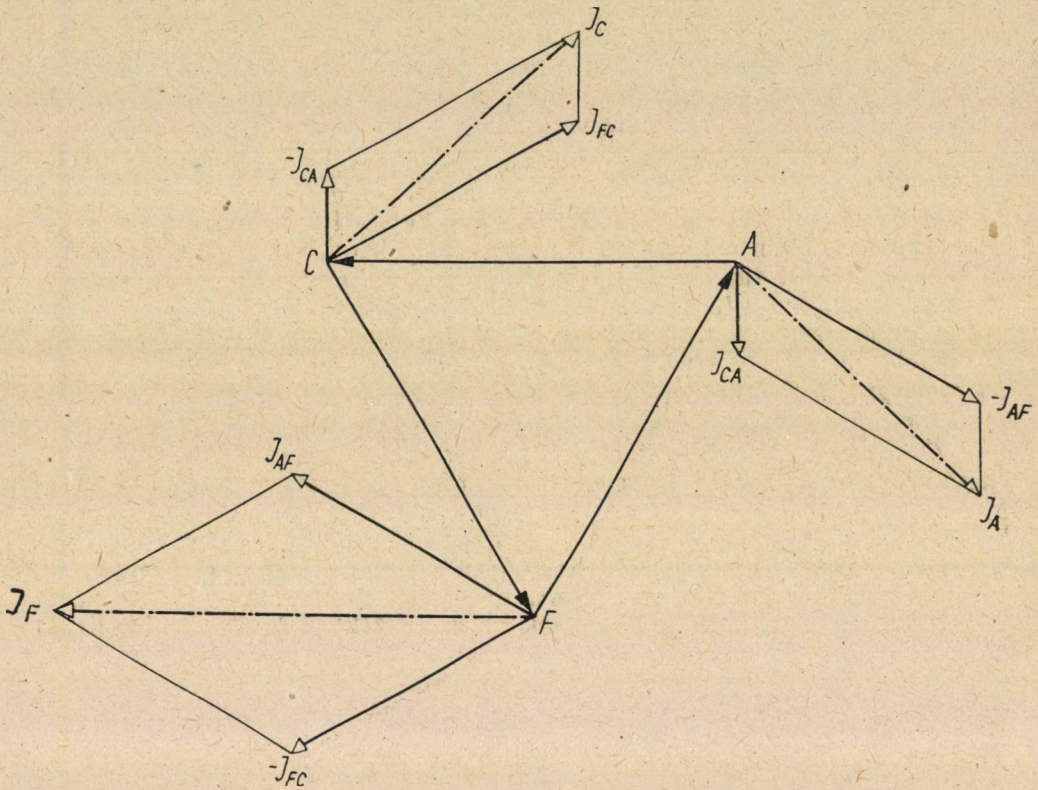
Így értékelve a statisztikát, igazolni látszik az előzőekben kifejtett el-

méleti megfontolásokat: jól megépített, jó szigetelőanyagokat tartalmazó transzformátor jelentéktelenül megerősített szigeteléssel a földvezetési rendszerben fellépő igénybevételeket kibírja.

Ez a következtetés egyébként megegyezik az előadásban idézett szovjet tapasztalatokkal is.

PÁZMÁNDI LÁSZLÓ (VKB)

Régebben az a téves felfogás uralkodott, hogy a földvezetési rendszer kapacitív töltőáramai lényegesen nagyobbak a háromvezetékes rendszer töltő-



1. ábra

áramainál. Meg kellett tehát állapítani, hogy valóban van-e lényeges különbség a kétfajta rendszer töltőáramai között, pontosabban: az a tény, hogy nagyobb töltőáramok adódnak a terhelési áramokhoz, csökkenti-e a transzformátorok terhelhetőségét. Ezen kérdés eldöntésére a Villamosítási Kutatási Bizottságban Elek András kartárral elméleti vizsgálatokat folytattunk, melyeket később szabatos méréssel ellenőriztünk. Vizsgálataink eredménye röviden a következő:

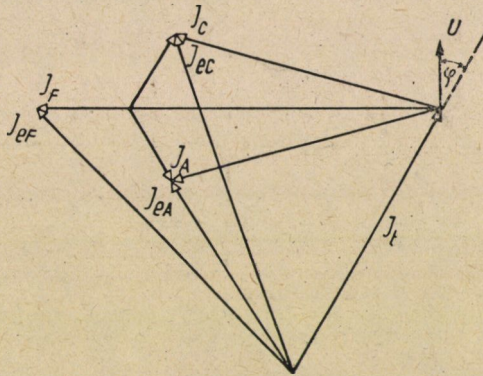
A két fémes vezetőben folyó töltőáram alig nagyobb, mint a három-

vezetékes rendszer töltőárama, a földvezetékes fázisban folyó töltőáram pedig kb. másfélszerese annak.

A jobb érzékeltetés céljából a következőkben számszerű értéket fogok közölni, melyek szokásos elrendezésű, 22 kV feszültségű, 100 km hosszú földvezeték nélküli háromvezetékes rendszerre és földvezetékes rendszerre vonatkoznak.

A háromvezetékes rendszer töltőárama 4,03 A, természetesen mindhárom fázisban szimmetrikus.

A földvezetékes rendszer töltőáramai a következőképpen alakulnak (lásd 1. ábra): a fémes vezetők közötti részkapacitások hatására 1,4 A folyik. Ezen áramerősség vektora természetesen merőleges a két fémes vezeték közötti láncolt feszültség vektorára. Valamelyik fémes vezető és a föld közötti részkapacitáson keresztül 3,7 A folyik, melynek vektora merőleges a fémes vezető és a föld közötti láncolt feszültség vektorára. A vektoriális összegezt elvégezve



2. ábra

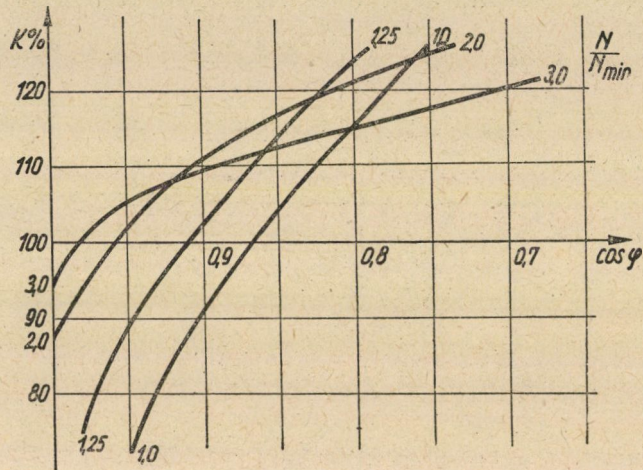
végeredményképpen azt kapjuk, hogy a fémes vezetőkben 4,5 A, a földvezetékes fázisban pedig 6,4 A folyik.

A könnyebb áttekinthetőség kevéért az aszimmetrikus töltőáramokat szimmetrikus összetevőkre bontjuk. A pozitív sorrendű összetevő nagysága 5 A, vektora merőleges a fázisfeszültség vektorára, a negatív sorrendű összetevő nagysága 1,4 A, iránya a földvezetékes fázisban szintén merőleges a fázisfeszültség vektorára.

A transzformátort melegeedésre az egyes fázisokban folyó terhelő áramok és kapacitív áramok vektoriális összege veszi igénybe. Legkönnyebben úgy tekinthetjük át ezen áramerősségek nagyságát, ha a fémes vezetőkben folyó kapacitív és terhelő áramok vektorát 120° -al, illetve 240° -al elforgatjuk (2. sz. ábra). Így a kapacitív áramok pozitív sorrendű összetevői egybeesnek, és ugyancsak egybeesnek a terhelő áramok vektorai (I_t) is — feltéve, hogy a terhelő áramok a három fázisban szimmetrikusak voltak. Ezen ábra alapján már könnyen tudjuk érzékelni az egyes fázisokban folyó eredő áramok nagyságát (a 2. számú ábrán I_e -vel jelölve) és könnyen össze tudjuk hasonlítani őket a háromvezetékes rendszerbeli áramokkal.

A transzformátor melegedését (a vasvesztéssel együtt) okozó rézvesztés az egyes fázisokban folyó áramerősségek négyzetének összegével arányos. Meg kellett tehát vizsgálni, hogy a földvezetétes rendszernél milyen terhelések esetén nagyobb a keletkező rézvesztés, mint a transzformátor megengedhető rézvesztése. Ez természetesen hosszabb számítást igényel, melynek itt csak végeredményét ismertetem.

Élsősorban meghatároztuk azt a minimális transzformátorteljesítményt, amely adott feszültségű és hosszúságú hálózatnál szükséges a töltőáramok fedezésére. Az ilyen teljesítményű transzformátorban tehát már a töltőáramok önmaguk is a megengedhető rézvesztést okozzák. Érzékeltetés céljából a



3. ábra

következő számszerű adatot közlöm: az említett 22 kV-os, 100 km hosszú távvezetéknel a minimális transzformátorteljesítmény 196 kVA. Ez a minimális teljesítmény a feszültség négyzetével arányosan, a távvezeték hosszával pedig egyenes arányban növekszik.

Meg kell jegyezni, hogy a háromvezetékes rendszer alkalmazása esetén ez a minimális teljesítmény 153 kVA. Mindkét teljesítményérték mélyen alatta van a terhelések várható nagysága miatt alkalmazandó transzformátorteljesítménynek.

A terhelhetőség erősen függ a terhelés teljesítménytényezőjétől, mivel induktív terheléseknél a töltőáramok befolyása kedvező. Ezért olyan diagramot készítettünk (lásd 3. sz. ábra), ahol a terhelhetőség a teljesítménytényező függvényében van feltüntetve. Az N_{min} a fentiek szerint meghatározott minimális transzformátorteljesítményt jelenti. A k tényező jelenti a transzformátor terhelhetőségét a névleges teljesítmény százalékában. Az egyes görbék paramétereire az N/N_{min} értékkel egyenlők. Láthatjuk tehát, hogy a fentiek szerint meghatározott minimális teljesítményű transzformátor csak 0,86 teljesítmény-

tényező feletti értékeknél nem terhelhető névleges teljesítményének megfelelő terheléssel. Sőt, azt is láthatjuk, hogy alacsonyabb teljesítménytényező értékeknél a transzformátor a névlegesnél nagyobb terheléssel terhelhető.

Tekintettel arra, hogy a községi transzformátoroknál a teljesítménytényező rendszerint a fenti határérték alatt marad, megállapíthatjuk, hogy a földvezetési rendszer alkalmazása a transzformátorteljesítmény szempontjából általában nem jelent korlátozást.

KAISER JÓZSEF (VKB)

A földvezetési rendszer tárgyalása során eljutottunk odáig, hogy fel kell vetni a kérdést, milyen területre utalják ezen rendszer gyakorlati megvalósítását az elméleti kidolgozás, valamint a kivitel részleteire vonatkozó megfontolások és előírások. Ennek a kérdésnek rövid megvilágítása jelen felszólalás célja.

A gyakorlati megvalósítás szemszögéből nézve nyilvánvaló, hogy a kérdés megítélésénél a gazdaságosság lesz a mértékadó. Természetesen a gazdaságossággal kapcsolatban nemcsak a megvalósítás tényleges befektetési költségeiben jelentkező megtakarítást, hanem az üzemvitel összes körülményeit is gondos mérlegelés tárgyává kell tenni.

A Villamosítási Kutatási Bizottság részletesen megvizsgálta a kérdést. Elvégezte a gazdaságossági számításokat, figyelembevette az üzemi és üzembiztonsági követelményeket, és kidolgozta földvezetési rendszer leggazdaságosabb és egyébként is legcélszerűbb alkalmazási módját. Rövidre fogott hozzászólásom nem teszi lehetővé, hogy a vizsgálatok részleteit ismertessem, ezért csak néhány adatot és szempontot, valamint az elvi eredményeket fogom összefoglalólag közölni.

Leglényegesebb mindezekből az, hogy a földvezetési rendszer leggazdaságosabb és legelőnyösebben olyan kiterjedtebb vidéki, főleg falusi és mezőgazdasági területek villamosításánál alkalmazható, amelyek mindeddig a szabványos, nem földvezetési rendszerben számottevően villamosítva nincsenek. Ezen földvezetési villamosítási rendszerek táppontjául azokat a tápponti hálózati transzformátorállomásokat kell felhasználni, amelyek a földvezetési rendszertől függetlenül is kiépítésre kerülnek, illetve kerülnének.

Ezen elvi álláspont megvilágítására röviden ki kell térnem a magyarországi áramelosztás rendszerére, mely lényegileg a következő elemekből áll. Az energiaelosztás gerince a nagyerművek kooperációját is szolgáló 100/120 kV-os rendszer. Ez a rendszer táplálja azokat a nagyteljesítményű transzformátorállomásokat, amelyekből ma már túlnyomórészt egységesen ágaznak szerte a 35 kV-os közép feszültségű főelosztóvezetékeink, melyek egyrészt közvetlenül látják el a nagyobb fogyasztói egységeket, másrészt azokat a további transzformációkat, melyek a vidéki elosztóhálózat táppontjaiként szolgálnak. A vidéki, falusi és mezőgazdasági villamosítás-jellegű elosztóhálózatunk túlnyomórészt máris 20 kV-os és egységesen erre a 20 kV-os feszültségre kívánunk áttérni. Ezen utóbbi elosztóhálózat természeténél fogva a legkiterjedtebb, a legnagyobb számú fogyasztói transzformátorállomást látja el, az üzembiztonság szempontjából legkevésbé igényes. A számszerűleg kimutatható gazdasági előnyön túlmenően üzemi előnyt jelent az, hogy ez a szerteágazó vidéki hálózat galvanikusan el van választva a koncentrált és nagyfogyasztókat ellátó 35 kV-os hálózattól, ilyképpen az a nagy üzembiztonságot megkövetelő fogyasztói

hálózat kevésbé van kitéve a falusi primerhálózaton keletkező zárlatok, valamint az azt érő túlfeszültségek hatásának. Az energiaelosztásnak leírt rendszere részben már megvalósult, részben kifejlesztés alatt áll. A falusi és mezőgazdasági fogyasztókat közvetlen transzformációval ellátó 20 kV-os hálózat tehát a legalkalmasabb a földvezetékes rendszer megvalósítására, leginkább olyan vidékeken, ahol a falusi és mezőgazdasági villamosítás még fejletlen.

Ilyenek a Dunántúl délnyugati és déli határvidékei, valamint Borsodmegye északkeleti része. A Dunántúl délnyugati részén a jelentősebb helységek, városok ugyan már villamosítva vannak, a falusi és mezőgazdasági villamosítás viszont rendkívül fejletlen. A faluvillamosítás ezeken a területeken a multban a kapitalista gazdasági rendszer következményeként teljesen elhanyagolt volt egyrészt amiatt, mert ezeken a vidékeken nem voltak nagyobb ipartelepek, melyek a villamosítás megindítására alkalmat adta volna, másrészt mert ezen vidékek mezőgazdasági települési struktúrája sem volt alkalmas a kapitalista gazdálkodásban a villamosítás megvalósítására. Az elég nagyszámú, de kis lélekszámú és aránylag szegény falvak nem nyújtottak csábítást a haszonra törő rendszer számára a faluvillamosítás megindításához. Az említett területen adódik a legáltalánosabb lehetőség a földvezetékes rendszer nagyobb mértékű megvalósítására mert az áramelosztás kérdésében nem vagyunk adottságokhoz kötve. Ezen területnek falu- és mezőgazdasági villamosítása kevéssé oldható meg a földvezetékes rendszerrel, e rendszertől függetlenül amúgyis adódó transzformációs helyek felhasználásával.

Ez lényegileg a következőket jelenti: A vidék villamosítása megindítható a centrálisan fekvő nagy transzformátorállomásból kiindulóan, mely nagy transzformátorállomás távvezetéken át 120 kV-os táplálást kap. Az állomás maga kiterjedt 35 kV-os elosztással rendelkezik a koncentrált nagyfogyasztók (ipartelepek, városok) számára, továbbá az ezen állomáson létesített 35/20 kV-os transzformáció az egyik fázis merev földelésével ellátja az innét 4—5 földvezetékes rendszerű 20 kV-os szabadvezetékkel indított falusi, illetőleg mezőgazdasági primer-elosztóhálózatot. A primer-elosztóhálózat ezen gerincvezetékeiről ágaznak le részben közvetlenül a rövid fogyasztói leágazási szakaszok, részben a szárnyvezetékek, melyekről továbbmenőleg egyéb fogyasztói transzformátorállomások vezetékai vannak leágaztatva. A vidék települési struktúráját a következő számszerű adatok világítják meg:

A szóbanforgó terület a jelzett 120/35/20 kV-os tápállomástól számított kb. 30 km körzetre terjed ki, tehát kb. 3000 km² nagyságrendű. A községek száma kereken 300, a falusi lakosság létszáma kb. 240 000. — Egy község átlagos lélekszáma tehát 800 fő. Szintén statisztikai átlagszám, hogy egy házra eső lakosok száma kb. 5,5, az összes házak száma tehát kb. 44 000-re adódik. Ha feltételeznők, hogy a községek egyenletesen egymástól egyforma távolságra fekszenek akkor az adott terület és községszám mellett két község közötti távolság 3,3 km-re adódik. Következik ebből, hogy a kérdéses terület teljes falu és mezőgazdasági villamosítása kereken 1000 km primerhálózat kiépítésével fog járni. A statisztikából nyert számítás ellenőrizhető már kivitelezett faluvillamosítások adataiból, példaképpen a hasonló községi struktúrájú Dél-Baranya-megye mezőgazdasági jellegű villamosítása: kb. 2800 km² területen 220 községet lát el kb. 680 km primervezetéken, egy községre eső átlag-primervezeték-hossz kb. 3,1 km.

A jelzett 44 000 háznak nem mindegyike számítható csatlakozásnak,

mert a statisztikai adatokban a szétszórt települések épületei is bennfoglaltatnak, ezért, ha a csatlakozások számát az összes házak 60%-ában, tehát kerekén 26 000-ben vesszük fel, úgy reális értéket kapunk. Az egyidejűséget is számításba véve, egy csatlakozásra 40 W csúcsertéssel a kérdéses területre kb. 1000 kW csúcsterhelés adódik. Ezekben az adatokban a jellegzetesen mezőgazdasági vidékre telepített kisebb ipari csatlakozások (malmok, téglagyárak, olajprése-stb.) terhelése nincs számításbavéve, pedig számolni kell azzal, hogy ezek fokozatosan szintén hálózati fogyasztókká válnak. A jövő szempontjából továbbá számolni kell a mezőgazdaság mind nagyobb mértékű villamosításával, ahol várhatólag a csúcsterhelést a cséplés fogja szolgáltatni.

A javaslat tehát az, hogy ennek a vidéknek a villamosítását a központi 120/35/20 kV-os transzformátorállomásból kiindulóan földvezetékes rendszerrel kell megoldani. Az egyes fogyasztói egységek kicsinyek lévén, számos esetben a kétvezetékes, tehát háromfázisú gerincvezetékéről egyfázisú, tehát egyvezetékes leágazó szárnyvezetékkel lehet létesíteni.

A villamosítás előrehaladásával, vagyis a hálózat mindnagyobb fejlődésével természetesen az egy tápponttól történő ellátás már nem lesz kielégítő és alkalmas helyen további 35/20 kV-os transzformátorállomásokat kell létesíteni a hálózat táplálására. Ezen transzformátorállomások olyan helyeken lesznek létesítendőek ahol transzformáció egyéb okból amúgyis szükségessé fog válni (pld. városok vagy nagy ipartelepeknél), és ahol az állomások megfelelő felügyelete egyéb szempontból is adottság lesz. Végso fokon várhatólag a teljes vidék mezőgazdasági és faluvillamosítási ellátása 3 transzformátorállomásból fog történni, egyenként kb. 1500 kVA csúcsterheléssel és minden egyes állomásra kapcsolt kb. 300—350 km hosszú sugaras rendszerű primervezetékkel.

A földvezetékes rendszer által ezen teljes villamosításban elérhető megtakarítás 4—4,5 millió forintot fog kitenni. Ezen igen jelentős összeg főképpen alumíniumanyag-, szigetelő- és bizonyos mértékben faanyag-megtakarításban fog jelentkezni.

Ilyen nagymérvű megtakarítás — mely a teljes hálózat építési költségének kb. 20—25%-a — ugyan kizárólag csak ennek az egy említett vidéknek villamosításánál áll fenn, azonban ezzel távolról sem merítjük ki azokat a lehetőségeket amelyek a földvezetékes rendszer alkalmazásában rejlenek.

Tájékoztatásul megemlítem még röviden a földvezetékes rendszer alkalmazásával járó megtakarításra vonatkozó gazdasági számítás alapelemeit, melyek a következők:

20 kV feszültségnél, 25 mm² aludurvezeték felhasználása esetén a km-kénti megtakarítás a háromfázisú rendszerénél a két vezetéknek három vezetékkel szembeni alkalmazása révén kerekén 4500 Ft/km, vagyis a nem földvezetékes rendszerénél előálló vezetéképítési költségnek kb. 22%-a. Az egyfázisú átvitelnél a két vezetékkel szembeni egy vezeték révén pedig a megtakarítás 4000 Ft/km, vagyis kb. 24%. — Ezen vezetéképítésben jelentkező megtakarításokkal szemben állnak azok a többletköltségek melyekről az előadó dr. Kovács kartárs is megemlékezett: elsősorban a földelések. A fogyasztói állomás földeléseit kb. 1800.— Ft átlagegységáron lehet számításbavenni, figyelembevéve azt az egyébként bizonytalan tényezőt is, hogy a földelendő vezeték nem szabad magánál az állomásnál földelni hanem attól legalább egy oszlopköznyire. Számos esetben a földelést a lakott területen kívül kell megvalósítani, esetleg nagyobb távolságban magától a transzformátorállomástól. Még lényegesebb költséget jelent a

leválasztó-állomás földelése, azonban abban az esetben, ha ez kimondottan nagy transzformátorállomás, mint ahogyan az előbbieken megtárgyaltam, úgy különben is olyan földelést kell alkalmazni, melynél az üzemi földelés követelményei további költségtöbbletet nem jelentenek.

Gazdaságossági szempontokból más megítélés alá tartozik az az eset, amikor a földvezetési rendszer alkalmazása miatt kell a leválasztó-transzformátor-állomást létesíteni. Itt a számításnál figyelembevéve a transzformátorvesztéseket is, az mutatkozik meg, hogy 150 kVA teljesítményű leválasztó-állomás esetén 25 km, 200 kVA leválasztó-transzformátorállomási teljesítmény esetén kb. 30 km az a minimális földvezetési hálózati hossz, amely az alsó határa a gazdaságosságnak. Ez a kalkuláció, amelynél az áramdíj önköltsége 30 fillérrel, az ebből eredő évi költség tőkésítése 8% kamatozás mellett van figyelembevéve, annyiban hibás, hogy nem veszi figyelembe az üzemi körülményeket, holott azok nagymértékben kihatnak a gazdaságosságra magára is. Ez a számítás nem vet számot azzal, hogy a közbenső állomás többlet-hibahelyet jelent, hogy a vezeték előálló zárlatból keletkező kioldás egy kezeletlen állomáson esetleg hosszabb áramszünetet is okozhat, vagy pedig, ha ilyen okok kiküszöbölésére kezelőszemélyzetet kell az állomás számára tartanunk, ez ismét igen jelentős állandó jellegű többletköltséget eredményez. Ezért tehát, anélkül, hogy az ebből eredő tényezők számításal, numerikusan számbavétnének, — ami csak bizonyos erőltetett feltételezések alapján volna lehetséges, — ki lehet mondani, hogy külön leválasztó-transzformátorállomás esetén a földvezetési rendszer gazdaságossága lényegesen az előbb említett 25 illetve 30 km vezeték hossz felett kezdődik. Az is bizonyos hogy minél nagyobb ez az állomásra eső vezeték hossz, annál nagyobb mértékű a földvezetési rendszer gazdaságossága.

Szólni kell még a meglévő szigetelt hálózatainknak földvezetési rendszerre történő átépítése kérdéséről. Bár rendkívül csábítóan látszik az, hogy a harmadik vezeték leszerelése révén jelentős vezeték- és szigetelőmennyiség volna a meglévő hálózatból kivehető, azonban ebben a kérdésben ajánlatos a legnagyobb óvatossággal eljárni. Mindenekelőtt hivatkozni kell az előadó dr. Kovács Károly kartárs azon megjegyzésére, hogy főleg a szerves szigetelőanyagok alkalmazása esetén, ami tehát a transzformátorokra vonatkozik, gondosan kell ügyelni a megfelelő minőségre, és arra az előírásra, hogy ez a kérdés — idézem — »beépítés előtt figyelmesebb vizsgálatot és kiválasztást követel«. A meglévő hálózatban levő több ezer felszerelt transzformátornak ezen utólagos kiválasztása és vizsgálata nem látszik gyakorlatilag keresztülvihető feladatnak. Emellett a gazdaságossági eredmény sem közelítheti meg azokat a számszerű értékeket, amelyeket új vezeték építésére vonatkozólag az előbbieken már közöltem. Amennyiben leszereljük a 3. vezetékét, úgy eszik az oszlopokban elérhető megtakarítás. Ugyanakkor felmerülnek a leszerelés költségei, főként munkaerő- és fuvar-költségek. A leszerelt vezetékanyag minőségileg nem egyenértékű az új, gyári szállítású vezetékanyaggal és sok esetben csak ócskaanyagnak lesz minősíthető. A leszerelés csak üzemszüneti állapotban eszközölhető ami az áramszolgáltatás megszakítását tenné szükségessé, tehát gazdasági kárt okozna, végül pedig mint ellentétel jelentkezik az üzemi földelések költsége minden egyes meglévő állomáson, számos helyen pedig az egysárgulag működő biztosítók kicserélése kétsárgulag működő készülékekre, amely kérdésről már az előbbieken szó volt.

A Vigváry kartársam által ismerttetett közbenső megoldás, melynél a harmadik vezeték bizonyos mértékben fenntartandó lenne, csökkenti a hátrá-

nyokat, de csökkenti egyúttal a visszanyerhető anyagmennyiséget is, és nem megnyugtató a transzformátorok üzembiztonságát illetően.

A most ismertetett szempontok természetesen nem általánosíthatók, és figyelembevételre az ismertetésemet, amely nagykiterjedésű új földvezetési hálózat kiépítését javasolja, nyilvánvaló, hogy a földvezetési rendszer nagymértékű alkalmazhatósága népgazdaságunk számára nagy jelentőséggel bír.

GÁNYI ZOLTÁN építésvezető

Hozzászólásomban az elhangzott előadásnak nem annyira teoretikus kérdéseire, mind inkább gyakorlati építési problémáimhoz kívánok néhány adattal szolgálni. A következőkben a Déldunántúli áramszolgáltató V. keszthelyi építésvezetősége által végzett hálózatépítési munka gyakorlati tapasztalatairól fogok beszámolni.

A földvezetési rendszerrel az 1949. március 13-án üzembe helyezett Vác-diósjenői vonalon megtartott első kísérletek alkalmával ismerkedtem meg. Azonnal láttam ennek az ország villamosítása szempontjából egyik legjelentősebb újjáépítésnek rendkívüli horderejét. A kezdeti nehézségek és az elég sok oldalról megnyilvánuló idegenkedés ellenére feltétlenül helyeseltem e rendszer alkalmazását és ezt munkámban igyekeztem is kifejezésre juttatni.

Meg kell mondanom, hogy elég sokan voltak a kartársak közül, akik a jelentkező problémák elől meghátráltak és e rendszer alkalmazásától tartózkodtak. Pedig már az első kísérletek elég meggyőzőek voltak a tekintetben, hogy a megoldás műszakilag helyes, gazdasági előnyeihez pedig nem is fér kétség.

Három éves munkám során eddig kb. 200 km. 20 kV-os földvezetési rendszerű vonalat építettem és ezek 86 község villamosenergia ellátását vannak hivatva szolgálni.

Ezeknek a létesítményeknek üzemzavar statisztikája semmivel sem rosszabb mint az egyéb hasonló célt szolgáló vezetéké. Kétségtelen, hogy főleg kezdetben, mutatkoztak a megszokott üzemviteli gyakorlattól eltérő jelenségek, ezek azonban úgy teoretikus, mint gyakorlati szempontból azóta magyarázatot nyertek és tapasztalataim alapján nyugodtan állíthatom, hogy a földvezetési rendszer üzemviteli szempontból hibátlanul működik. Ezt természetesen úgy érhetjük el, hogy a létesítményt a kialakult gyakorlatnak megfelelően tökéletes műszaki gondossággal építjük, tartózkodunk mindenféle provizóriumtól és kifogástalan minőségű készülékeket alkalmazunk. Ezek azonban nem olyan követelmények, melyek bármely más létesítménytől is elvárhatók ne lennének. Mégis meg kell állapítanom, hogy a földvezetési rendszer gyermekbetegségeinél — melyeken már szerencsésen túl vagyunk — minden egyes hiba az előbb elmondottakban volt megtalálható.

Nézzünk szembe ezzel a kérdéssel. A legtöbb vád a rendszert amiatt érte, hogy a transzformátorok meghibásodása gyakorivá vált. Ezidőtájt abban a szerencsésben helyzet voltam, hogy a kísérleti munkákkal egyidejűleg transzformátorok átvételével és javításával is foglalkoztam. Így alkalmam volt megállapítani, hogy a meghibásodások kivétel nélkül a transzformátorok meg nem felelő szigetelése miatt történtek, de egy esetben sem volt oka a földvezetési rendszer.

Megjegyzem, hogy hiba lehet még a transzformátor-olajak átütési szilárdsága körül is, bár erről megbizonyosodni nem volt alkalmam.

A transzformátorok szigetelésére vonatkozóan egyébként — az előbbieket alátámasztására — megemlítem még, hogy abban az időben a meghibásodások száma a normális, háromvezetős rendszerben is viszonylag nagy volt.

A minisztérium a meghibásodások megelőzése céljából a KN 25-ös típusú, vagyis 25 kV üzemszültségre szigetelt transzformátorok gyártását és alkalmazását elrendelte. Véleményem szerint ez túlzott óvatosság, mert egy normálisan szigetelt transzformátornak el kell viselnie üzemszerűen a fennálló $\sqrt{3}$ -szoros feszültséget, hiszen az átvételi próbafeszültség ennek a többszöröse. Erre legkitűnőbb bizonyíték az, hogy az 1949. tavaszán elsőnek üzembe helyezett vonalon, mely egy régi vonal átépítésével történt és amelyen 10—15 év előtti, a jelenleginél lényegesen jobb anyaggal szigetelt transzformátorok voltak felszerelve, 3 éves üzem alatt egy transzformátor sem hibásodott meg.

E fokozott feszültség igénybevétel kiküszöbölése céljából az ÁVESZ központ a múlt évben elrendelte a transzformátorok nagyfeszültségű gombolyításának csillagból deltába való átkötését. Ennek eredménye az lett, hogy a transzformátorok feszültségigénybevétele a fázisfeszültségre mérséklődött, azonban vele járt az is, hogy az energiátovábbítás is ezen az alacsonyabb feszültségen történik, minek eredménye nagyobb feszültségesés, végül is veszteségnövekedés.

Némi előnye, hogy csökkennek a kapacitív töltőáramok és ezeknek a meddő áramoknak a csökkenése következtében a leválasztó transzformátorok belső vesztesége is csökken. Ez azonban nem mindig előny, mert pl. egy ipari centrumból kiinduló vonalnak — amely rossz $\cos \varphi$ -vel dolgozó hálózathoz csatlakozik — a kapacitív töltő árama jelentős fázisjavítást eredményezhet. Hátránya végül a deltába kapcsolt rendszernek az is, hogy emiatt a földvezetési rendszerű létesítmények részére külön üzemviteli tartalékot kell biztosítani deltába kötött transzformátorokból. De ismétlem, egy jól szigetelt transzformátornak elvileg a $\sqrt{3}$ -szoros feszültséget üzemszerűen el kellene bírnia. A gyenge szigetelésű transzformátoron pedig a deltába kapcsolás sem segít, mert főleg zivataroknál fellépő túlfeszültségek esetén így is bekövetkezik a meghibásodás. Ennek részben az is az oka, hogy hálózataink a levezetők beszerzési nehézségei miatt nagymértékben nélkülözik a túlfeszültségvédelmet.

Mindezeket összefoglalva a földvezetési rendszer eddigi építési és üzemviteli tapasztalatai azt mutatják, hogy műszaki szempontból teljesen kifogástalan és a működési területemen előforduló falu- és mezőgazdasági villamosítási gyakorlatban tökéletesen helyettesíti a háromvezetős rendszert. A megawatt nagyságrendű terhelések földvezetési problémáiról nem tudok nyilatkozni, de ez már nem is tartozik a 20 kV-os elosztáshoz, amely jelenleg a földvezetési rendszer fő alkalmazási területe. A nagyipari méretű terhelések ellátása teljesen különálló kérdés, mely úgyszólván az országos hálózathoz csatlakozó 35 kV-os táplálással oldandó meg.

Éppen ezért véleményem szerint a falu és mezőgazdasági villamosítás és a kisebb méretű ipari fogyasztók — gondolok itt a malmokra és téglagyárakra — ellátásának céljára teljes nyugalommal tervezhetünk 20 kV-os földvezetési elosztórendszert és teljesen felesleges áttól tartani, hogy a későbbi nagyobb ipari terhelések jelentkezése esetén vagy a leválasztó állomás, vagy a létesítmény egyéb méretei szűknek bizonyulnának, hiszen ebben az esetben a nagyobb energia igény kielégítése úgyszólván a felsőbbrendű 35 kV-os elosztórendszerből történik. Így tehát a már megépített 20 kV-os rendszer üzemét ez semmilyen befolyásolná, de azt feleslegessé sem tenné. A 20 kV-os földvezetési rend-

szerek tervezése tehát független kérdésként kezelendő, a 35 kV-os hálózat tervezéssel mindössze annyiban tartom célszerűnek összehangolni, hogy a leválasztással lehetőleg 35/20 kV-os letranszformálás essék egybe.

Mi a zalai villamosítások során csupán a földvezetékes rendszerrel kiépített 20-kV-os vezetéseken az egyszerű egységár különbözettel 880 000 Ft-ot takarítottunk meg. A leválasztó állomások összköltsége 150 000 Ft, tehát végeredményben 730 000 Ft-al került kevesebbe népgazdaságunknak e községek villamosítása, mintha normális 3 fázisú rendszerrel építettük volna. Ez az összeg újabb 6—7 község villamosítását teszi lehetővé és ami a leglényegesebb, a megtakarítás zöme villamosiparunk szűk keresztmetszetét képező aludur sodronyban jelentkezik. A 35/20 kV-os letranszformálással egybeeső leválasztással ez a megtakarítás még fokozható lett volna.

A zalai térségben épített leválasztó állomások mind 20 kV-os gerincvezetékhez csatlakoznak, ez utóbbiak pedig már az építésük utáni első évben elvesztették jelentőségüket, mert csaknem párhuzamosan velük kiépült a 35 kV-os vezeték, amely sokkal célszerűbben és jobb feszültségtartási viszonyok között tenné lehetővé az állomások táplálását. Éberebben kellene vigyázni arra, hogy ilyen természetű hibák ne rontsák le a tervgazdálkodás előnyeit.

A rentabilitás-számítások eredményeképpen megállapíthatjuk, hogy: 1., a földvezetékes rendszert jelenlegi fejlettségi fokán legalkalmasabb a falu- és mezőgazdaság villamosítás-energia igényeinek ellátását szolgáló 20 kV-os elosztó rendszerek kiépítésére, 2., legcélszerűbb a leválasztást a 35/20 kV-os letranszformálással egybekapcsolni, 3., az egy állomásra kapcsolt vezeték legracionálisabb hossza 40—100 km. Ennél kisebb vonalhossz esetén az elért megtakarítás nem haladja meg a leválasztás költségeit.

Ötéves népgazdasági tervünkben 1512 község villamosítása szerepel. Ennek az előirányzatnak az elmúlt két évben aránylag kis részét hajtottuk csak végre. Az előttünk álló tervfeladatok még roppant nagyok, végrehajtásukra éppen a földvezetékes rendszer szélesebbkörű alkalmazása nyújtja az egyetlen lehetőséget, amikor is kevesebb anyaggal többet lehet villamosítani. A földvezetékes rendszer által adott előnyök kihasználása a racionális méretek miatt a nagyobb területi villamosításban fog a maga teljes jelentőségében megmutatkozni.

JEDOVSKY JENŐ (VKB)

Közel 3 éve, hogy Magyarországon a nagyfeszültségű földvezetékes villamos-hálózati rendszer alkalmazására az első kísérletek történtek. E kísérletek sikerrel jártak és ezt követően az ország különböző részein számos nagyfeszültségű földvezetékes hálózat épült. A gyakorlati tapasztalatok és e hálózatokkal kapcsolatban elvégzett vizsgálatok eredményeként az a vélemény alakult ki, hogy a földvezetékes rendszert olyan területeken célszerű alkalmazni, ahol a fajlagos teljesítményszükséglet aránylag kicsi és az üzemfolytonosság biztosítása szempontjából nem merülnek fel túlzott igények. Hazánk villamosítandó mezőgazdasági vidékei általában ilyen területek és ez a körülmény figyelemreméltó a földvezetékes rendszer jelentőségének megítélése szempontjából.

A megoldásra váró faluvillamosítási feladatok méreteiről helyes képet kapunk, ha figyelembe vesszük, hogy 1941. évben Magyarország 3400 közsületéből mindössze 1814 volt villamosítva. A 3 éves terv során 455 község, 25 külterületi lakott hely, 84 gépállomás és az állami birtokok 29 üzemegysége kapott villamos-

energiát, azonban a még villamosításra váró közületek száma így is jelentős maradt, nem beszélve az újonnan létesülő mezőgazdasági termelő szövetkezeti csoportokról, állami birtokokról és gépállomásokról. Az első 5 éves terv célkitűzései között szerepel a villamosenergia termelésének megnövelése az 1949. évi 2,2 milliárd kWó-ról, 6,05 milliárd kWó-ra. E hatalmas fejlődés keretében az összes magyarországi közületek villamosenergia-ellátására lehetőség nyílik. A villamosítás miatt jelentős hosszúságú nagyfeszültségű vezetékhalózat építésére lesz szükség, melynek feszültségét a kialakult gyakorlat alapján 21 kV-ra célszerű megválasztani. E hatalmas hálózatépítési program szempontjából nem hagyható figyelmen kívül, hogy a földvezetéses rendszer alkalmazása számottevő mennyiségű vezetékhalózeti anyag megtakarítására nyújt lehetőséget.

A tapasztalatok szerint a földvezetéses hálózatot háromfázisú fővezetékekkel célszerű megépíteni, melyekről leágazó szárnyvezetékekhez csatlakoznak a fogyasztói transzformátorok. 5 kVA teljesítményig egyfázisú, azon felül háromfázisú transzformátorokat alkalmaznak.

Magyarországon az első nagyfeszültségű földvezetéses távvezeték 1948. decemberében épült és jelenleg is üzemben van. A távvezeték egyfázisú, üzemfeszültsége 21 kV, hossza 8,9 km. A földvezetéses rendszerű vezeték szigetelt nullapontú 21 kV háromfázisú vezetékről ágazik le. Létesítéskor egyfázisú leválasztó transzformátor nem állott rendelkezésre, ezért két darab 25 kVA-es háromfázisú 21 000/400/231 V-os olajtranszformátort alkalmaztak, melyek a kiefeszültségű oldalon egymással össze voltak kapcsolva. A földvezetéses szakasz táplálása egyfázisról történt. A 25 kVA-es fogyasztói transzformátor szintén háromfázisú volt, de csak egyfázisról volt táplálva. Az üzemi földelés céljára mind a leválasztó transzformátornál, mind a fogyasztói transzformátornál kb. 500 fm-nyi távolságban 1 m²-es felületű horganyzott vaslemez van beásva kb. 6 m²-es bekerített terület közepén. A vezetéket 1949. januárjában helyezték üzembe. A hálózat üzembiztonsága kielégítőnek bizonyult.

Az első háromfázisú nagyfeszültségű földvezetéses hálózati kísérletek 1949. év márciusában történtek. E célra meglévő háromvezetékes, 21 kV-os hálózatot használtak fel, oly módon, hogy az egyik vezetéket kikapcsolták, a vezeték azonban az oszlopokon maradt. Az üzemi földelések elkészítése után 1949. évi március 12-én kapcsolták át a hálózatot és az áramszolgáltatás a földvezetéses rendszerben március 13-án indult meg. A hálózat vezetékai túlnyomó részben 16 mm²-es réz sodronyok. Üzemfeszültsége 21 kV, hossza 31,4 km, túlfeszültségvédelme nincs, szigetelői HD 20-as típusúak, hajlítót vastartókkal, oszlopai telített fenyőfa oszlopok. Ennél a hálózatnál sem állott egyszerűes leválasztó-transzformátor rendelkezésre, ezért e célra egy 100 kVA-es 5,5/0,4 kV-os transzformátort a kiefeszültségű oldalon összekapcsoltak egy 100 kVA-es 21/0,4 kV-os transzformátorral. Kezdetben a leválasztó transzformátornál a bejövő és a kimenő nagyfeszültségű oldalon a földvezetéses fázis kivételével mindegyik fázisban olvadó biztosító volt felszerelve. A hálózaton bekapcsolt fogyasztói transzformátorok száma 8 volt, ezek közül 7 háromfázisú és 1 egyfázisú, összesen 183 kVA teljesítménnyel, a nagyfeszültségű oldalon mindegyik légvezetési fázisban, a kiefeszültségű oldalon pedig mind a három fázisban olvadó biztosítóval. Üzemi földelésül a leválasztó transzformátor közelében 2 m² felületű horganyzott vaslemez volt leásva, 6 m mélyen 14 m átmérőjű elkerített terület közepén. A földelés szétterjedési ellenállása 4,1 Ohm volt. A fogyasztói transzformátorok közelében a helyi viszonyoktól függően 1 m², illetve 2 m² felületű horganyzott vaslemezeket helyeztek el 1,5—4 m

mélységben, ugyancsak 14 m átmérőjű bekerített területek közepén. A földelések szétterjedési ellenállása 3,5 Ohmtól 9,6 Ohm-ig terjedt. Az első üzemidőben, valamint a kísérletek során tapasztalták, hogy a leválasztó transzformátor egyes biztosítóinak kiolvadása esetén az üzemi feszültség káros mértékben megemelkedik és a forgómező iránya megváltozik. Ennek kiküszöbölése céljából a leválasztó iker-transzformátoroknál az olvadóbiztosítók helyett háromsarkú megszakítót kellett beépíteni. Mivel azonban megfelelő nagyfeszültségű szabadteri megszakító nem állott rendelkezésre, háromsarkú önműködő túláramvédő kapcsolót iktattak be a két transzformátor kifestültségű összekötő vezetékébe, mely zárlat esetén a kimenő transzformátort a vezetékkel együtt lekapcsolta.

Az első háromfázisú földvezetékes hálózat üzembehelyezése után az ország különböző részeiben épültek földvezetékes nagyfeszültségű hálózatok. Folyó év közepén 17 földvezetékes hálózat volt üzemben, összesen 540 km nyomvonalhosszal és 1,8 MVA transzformátor-teljesítménnyel. Ezek közül 5 hálózat háromfázisú volt, 2 pedig egyfázisú. Az eredetileg földvezetékesnek épült, vagy azaz átalakított hálózatok száma 28 volt. Ezek közül egyfázisú szigetelt rendszerre 3-at alakítottak át, és háromvezetékes szigetelt rendszerre 8 hálózatot. Ez utóbbiak nyomvonala összesen 180 km, a bekapcsolt transzformátorok teljesítménye pedig 0,7 MVA. Az átalakításra részben azért kerül sor, mert egyes földvezetékes hálózatok létesítése eredetileg helytelenül történt, ami az üzemvitelnél okozott nehézségeket, másrészt pedig az egyes hálózatokon előfordult gyakori üzemzavarok miatt.

Kezdetben nem voltak megfelelő üzemi tapasztalatok a földvezetékes rendszerrel kapcsolatban és az egységes irányelvek sem alakultak még ki az ilyen rendszerű vezeték építésére. Ennek következtében a földvezetékes hálózatok telepítésénél és létesítésénél hibák történtek. A leválasztó transzformátorállomást lakott helytől nagy távolságban helyezték el. Biztosító-olvasás, vagy egyéb hiba miatt előfordult üzemzavar elhárítása az állomás távolsága miatt hosszú időt vett igénybe. A leválasztó transzformátorállomásoknál kezdetben használt olvadóbiztosítók is sok zavar forrását képezték. Az ikertranszformátorok kifestültségű vezetékében felszerelt kettősfém hőkioldású és mágneses gyorskioldású, valamint nullafeszültség kioldással ellátott védőkapcsolók sem bizonyultak megfelelőnek, mert különböző szerkezeti hibák miatt előfordult, hogy a kapcsolók a névleges terhelési áramnál gyakran, egyes helyeken naponta többször is, kikapcsoltak. A nullafeszültségkioldás szintén sok zavart okozott. A szigetelő transzformátorok kiválasztásánál is történtek hibák és így helyenként nem megfelelő minőségű és teljesítményű transzformátorokat építettek be. A fogyasztói transzformátorok közül sok meghibásodott. Számos transzformátor már az első bekapcsolás alkalmával átütött.

A földvezetékes hálózatokon az egy évre átszámított transzformátor-sérülési szám az összes gyártmányokat figyelembevéve, 2,5-szerese volt az országos átlagnak, míg azokra a transzformátorokra, melyeket ma is transzformátorgyártással foglalkozó gyárak készítettek 1,66-szorosa. Rá kell azonban mutatnom arra, hogy az országos átlagot a kábelhálózati transzformátorok kedvező sérülési %-a javítja, továbbá arra is, hogy a földvezetékes hálózatokon túlfeszültségvédelmet sehol sem alkalmaztak.

Érdeklődésre tarthat számot annak a véleménykutatásnak az eredménye, melyet a Villamosítási Kutatási Bizottság végzett a földvezetékes hálózatokkal rendelkező magyarországi 15 üzletgazgatóság körében. A feltett kérdések a rendszer üzembiztonságára, a túlfeszültség iránti érzékenységre, a transzfor-

mátorok meghibásodásának okára, a rendszer fejlesztésére és e rendszernek fáziszárlatnak minősülő földzárlatokra vonatkoztak. A földvezetési hálózatok üzembiztonságát kielégítőnek tartja 10 üzletigazgatóság, nem tartja kielégítőnek 4, és nem nyilatkozott 1. A légköri eredetű túlfeszültség szempontjából nem lát nagyobb érzékenységet a földvezetési rendszernek 6 üzletigazgatóság. A földvezetési rendszert a szigetelt rendszernek érzékenyebbnek tartja 6 és nem nyilatkozott 3. A túlfeszültségérzékenységre az egyes igazgatóságok az üzemzavarok számából következtettek. Többen indokolás nélkül foglaltak állást, de voltak olyan üzletigazgatóságok is, akiknek az a véleménye, hogy a földvezetési rendszer kevésbé érzékenynek bizonyult, mint a szigetelt rendszer. A transzformátorok meghibásodásának oka 7 üzletigazgatóság szerint ugyanaz, mint a szigetelt rendszernek, tehát főleg villámcsapás, illetőleg légköri eredetű túlfeszültség. 5 üzletigazgatóság szerint a láncolt feszültség, mely a transzformátoroknak a fém vezetékhez csatlakozó tekercsvégei és a vastest között uralkodik, számottevő ebből a szempontból. 3 igazgatóság nem foglalt állást. Abban, hogy a földvezetési rendszernek minden zárlat fáziszárlatot okoz, 4 igazgatóság nem lát veszélyt és nem tartja e miatt kevésbé üzembiztosnak a földvezetési rendszert a szigetelt rendszernek. 9 üzletigazgatóság nem tudott nyilatkozni és csak 1 állította azt, hogy az üzemzavarok száma emiatt megnövekedett. A vélemények erősen megoszlanak és meglehetősen egyéniek. Azok az igazgatóságok nyilatkoztak elutasítólag, amelyeknek rossz tapasztalataik voltak, jöhetnek azok a földvezetési rendszerrel össze nem függő körülményekből fakadtak, amelynek pl. a meg nem felelő minőségű túláramvédő-kapcsoló gyakori lekapcsolásai. A tüzetes helyszíni vizsgálat révén általában megállapítható volt, hogy a hibák részint szerelési hiányosságokból, részint pedig meg nem felelő készülékekből, illetőleg anyagokból, tovább a rendszer helytelen alkalmazásából származtak.

A gyakorlati tapasztalatok és a beható vizsgálatok alapján kialakultak azok az irányelvek, melyek a földvezetési hálózatok létesítésénél betartandók és kialakult a földvezetési rendszeri cél szerű alkalmazási területére vonatkozó vélemény, melyet felszólalásom elején már ismertettem.

VIGVÁRY LÁSZLÓ (VKB)

Az elhangzott bevezető előadás teljesen megvilágította a földvezetési rendszer elméletét és kimutatta, hogy a földnek mint vezetőnek a háromfázisú energiaátvitelben való alkalmazása nemcsak elméletileg lehetséges, hanem gyakorlatilag meg is valósult. Az értékes hozzászólások megvilágították mindazokat a különleges szempontokat, amelyek a rendszer kikísérletezése közben és gyakorlati megvalósítása alkalmával felmerültek és megjelölték azokat a módszereket, amelyekkel a nehézségek leküzdhetők. Az elhangzottakból kétségtelenül megállapítható, hogy a rendszer kísérleti állapotból a szélesebbkörű megvalósítás állapotába jutott.

Bár az előadottakból ki lehet értékelni azokat a gyakorlati követelményeket, amelyeket a földvezetési háromfázisú rendszer tervezésénél, megépítésénél, üzemben tartásánál nem szabad szem előtt téveszteni, mégis úgy érzem, helyes lesz, ha hozzászólásomban megkísérlem ezeket a követelményeket mint irányelveket röviden összefoglalni.

I. Alkalmazási terület

A földvezetések rendszerét elsősorban olyan kis teljesítményű területen ajánlatos alkalmazni, ahol az energiaszolgáltatás folytonosságával szemben nem támasztanak túlzottan magas követelményeket. Tehát elsősorban mezőgazdasági területen. Ha a feszültségváltató transzformátort egyszersmind rendszerváltató transzformátorul is ki lehet használni (például 35/20 kV-os, 5/20 kV-os, stb. transzformáció), a rendszer akár már néhány km hálózathossz esetén is gazdaságos. Ha a transzformáció feszültségváltóztatásra nem, hanem csak az egy fázisban földelt és a szigetelt, ill. csillagpontjában közvetlenül, vagy közvetve földelt rendszer elválasztására szolgál (például 20/20, 20/20/ $\sqrt{3}$ kV transzformáció), — akkor — az üzemzavarok gyakoriságát is számításba véve — a rendszer alkalmazása csak abban az esetben indokolt, ha egy-egy ilyen transzformatórállomásra legalább 40 km földvezetések hálózatot lehet kapcsolni. Körülbelül 30 km hálózathossz esetén még csak a gazdasági egyensúly áll fenn.

A 10—20 kV feszültségű vezetékkel nagyjában behálózott területen egy-egy állomásra ezt a vezetékhszt alig lehet összehozni, így ilyen alapon a rendszer csak nem villamosított, nagyobb területeken lenne alkalmazható.

A már részben villamosított területen is van azonban gazdaságos alkalmazási lehetőség. Pld. szétválasztjuk a kis teljesítményigényű és üzemzavarokkal szemben nem túlzottan érzékeny hálózatrészt a kényesebb üzemek hálózatától és utóbbit külön transzformátorról szigetelt nullapontuként tartjuk üzemben, a kevésbbé igényes hálózatot pedig földvezetéssé alakítjuk, olyan módon, hogy az addig szigetelt vezeték egyik fázisát bármely tetszőleges ponton üzemileg földeljük s a bővítéseket már csak két fémvezetővel eszközöljük. Ilyen módon a háromvezetős hálózatrészt állandó földzárlattal tartjuk ugyan üzemben, azonban a további, nem nagyigényű villamosítás igen gazdaságosan végezhető.

Ilyen esetben az üzemileg földelt vezetékbe nem szabad kioldó relét beépíteni, különben a szelektivitás nem lenne biztosítva. Az így átalakított hálózatnál természetesen földzárlatvédelemre nincs szükség.

Ez a módszer még nagy teljesítmények esetén is csak olcsó üzemi földelést kíván, mivel az üzemi földelést csak a vidéki kis teljesítmények állandó, kis-értékű üzemi árama terheli.

II. Általános követelmények

A földvezetések hálózatot szigetelt nullapontúval csak mágnesesen szabad összekapcsolni. Ha azonban a szigetelt nullapontú hálózat egyik fázisát üzemileg földeljük, ha tehát a szigetelt nullapontú hálózatot földzárlattal tartjuk üzemben, a két rendszer fémesen is összekapcsolható, feltéve, hogy az összekapcsolhatóság egyéb feltételei — azonos fázison földelés, azonos feszültség — is ki vannak elégítve.

A földvezetések hálózatot tápláló transzformátor kVA-ben kifejezett teljesítőképessége az üres hálózat kapacitív árama miatt 20 kV feszültség-nél nem lehet kisebb, mint $2.5 \times L$, ahol L a vezetékhsz km-ben. Ettől eltérő feszültségnél a legkisebb teljesítőképesség a viszonylagos feszültség négyzetével arányos. $\sqrt{3}$ -ad feszültség esetén háromszoros vezetékhsz kapcsolható a transzformátorra.

Földvezetési hálózatokon csak olyan transzformátorokat szabad használni, amelyeknek szigetelése a fokozott feszültség-igénybevételnek megfelelő.

A földvezetési hálózatot tápláló transzformátorállomást olyan helyen kell felállítani, ahol vagy állandó kezelőszemélyzet van, vagy a megszakítók kikapcsolása esetén a gyors visszakapcsolás biztosítható. Lehetőleg olyan megszakítókat kell alkalmazni, amelyek zárlat esetén egy visszakapcsolást önműködően végeznek. Ilyennek kifejlesztésével illetékesek foglalkoznak. Az állomásokon gondoskodni kell arról, hogy a kezelő vagy a felügyelettel megbízott személy a lekapcsolásról tudomást szerezzon. Ezért, ha az állomás nem áll állandó felügyelet alatt, a jelzőberendezést állandó személyzetű helyre kell elvezetni.

Földvezetési hálózatot tápláló állomáson olvadó biztosítót alkalmazni tilos. Egy megszakító esetén a megszakítót mindig az áramforrás és a tápláló transzformátor közé kell kapcsolni.

Ha egy állomásról több vezeték indul ki, a vezetékek fontosságához mérten ezekbe is lehet megszakítót beépíteni. Kevésbé igényes fogyasztóterület esetén elegendő a kimenő vezetékekbe árbóckapcsolót beépíteni.

Ha a földvezetési hálózatot csak egy transzformátor táplálja, a földelt fázist szerszámmal bonthatóan kell az üzemi földdel összekapcsolni. Több transzformátorral való táplálás esetén a szerszámmal oldható kötésen kívül minden egyes transzformátor és az üzemi földelés közé szakaszolót is kell beépíteni, amellyel az üzemen kívül helyezett transzformátor földelt fázisát a közös földről szerszám nélkül is lehet választani. Ilyen esetben a transzformátort csak akkor lehet üzemen kívül levőnek tekinteni, ha a transzformátor az üzemi földelésről is le van kapcsolva.

III. Transzformátorállomás

A földvezetési hálózatot tápláló transzformátorállomás a szigetelt nullapontútól elvileg csak az üzemi földelésben különbözik. Az üzemi földelést az állomáson kívül, attól legalább 50 m-re, távbeszélő központoktól legalább 500 m-re, lakott települések szélső házaitól legalább 150 m-re kell elhelyezni. Az állomás és az üzemi föld közötti összeköttetésre a távvezeték oszlopait is fel lehet használni. Az összekötő vezeték kivitelére ilyen esetben a névleges feszültségre érvényes előírások a mértékadók.

A 200 kVA-nél kisebb teljesítőképességű földvezetési transzformátorállomást oszlopon is el lehet helyezni. Ilyen esetben a megszakítót és a mérőváltókat vagy megfelelő szekrénybe, vagy falazott épületbe helyezik el. 200 kVA-nél nagyobb teljesítőképesség esetén célszerű az állomást épületben elhelyezni, azonban a transzformátoroknak szabad téren való elhelyezése is megengedett. Ilyen esetben megfelelő körülkerítéssel kell gondoskodni arról, hogy a feszültség alatt levő berendezéseket avatatlanoknak veszélyesen megközelíteni ne lehessen, továbbá, hogy a kezelés ugyancsak veszélytelen legyen.

Az üzemi földelés ellenállása 10 ohmnál, illetve az $R = 5 \times \frac{U^2}{N}$ képletből kiszámítottnál kisebb legyen. A képletben U a feszültség kV-ban, N a transzformátorállomás névleges teljesítménye kVA-ban.

Földelőül 3—4 m-es csövet, vagy sint kell alkalmazni, amelynek vége a földből 40—50 cm-re kiáll. Az ezen alapföldelésen kívül esetleg szükséges további földelőt készíthetjük lemezből, szalagból, vagy huzalból. Ezeket a földelőket az alapföldelével párhuzamosan kell kötni. A transzformátorállomástól a földelők közelében felállított oszlophoz vitt összekötő vezetékét az oszlop palástján vezetett, legalább 6 mm \varnothing -jú horganyzott vasuzal szilárdságú vezetével kell a sínre kapcsolni. Az összekapcsolás legalább 1/2"-os csavarral készüljön. A kifogástalan fémes kapcsolat biztosítására az elkészült kötést legalább 10 cm-es sugarú körben időálló lakkal be kell festeni.

A földelést a földelés helyén fellépő rövidzárlati áram erősségétől és a földelő mélységtől függő sugarú körben, vagy ezt jól megközelítő sokszögben személyek és nagyobb állatok által hozzáférhetetlenül el kell keríteni.

A transzformátorállomás rövidzárlati áramának változása esetén mind az üzemi földelés ellenállásának, mind a kerítés sugarának helyességét ellenőrizni kell.

A 100 kVA-nél nagyobb teljesítőképességű tápláló állomást lehetőleg túlfeszültségvezetővel védjük:

IV. Szabadvezeték

Földvezeteses hálózatnál a nyomvonal helyes megválasztása a legfontosabb. Kerülni kell az erdős, fás területeket. Ha ez nem lehetséges, a nyomvonal fátlanítását es gallyazását a leg gondosabban kell elvégezni és ennek az állapotnak megtartásáról üzem közben is a legmesszebbmenően gondoskodni kell.

Gyengeáramú vezetékeknél az 50 m-nél kisebb megközelítést még abban az esetben is kerülnünk, ha az ellenőrző számítás ezt egyébként megengedné. Kétvezetős rendszer aludur vezetői legalább 25 mm² keresztmetszetűek legyenek. Egyfázisú vezetékek 16 mm² acélvezetővel is építhetők. A két vezető a támasztékul használt faoszlopok tetején elhelyezett fa-, vagy vaskereszttartón egy síkban legyen elhelyezve, az egyfázisú hálózatok egy vezetője pedig az oszlop tetején elhelyezett csúcstartón. Egyvezetős egyfázisú hálózatot olyan oszlopokkal építsünk, hogy a föld és a vezető között megengedett legkisebb magasság kétvezetésre való átépítés esetén is meglegyen.

A szigetelők a névleges feszültségnek megfelelő fokozatúak legyenek, földelt vasszerkezeteknél pedig magasabb fokozatúak.

A hálózat szelektív védelmére olvadó biztosítót nem szabad alkalmazni. Az egyfázisú leágazások elláthatók olvadó biztosítóval.

Földvezeteses rendszernél a nagy- és kiefeszültségű vezetéknek közös oszlopon vezetését a legmesszebbmenőkig kerülnünk. Elkerülhetetlen esetekben az érintésvédelmi szabványban előírt biztonsági intézkedések a legszigorúbban betartandók. Ilyen hálózatokon a P/S védelem nem hatásos. A földvezeteses nagyfeszültségű rendszer kikapcsolása nélkül ilyen esetben csak akkor lehet a kiefeszültségű vezetéken munkát végezni, ha ezt a munkahely mindkét oldalán minden pólusában földeljük.

Egyebekben a szabadvezeték szabvány rendelkezései a mértékadók.

V. Elosztó transzformátorállomások

Az elosztó transzformátorállomások csak abban különböznek az egyéb szokásos ilyen állomásoktól, hogy a transzformátor egyik sarka üzemi földelve

van. Az üzemi föld elkészítésére a tápláló állomásnál mondtak mértékadók. Az üzemi földet csak a fogyasztói állomás rövidzárlati áramára kell méretezni.

A fogyasztói transzformátorállomásoknál nagyfeszültségű oldalon is szabad olvadóbiztosítót használni. A földelt fázist primer oldalon nem szükséges biztosítani. Több transzformátor párhuzamos járatása esetén azonban a földelt fázis a közös üzemi földről lekapcsolható legyen.

Ha az üzemi földet a távvezeték oszlopokon visszük ki és a transzformátort a hálózatról leválasztó árbóckapcsoló az üzemi földelés és a transzformátorállomás között van, az árbóckapcsoló háromsarkú legyen és az üzemi földet is kapcsolja le. Egyébként kétsarkú árbóckapcsoló is alkalmazható.

A transzformátorállomáson a nem földvezetéses rendszerrel is szükséges nagy- és kifestültségű érintésvédelmet szabályszerűen el kell készíteni.

A földvezetéses hálózatról táplált egyfázisú transzformátor kifestültségű oldalát egyik sarkán közvetlenül földelni kell.

LÉNÁRD SÁNDOR és PAUSPERTL KÁROLY

írásban beküldött hozzászólása Kovács Károly Pál »Földvezetéses energia-szolgáltatási rendszer« című előadásához, illetve Eisler János hozzászólásához.

Véleményünk röviden összefoglalva az, hogy a tárgyalt rendszerben működő transzformátorok biztonsága valószínűleg nagyobb mértékben fog csökkenni mint ahogyan azt az előadó és hozzászóló becsülik. Azonban a biztonság csökkenését csakis statisztikai adatok alapján utólagosan lehet majd megállapítani. Véleményünket a következőkre alapítjuk:

1. Lehet, hogy nincs nagy különbség abban, hogy milyen túlfeszültség kell ahhoz, hogy egy porcelán átüssön a földelt, vagy földetlen rendszerrel és helyes, hogy a földvezetéses rendszer csupán nagyobb igénybevételét és kisebb biztonságát jelenti a porcelánszigetelőknek, de azért valószínű, hogy az évenkénti sérülések száma a tárgyalt rendszerben nagyobb lesz, mint a szigeteltben, még inkább, mint a kompenzáltban.

2. Az olajközők és szigetelőcsövek igénybevételére vonatkozóan egyetértünk a hozzászólással, bár elvileg a földzárlatok tartama miatt a tárgyalt rendszerben a csövek igénybevétele nagyobb lesz. Ez azonban az ismert szerkezetekben nem lényeges nagyságrendű.

3. A végszigetelésekre vonatkozóan a hozzászólás 5.-ja azt állítja, hogy az 1-perces értékéről az átütési feszültség elég gyorsan leesik, a végtelen hosszú ideig kibírt feszültségnek közel 50%-ára. Ez az érték természetesen az alkalmazott anyagokkal változik. Mindenesetre megnyugtatóbb, ha a végszigetelésekben porcelánt alkalmaznak, bár a porcelán alkalmazása nem küszöböli ki teljesen a végszigetelésben a szerves szigetelőanyag felületi igénybevételét.

AZ APRÓBORDÁS HŐKICSERÉLŐ RENDSZER ELMÉLETI ALAPJAI

FORGÓ LÁSZLÓ

A technika rohamos fejlődésével a hőcserekészülékeknek is lépést kell tartaniok. Sok esetben a technika egyes ágaiban a fejlődés lehetősége nagymértékben függ attól, hogy sikerül-e a felmerülő hőátadási feladatot olyan hőcserekészülékek előállításával megoldani, amelyek a mind nagyobb és nagyobb műszaki követelményeknek megfelelnek. Nem elegendő csupán a hőközlés folyamatát biztosítani, hanem az erre szolgáló berendezést jól méretezni, hogy súlya, helyfoglalása, erőfogyasztása, előállítási ára és sokszor még több más tulajdonsága kielégítse a felmerülő igényeket. A gázturbina, a repülőmotorok, az erőművek kondenzátorainak levegővel való hűtése, stb. új feladatok elé állítják a kutatókat és tervezőket. Éppen ezért a kutatás a hőátadás tudományának széles területén az egész világon nagy erővel folyik.

Magyarországon is folytak ilyen kutatások közvetlenül a II. világháborút megelőző években, amelyek Beck István mérnök kezdeményezésére kezdődtek meg és a külföldet megelőzve az apróbordás hőkicszerelő rendszer alkalmazásával aránylag igen rövid kísérletezés után gyakorlatilag jól használható megoldásokhoz vezettek. A felszabadulás után az apróbordás rendszer továbbfejlesztését Beck József mérnök és e sorok írója folytatta. Az erőfeszítések eleinte elsősorban egy olcsó apróbordás radiátor kifejlesztésére irányultak. Az új találmányok megvalósítása szempontjából nem kedvező viszonyok, különösen az ország pénzügyi stabilizációja előtt, sokszor útjába álltak a kísérletezésnek. Ennek ellenére csakhamar újból forgalomba került egy alumíniumból készült apróbordás radiátor, amely ismét megelőzte a külföldet műszaki és gazdasági előnyei tekintetében. A továbbfejlesztés munkája azonban nem fejeződött be. A Hőtechnikai Kutató Intézetben kísérletek folytak, amelyek eredményeképpen lehetővé vált egy Heller-rendszerű levegőhűtésű erőművi kísérleti kondenzációs berendezés megtervezése, amely kisebb méretekben az 1952. év folyamán fel is épül.

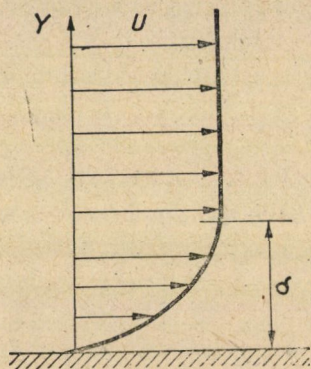
E rövid összefoglalás körvonalazza az e téren végzett munkát és az elért eredményeket. Vizsgáljuk meg ezekután milyen irányban haladnak a kutatások jelenleg és mik azoknak az elméleti alapjai.

1. A határrétegelmélet és az abból levonható következtetések

E rövid összefoglaló előadás keretei nem engedik meg a határrétegelmélet teljes egészében való ismertetését, hanem csupán vázlatos szemléltetésre és egyes döntő fontosságú részletkérdések külön taglalására terjedhet ki. Igen jól

áttekinthető és rövidre fogott ismertetés található azonban a határrétegelmélet hőtani vonatkozásairól E. Eckert könyvében. [1]*

Ismeretes, hogy a konvekciós hőátadás törvényei szoros összefüggésben állnak a folyadékok (gázok) áramlásának törvényeivel. A hőátadás körülményeinek vizsgálata tehát nem képzelhető el az abban résztvevő folyadék (gáz) áramlásának vizsgálata nélkül. A technikában felmerülő áramlástani kérdések jelentős részét jó megközelítéssel meg lehet oldani a súrlódásmentes folyadékok áramlástanából ismeretes tételek segítségével, azonban ezek a hőátadás tanulmányozásánál felmerülő kérdésekre nem adnak választ. A hőátadás szilárd fal és áramló közeg között nyilvánvalóan a felület mentén játszódik le, ahol a közeg áramlási sebessége a fallal való súrlódás következtében erősen lecsökken.



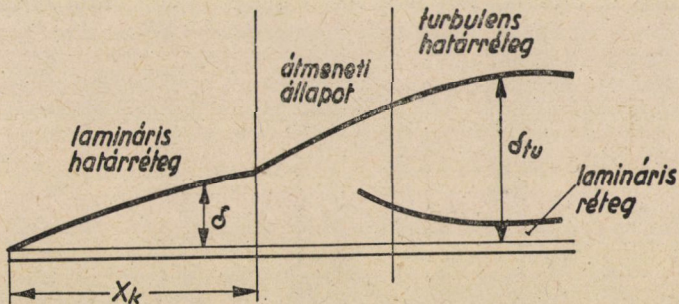
1. ábra. Határréteg sík fal mentén való áramlásnál

A súrlódás a fal közelében az áramlás képét lényegesen megváltoztatja és így a hőátadást is döntően befolyásolja. A fal közelében keletkező ún. határréteg elméletét L. Prandtl állította fel és ezzel megnyitotta az áramlástan és a konvekciós hőátadás tudományának új útjait.

A múlt század végén O. Reynolds kimutatta, hogy áramlástani szempontból két, egymástól alapvetően eltérő áramlási formát különböztethetünk meg: a lamináris és turbulens áramlást. Az előbbinél az áramvonalak szabályosan egymás mellett futnak, az utóbbinál az áramvonalak a folyadék szabálytalan örvénylő mozgása következtében összekeverednek. Sík fal mentén áramló közegnél a súrlódás következtében kialakuló határréteg sebességeloszlását mutatja vázlatosan az 1. ábra. A fal a folyadék áramlását fékezi, azonban ez a hatás csupán az ábrán δ -val jelzett határrétegvastagságig mutatkozik. Ezen belül az áramlási sebesség fokozatosan csökken a fal felé, egészen 0 értékig,

* A négyzetes zárójelbe foglalt számok a közlemény végén levő irodalmi összefoglalásra vonatkoznak.

míg a határrétegen kívül a folyadék megtartja eredeti áramlási sebességét és általában úgy viselkedik, mint egy súrlódásmentes ideális folyadék. A határréteg kifejlődését mutatja, ugyancsak vázlatosan a 2. ábra. Eszerint a határréteg a szilárd felület élétől kezdődőleg az áramlás irányában folyton vastagszik. E kezdetben lamináris áramlás a határrétegben egy bizonyos áramlási hossz után labilissá válik, majd turbulens áramlásba csap át. Turbulens határrétegnél is marad azonban vissza — amint az ábrán látható — egy vékonyabb lamináris réteg, közvetlenül a fal mellett. A lamináris áramlásnak a turbulensbe való átmenetét a kritikus Reynolds szám határozza meg, amelyet



2. ábra. Lamináris és turbulens határréteg sík fal mentén

sík fal mentén való áramlásnál geometriai méretként az éltől számított távolsággal (x) képeznek.

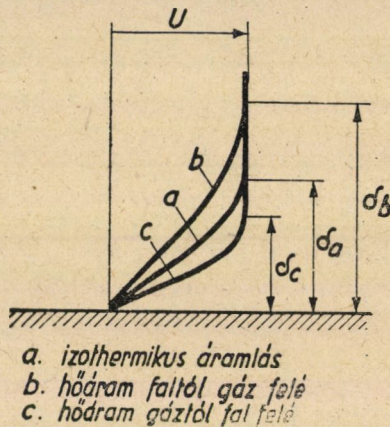
$$Re_x = \frac{Ux}{\nu} \cdot$$

A kritikus Reynolds szám az irodalmi adatok szerint ebben az esetben 84 000 és 500 000 között van. Ha az alsó határt vesszük is figyelembe, azokban az esetekben, amelyeket a továbbiakban vizsgálni kívánunk mindig lamináris határréteggel kellene foglalkoznunk. Az apróbordás hőcsere elemeknél azonban az egyes bordasorok éles sarkaikkal erős turbulenciát visznek az áramlásba. Lehetséges tehát, hogy a határréteg, legalább is bizonyos áramlási sebességhatárokon felül, mindjárt a bordák élétől kezdve végig turbulens jeleggel alakul ki, ([2] 139. old.) bár az áramlási sebesség kisebb a kritikushnál. Ezért a továbbiakban mindig figyelembe vesszük a turbulens határréteg tulajdonságait is.

Az eddig elmondottak, ha rendkívül vázlatosan is, megvilágítják azokat a jelenségeket, amelyek valóságos (nem súrlódásmentes) folyadékok, vagy gázok áramlásánál fellépnek, abban az esetben, ha az áramló közeg és a szilárd fal

* Az alkalmazott jelölések jegyzékét lásd a 109. oldalon.

hőmérséklete azonos, vagyis ha az áramlás izotermikus. Ha azonban a fal hőmérséklete eltér az áramló közegtől, akkor az áramlás mellett egyidejűleg hőközlés is megy végbe, még pedig a hőfokcsés irányában, a faltól a folyadék felé, vagy megfordítva. A közölt hőnek nyilvánvalóan keresztül kell haladnia a határrétegen, annak kialakulása tehát a hőközlést döntően befolyásolja. Az 1. ábra szerint a folyadék sebessége a fal közelében a határrétegen belül 0 és U között változik. A lamináris részben, ahol a folyadékrészecskék rendezetten áramlanak egymás mellett, a hő áthaladása a határrétegen pusztán vezetés útján megy végbe, míg a turbulens határrétegnél a vékony lamináris film kivételével a hőszállítást a folyadékrészecskék keveredése végzi. A hőközlés azonban megváltoztatja az áramlás képét a határrétegen belül, minthogy az áramló

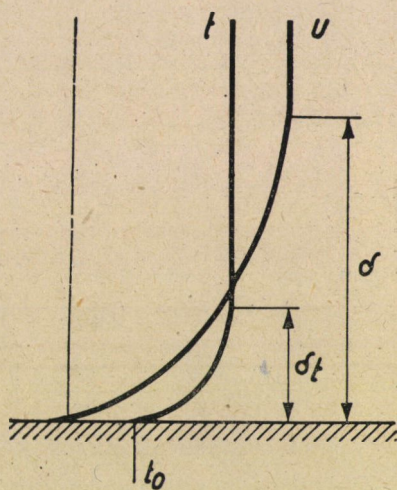


3. ábra. Sebességeloszlás a határrétegen légnemű testek áramlásánál

közeg hőmérsékletének változása maga után vonja fizikai jellemzőinek, a viszkozitás tényezőjének, a fajsúlynak változását, de változik a folyadék hővezető-képessége is, ami visszahat a hőáramlás folyamatára. Az eddigiekben nem tettünk különbséget aszerint, hogy az áramló közeg cseppfolyós, vagy gáznemű test. Ha azonban azt a változást vizsgáljuk, amely a határrétegen a hőmérséklet-különbségek folytán előáll, a két eset egymástól élesen el kell választani. A gázok (pl. levegő) áramlása esetén a 3. ábra feltünteteti az izotermikus áramlással szemben a sebességeloszlásban, illetőleg a határrétegvastagságban beállott változást. Az ábrán a -val jelölt görbe mutatja az izotermikus áramlás sebességeloszlását. Ha a fal hőmérséklete magasabb az áramló gázénál, akkor a gáz viszkozitása növekszik és ezzel a határréteg vastagszik, az ábra b görbéje szerint. Ha a fal hőmérséklete kisebb a gázénál, akkor a jelenség fordított irányban játszódik le, a c -vel jelölt görbe szerint. Minthogy folyadékoknál a hőmér-

séklet emelkedésével a viszkozitás csökken, ellentétben a gázokkal, a jelenség fordítva játszódik le, tehát ha az áramló közeg nem gáz, hanem folyadék, az ábrában a b és c jelölést fel kell cserélni.

Ugyanúgy, amint a súrlódás következtében kialakul a szilárd fal mellett az áramlási határreteg, a hőmérsékletkülönbség következtében kialakul az áramló közegben egy hőfokmező is, amint azt a 4. sz. ábra mutatja. Ez a hőfokmező úgy fejlődik ki, hogy közvetlenül a fal mentén az áramló közeg felveszi a fal hőmérsékletét, amely azután a faltól távolodva közeledik a zavartalan áramlás hőmérsékletéhez és a faltól δ_t távolságban eléri azt. Ezt a δ_t távolságot nevezzük a hőmérsékleti határreteg vastagságának. Ezek szerint voltaképen

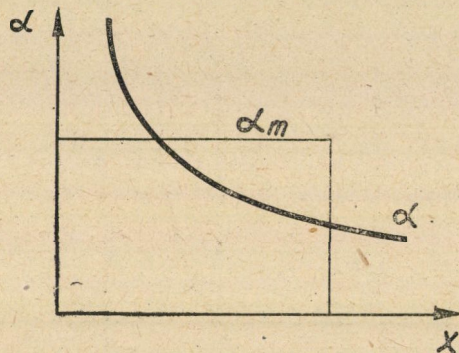


4. ábra. Sebesség és hőfokeloszlás a fal mentén és a határretek vastagsága

két határreteget különböztethetünk meg, az áramlási határreteget és a hőmérsékleti határreteget, amelyeknek a vastagsága általában nem egyenlő. A hőmérsékleti határreteg vastagságát a hőáramlás egyenletének megoldásával Krujilin szovjet tudós [3] határozta meg 1936-ban és ezzel lehetővé tette a határreteg-elmélet hőtani részének kidolgozását. A kihozott eredményeket a részletkérdésekbe és levezetésekbe való elmélyedés nélkül a következőkben foglalhatjuk össze :

A hőmérsékleti határreteg a 4. sz. ábra szerinti hőfokessel alakul ki és a szilárd fal mentén az áramlás irányában vastagodik. Az egész hőfokesség az áramló közegben a hőmérsékleti határreteken belül történik, tehát egy aránylag vékony rétegben játszódik le. Ezen a vékony rétegben kívül az áramló közeg hőmérséklete változatlan marad, tehát nem is vesz részt a hőátadás folyamatában. A hőmérsékleti határreteg vastagsága olyan áramló közegnél, amelynél

a Prandtl szám értéke 1, megegyezik az áramlási határreteg vastagságával. Ez a helyzet általában gázok esetében, amelyek Prandtl száma 0,7 és 1 között mozog. Például a levegő Prandtl száma 1 ata nyomásnál és 50° C hőmérsékletnél 0,708 és így a két határreteg vastagsága levegőnél megközelítőleg egyenlőnek vehető. Közvetlenül a fal mellett a folyadékrezecskék nyilvánvalóan csak a fállal párhuzamosan haladhatnak, a hőáramlás tehát ezeken a falközeli rétegeken keresztül csak vezetés útján történhet. Ezért játszik nagy szerepet az áramló közeg hővezetőképessége. A hőátadási tényező α , $x = 0$ -nál, ahol a határreteg vastagsága 0, végtelen értékkel kezdődik, azonban növekvő x -el.



5. ábra. A helyi hőátadási tényező csökkenése az áramlás irányában, lamináris határreteg esetén

illetőleg a határreteg vastagodásával rohamosan csökken, amint azt az 5. sz. ábra feltünteti.

Vizsgáljuk meg az előrebocsátottak után, mi az, ami az apróbordás hőki-cserélő rendszer szempontjából a határreteg elmélet eredményeiből leszűrhető. E célból elsősorban összeállítjuk az irodalomból a határreteg tulajdonságait meghatározó legfontosabb képleteket ([1] 52., 54., 56., 67. és 86. old.).

Lamináris határreteg :

$$\frac{\delta}{x} = \frac{4,64}{Re_x^{1/2}} \quad (1)$$

$$Nu_x = 0,331 Pr^{1/3} Re_x^{1/2} \quad (2)$$

$$c_{fm} = \frac{1,327}{Re_x^{1/2}} \quad (3)$$

Turbulens határreteg :

$$\frac{\delta}{x} = \frac{0,384}{Re_x^{1/5}} \quad (4)$$

$$\frac{Nu_x}{Re_x Pr} = \frac{0,0297 Re_x^{-1/5}}{1 + 0,87 A_1 Re_x^{1/10} (Pr - 1)} \quad (5)$$

$$c_{fm} = \frac{0,074}{Re_x^{1/5}} \quad (6)$$

Az egyenletek alapján elsősorban a lamináris határreteg tulajdonságait vegyük szemügyre.

Az (1) egyenletet a következő alakban is felírhatjuk :

$$\delta = 4,64 \sqrt{\frac{\nu x}{U}} \quad (7)$$

Az egyenlet mutatja, hogy a határreteg vastagsága, δ , az áramlási hossz négyzetgyökével egyenes, a sebesség négyzetgyökével fordított arányban áll. Ha tehát a hőátadás előmozdítása érdekében vékony határreteget akarunk biztosítani, vagy az áramlási sebességet kell növelni, vagy az áramlási hosszt kell csökkenteni. E két hatás azonban ebben az egyenletben egyforma súllyal jelentkezik, nem mutat rá tehát a követendő útra.

Írjuk fel a (2) egyenletet a következő alakban :

$$\frac{\alpha x}{\lambda} = 0,331 \left(\frac{\nu \gamma c_p}{\lambda} \right)^{1/3} \left(\frac{U x}{\nu} \right)^{1/2} \cdot 3600^{1/3}$$

Ebből a hőátadási tényező

$$\alpha = 5,06 \left(\frac{\lambda^{2/3} (\gamma c_p)^{1/3}}{\nu^{1/6}} \right) \left(\frac{U}{x} \right)^{1/2} = c \left(\frac{U}{x} \right)^{1/2}$$

Ennél az egyenletnél figyelembe kell venni, hogy itt α a helyi hőátadási tényezőt jelenti, tehát a sík fal első élétől x m távolságra, amint azt az 5. ábra mutatja. A helyi hőátadási tényezőtől integrálás útján nyerhetjük az átlagos hőátadási tényezőt ([1] 67. old.).

$$\alpha_m = \frac{1}{x} \int_0^x \alpha dx = 2 \alpha$$

A bennünket érdeklő átlagos hőátadási tényező a sík fal 0-tól x -ig terjedő áramlási hosszúságán tehát

$$\alpha_m = c \sqrt{\frac{U}{x}}, \quad (8)$$

ahol c tartalmazza az áramló közeg összes fizikai jellemzőit. A (8) egyenlet a (7)-hez hasonlóan azt mutatja, hogy a hőátadási tényező két módon javítható :

az áramlási sebesség növelésével, vagy az áramlási hossz csökkentésével. A két lehetőség közül azonban egyiket sem helyezi előtérbe.

Írjuk fel most még a (3) sz. egyenletet a következő alakban :

$$c_{fm} = 1,327 \sqrt{\frac{\nu}{Ux}} \cdot$$

Ha a sík fal méretét az 1. ábra síkjára merőleges irányban 1 m-nek vesszük, akkor az ellenállástényezőből kiszámíthatjuk azt az erőt, amelyet a sík fal az áramló közeggel szemben kifejt.

$$W = c_{fm} \frac{U^2 \rho}{2} x.$$

Ha ezt az erőt megszorozzuk az áramlási sebességgel, megkapjuk a ventilációs teljesítményt, amely szükséges ahhoz, hogy az áramlást állandó U sebességgel fenntarthassuk.

$$N = WU = c_{fm} \frac{U^3 \rho}{2} x = 1,327 \sqrt{\frac{\nu}{Ux}} \frac{U^3 \rho}{2} x$$

$$N = 0,6635 \rho \nu^{1/2} U^{5/2} x^{1/2}. \quad (9)$$

A ventilációs teljesítmény tehát az áramlási sebesség 5/2-ik, az áramlási hossz 1/2-ik hatványával növekszik. Ha figyelembe vesszük, hogy a felület által közölt hő (1. ábra síkjára merőleges méretet ismét 1 m-re vesszük)

$$Q = \alpha_m x \vartheta_k$$

ahol ϑ_k a felület és az áramló közeg közötti közepes hőfokkülönbség, akkor arányba állíthatjuk a hőteljesítményt a hozzá szükséges ventilációs teljesítménnyel és kapjuk a (8) és (9) sz. egyenletből

$$\frac{Q}{N} = C \frac{\vartheta_k}{U^2}, \quad (10)$$

ahol C tartalmazza az áramló közeg fizikai jellemzőit. Ez az egyenlet az előbbiekekkel együtt most már határozottan kijelöli az utat, amelyen haladni kell. Azt mutatja ugyanis, hogy adott hőmérsékletkülönbség mellett a hőteljesítmény aránya a ventilációs teljesítményhez annál kedvezőbb, minél kisebb az áramlási sebesség. Az áramlási hossz ebből az egyenletből kiesik, a Q/N arányt tehát nem befolyásolja. Ennélfogva ha a hőátadási tényezőt növelni akarjuk, akkor az áramlási hosszt kell csökkenteni és nem a sebességet növelni, mert ez az utóbbi eljárás a jó hőátadást csak fokozott ventilációs teljesítmény árán tudja

elérni. Ha a hőátadási tényezőt az áramlási hossz csökkentésével növeljük, akkor ez nem megy a ventilációs munka rovására, mert annak aránya a közölt hőmennyiséghez képest változatlan marad. Ez abban az esetben is fennáll, ha a hőátadó felület növelése céljából egymás után több egyenként rövid áramlási hosszal bíró felületsort iktatunk. A (10) egyenlet szerint igyekezni kell a hőátadást minél kisebb áramlási sebességgel létrehozni, ennek azonban határt szabnak a hőkicserélő készülék méretei, (áramlási keresztmetszete és homlokfelülete) amelyek a sebesség csökkentésével arányosan növekszenek. Ugyanígy nem lehet az áramlási hosszt sem tetszés szerint csökkenteni, mert annak a szilárdsági követelmények, valamint a későbbiekben kimutatott egyéb tényezők szabnak határt.

A lamináris határreteg tulajdonságainak vizsgálata után térjünk rá a turbulens határreteg vizsgálatára, amelyet a 4., 5. és 6. számú egyenletek alapján az előbbi gondolatmenethez teljesen hasonlóan végezhetünk el. A határreteg-vastagságra nézve a lamináris határretegnél elmondottak változatlanul érvényesek, csupán az egyenletben szereplő négyzetgyök helyett 5. gyököt kell számításba venni.

Az 5. egyenletnél, ha figyelembe vesszük, hogy jelenleg nem akarunk általános érvényű következtetéseket levonni, hanem csak a levegő hőátadását vizsgáljuk, más gázokét, vagy folyadékokét nem vesszük tekintetbe, nem követünk el túlságosan nagy hibát, ha megközelítésül a harmadik gyökével szereplő Prandtl számot egynek vesszük. Ezzel az egyenlet igen egyszerűvé válik.

$$\frac{Nu_x}{Re_x} = 0,0297 Re_x^{-1/5}$$

Ebből

$$\alpha = 0,0297 \frac{\lambda}{\nu^{4/5}} \frac{U^{4/5}}{x^{1/5}} \quad (11)$$

$$\alpha_m = \frac{1}{x} \int_0^x \alpha dx = \frac{5}{4} \alpha$$

és

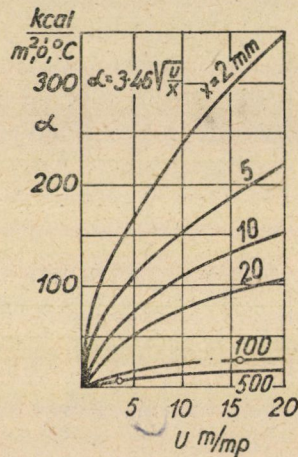
$$Q = \alpha_m x \vartheta_k = \frac{5}{4} 0,0297 \frac{\lambda}{\nu^{4/5}} (Ux)^{4/5} \vartheta_k \quad (12)$$

A ventilációs teljesítmény :

$$N = WU = c_{fm} \frac{U^3 \varrho}{2} x = 0,037 \nu^{1/5} \varrho U^{14/5} x^{4/5} \quad (13)$$

$$\frac{Q}{N} = C \frac{\lambda}{\varrho \nu} \frac{\vartheta_k}{U^2} = C' \frac{\vartheta_k}{U^2} \quad (14)$$

Turbulens határreteg esetén tehát ugyanazokra a következtetésekre jutunk, mint amelyeket a lamináris határretegnél levonhattunk. Nézzük meg azonban számszerűleg is, hogy azoknál a legkisebb méreteknél, amelyek (eltekintve egyes egészen különleges megoldásoktól) általános technikai alkalmazásra számításba jöhetnek, milyen hőátadási tényezőket lehet elérni a határreteg-elmélet szerint. Vegyük a kérdés megválaszolására alapul a 2. sz. egyenletet, amelybe behelyettesítjük például 30°C hőmérsékletű 1 ata nyomású levegő



6. ábra. Hőátadási tényezők sík fal mentén lamináris áramlásnál
A bérárajtolt körök a turbulens áramlás alsó határát jelzik

fizikai jellemzőinek értékét: $Pr = 0,71$, $\lambda = 0,024$ és $\nu = 16,6 \cdot 10^{-6}$, vegyük továbbá figyelembe, hogy $\alpha_m = 2\alpha$ kapjuk az átlagos hőátadási tényezőt.

$$\alpha_m = 3,46 \sqrt{\frac{U}{x}}. \quad (15)$$

Ezt az egyenletet tünteti fel a 6. ábra görbesor alakjában. A görbékéből láthatjuk, hogy ha a technikai megvalósítás általános lehetőségének alsó határát az áramlási hossz, vagyis a bordák felaprózása tekintetében 2 mm-nek vesszük fel, akkor a gyakorlatban alkalmazott 5—10 m/mp áramlási sebesség mellett a hőátadási tényező értéke

$$\alpha_m = 172 - 245 \text{ kcal/m}^2 \text{ ó } ^\circ \text{C}$$

lényegesen meghaladja tehát a sima, az áramlás irányában 50—200 mm hosszú bordákkal elérhető értékeket.

2. Az alumínium mint legalkalmasabb fém, bordás hőcserekészülékek előállítására

Amikor »apróbordás« rendszerről beszélünk, világos, hogy ez az összetett szó két fogalmat kapcsol össze. Jelzi, hogy bordákból álló, tehát közvetett hőátadó felületről van szó és hogy ezek apró részfelületekre vannak felbontva. A részfelületekre való bontás indokolását megadta az 1. fejezet. A bordák alkalmazására nézve pedig tudjuk, hogy az akkor válik szükségessé, ha a hőcserét két olyan közeg között kell létrehozni, amelyek anyaguk különbözőségénél fogva a hőátbocsátó felület egyik oldalán lényegesen jobb hőátadási tényezővel bírnak, mint a másik oldalon. Ilyen esetben a hőátbocsátó felületet a kisebb hőátadási tényezőjű közeg felé eső oldalon célszerű bordáztatni. E közismert tényt bővebben kifejteni nem szükséges, csupán azt kell megjegyezni, hogy az egyes hőátadó bordák az általuk közölt hőmennyiséget fémes hővezetéssel szállítják és ezért a bordák anyaga (hővezetőképessége) fontos szerepet játszik a hőátadás folyamatában. A hővezetés következtében ugyanis a bordák hőmérséklete a tövüktől kezdődőleg csökken és ezzel csökken a közepes hőmérsékletkülönbség a fal és az áramló közeg között is.

E kérdést a szakirodalom bőségesen ismerteti [1] [2] és a bordák hővezetését, a hőmérsékleteloszlást a bordafelületeken, a minimális anyagfelhasználást biztosító bordaméretezést és még számos részletkérdést matematikailag levezeti és az eredményeket gyakorlatilag jól használható képletekben összefoglalja. Ezért a levezetések ismertetésétől a szakirodalomra való utalással eltekintünk. Igen szemléletesen kimutatható azonban a bordák anyagának befolyása a hőátadásra, a következő gondolatmenettel: tegyük fel, hogy egy vaslemezről készült hőcserekészülékkel rendelkezünk, elvileg a 10/a sz. ábra szerinti kivitelben, amelynek hőteljesítményét adott üzemi viszonyok (fűtő-, gőzhőmérséklet, levegősebesség, levegőhőmérséklet stb.) mellett lemértük és kiszámítottuk, hogy az egész hőteljesítményből mennyit adtak le tisztán a bordák. Ez utóbbiak a tövüknél fémesen érintkeznek a fűtött fallal és az ettől átvett hőt vezetéssel szállítják el megfelelő hőmérsékletesítés mellett és adják át a levegőnek. Az ily módon jellemzett állandósult állapotban szolgáltatják a bordák az előbbieket mérés útján megállapított teljesítményt. Ha most képzeletben ezt a — mondjuk vasból előállított — hőcserekészüléket más fémből, pl. alumíniumból kívánjuk előállítani ily módon, hogy az új készülék üzemi viszonyai megegyezzenek az eredetivel, akkor két szempontot kell szem előtt tartanunk.

a) A geometriai méreteket azonosan kell megválasztanunk, hogy az áramlási viszonyok változatlanok legyenek,

b) a bordák felületi hőmérsékleteloszlásának az új készülékeknél azonosnak kell lenni az eredetivel.

Ez viszont csak akkor lehetséges, ha egyébként azonos méretek mellett

az alumíniumbordákat annyival méretezzük vékonyabbra, amennyivel az alumínium hővezetőképessége nagyobb a vasénál (feltéve, hogy a bordák már eredetileg is aránylag vékonyak voltak a többi méretekhez képest, akkor ez az áramlást és a hőátadást nem befolyásolja). A vaslemez tehát egy a két fém hővezetőképességével fordított arányban vékonyabb alumíniumlemezzel lehet helyettesíteni, azonos hőteljesítmény mellett. A bordák előállításához felhasznált fémanyag súlya tehát a következő arányban áll egymással

$$\frac{G_{vas}}{G_{al}} = \frac{\lambda_{al}}{\lambda_{vas}} \frac{\gamma_{vas}}{\gamma_{al}}$$

Ha tehát vizsgálni akarjuk, milyen gazdasági kihatása van a hőcsere-készülékek előállításánál a felhasznált fémanyagnak, akkor a viszonyok jellemzésére a következő költségtényezőt állíthatjuk fel:

$$K = \frac{\gamma}{\lambda} b,$$

ahol b beruházási költségtételként a felhasznált hengerelt fémlemez árát jelenti Ft/kg-ban. A kérdést számszerűen megvilágítják az 1. sz. táblázatba foglalt adatok, amelyekből kitűnik, hogy közvetett, bordás hőközlőfelületek legelőnyösebben alumíniumból állíthatók elő. Utána következik sorrendben a vörösréz és végül a vas.

1. TÁBLÁZAT

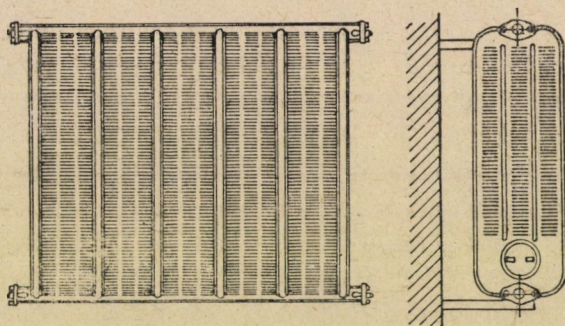
Fém	γ kg/m ³	λ $\frac{\text{Kcal}}{\text{m}, \text{ó}, \text{°C}}$	$\frac{\gamma}{\lambda}$	Ft/kg	K	K/K _{alum}
Alum. 99,5%	2700	182	14,8	19	282	1
Vörösréz	8300	320	25,9	14	363	1,29
Heng. vas	7850	50	157	3	471	1,67

Mint hogy a táblázat szerint alumíniumból lényegesen olcsóbb hőcsere-készülékek állíthatók elő, mint vasból és a két fém között álló vörösréz sem áll ilyen célokra rendelkezésre, a jelenleg folyó kutatás iránya teljesen az alumínium felé fordult. Az eddig már megvalósított alumínium-radiátor, továbbá a Hőtechnikai Kutató Intézetben folyó újabb kutatások már bizonyos eredményekre vezettek és igazolták, hogy a gyártástechnikai nehézségek leküzdésével az alumíniumot hőcserekészülékekhez bizonyos esetekben előnyösen lehet alkalmazni. További tényezőként meg kell említeni, hogy alumíniumból nemcsak a hőelemek bordázatát lehet gazdaságosan előállítani az 1. táblázat szerint, hanem az azokhoz szükséges csöveket is kisebb átmérővel és vékonyabb fallal lehet készíteni, mint vasból, amelynél a kis átmérőjű és vékonyfalú csövek

aránytalanul drágák. A vastagfalú és szükségtelenül nagy átmérőjű csövek, a vasból előállított hőcserekészülékeket az előbb felhozott okokon kívül tovább drágítják.

3. Az apróbordás rendszerrel elért eddigi eredmények

Apróbordás rendszerrel Magyarországon a felszabadulás előtt készültek Thermocell néven vörösrézből fűtőtestek, léghevítők, generátorhűtők stb. Az ezekkel szerzett tapasztalatok jók voltak és így a rendszer fokozódó mértékben terjedt el a gyakorlati alkalmazás számos területén. E készülékek nagy része (amennyiben a háború folyamán nem pusztult el) ma is üzemben van. A mérési eredmények összhangban voltak az előbbieken említett hőátadási tényezőkkel, sőt azokat a később még kifejtendő okoknál fogva felül is multák. Minthogy a készülékek nemcsak a hőátadási tényező szempontjából, hanem



7. ábra. Alumínium fűtőtest rajza

szerkezeti megoldásban, súlyban sok előnyt nyújtottak, azok gyártása mindaddig, amíg vörösréz rendelkezésre állt (tehát a II. világháború kitöréséig), rendszeresen folyt.

A felszabadulás után forgalombahozott a Vegyiparigép- és Radiátorgyár egy alumíniumból készült apróbordás radiátort, amelyet a gyár prospektusából átvett 7. ábra tüntet fel. A fűtőtest alul és felül egy-egy vízszintes csővel készül, amelyeket a rajzon látható vékonyabb függőleges csövek kötnek össze. E vékony csöveken keresztül áramlik a fűtőgőz, vagy a víz. A vékony függőleges csövek között vannak elhelyezve az apróbordás fűtőfelületet képező alumíniumlemezek, hővezető összeköttetésben a csövekkel. A hővezető összeköttetés oly módon jön létre, hogy a lemezeket a csöveken végigfutó két borda közé helyezik, amelyeket azután erős nyomással összepréselnek. Ily módon egy teljesen zárt, belül üres szekrény keletkezik, melynek határoló felületét képezik az áttört apróbor-

dás alumíniumlemezek. A levegő keresztáramlik a bordák hézagain és eközben felmelegszik. A meleg levegő a szekrény belsejében kéményhatást fejt ki és a légáramlást állandóan fenntartja.

A forgalombahozott fűtőtest hőátadási tényezőjét a prospektusban látható hőteljesítményből visszafelé ki lehet számítani és összehasonlítani a 6. ábra szerinti megfelelő értékkel. A számítást bizonyos mértékig megnehezíti, hogy a légsebesség a bordák hézagaiban nem egyenlő, alul nagyobb, felül kisebb és a sebességeloszlásra mérési adatok nem állnak rendelkezésre.

A hőátadási tényező kiszámításánál természetesen figyelembe kell venni, hogy bennünket jelen pillanatban kizárólag az apróbordák hőátadási tényezője érdekel, nem pedig valamely átlagos számérték. Minthogy a fűtőtest fűtőfelülete nincsen teljes egészében perforálva, tehát apróbordákkal ellátva, hanem egyes részek, (pl. csövek) méreteiknél fogva nem tekinthetők apróbordáknak, azonban a hőleadásban bizonyos mértékig résztvesznek, a fűtőtest által ténylegesen leadott hőteljesítményből levonásba kell hozni mindazokat a tételeket, amelyek nem írhatók az apróbordás részek konvekciós hőleadásának javára. Le kell tehát vonni a sugárzással leadott hőt a radiátor teljes külső felületére vonatkoztatva (tehát a bordákra is) továbbá a csövek és egyéb nem perforált részek konvekciós hőleadását is. Csupán a maradványt lehet az apróbordák hőteljesítményének tekinteni. A meglehetősen hosszadalmas számítást e helyen részleteiben nem közölhetem, csupán a végeredményt foglalom össze röviden.

Vegyük ki példaképpen az előállító gyár prospektusából a 600 mm magas 5. sz. radiátort, amelynek hőteljesítménye az ott található adatok szerint 100°C gőzhőmérsékletnél 20°C hőmérsékletű helyiségben 2900 kcal/ó és súlya 11,2 kg. Ennek a fűtőtestnek a külső felülete $1,34\text{ m}^2$, amiből $0,88\text{ m}^2$ apróbordás és $0,46\text{ m}^2$ sima felület.

A hőmérleg a következőképpen alakul :

összes sugárzott hő	220 kcal
a sima részek konvekciós hőteljesítménye	376 «
a bordák konvekciós hőteljesítménye	2304 «
	<hr/>
Összesen :	2900 kcal

Feltűnik az összeállításból a radiátor kis hőszugárzása. Ez két okra vezethető vissza. Az egyik, az alumínium közismerten kis hőszugárzóképesége, a másik, hogy a külső felületeknek kereken $2/3$ részét kitevő bordázott rész hőmérséklete lényegesen alacsonyabb, mint a közvetlenül fűtött sima részeké és így azok sugárzása emiatt is kisebb. A bordák fűtőfelülete $1,88\text{ m}^2$ (nem tévesztendő össze az előbbi $0,88\text{ m}^2$ külső felülettel, ami a bordázatnak csupán a kívülről látható részét jelenti, de nem a bordák teljes felületét).

A bordák konvekciós hőleadása :

$$Q_b = \alpha_m \eta_b F_b \vartheta_k = 2304 \text{ kcal/óra,}$$

ahol η_b = a bordahatásfok*

$$\vartheta_k = 60 \text{ }^\circ\text{C.}$$

Ebből

$$\alpha_m \eta_b = \frac{2304}{1,88 \cdot 60} = 20,5.$$

Az $\alpha \eta_b$ szorzatból α kiszámításához két egyenletünk van.

$$\alpha_m \eta_b = 20,5 \quad \text{és} \quad \eta_b = \frac{t h (m h)}{m h},$$

ahol h = bordahossz = 0,045 [m]

$$m h = 0,176 \sqrt{\alpha_m}.$$

Ebből

$$\alpha_m = 25,9$$

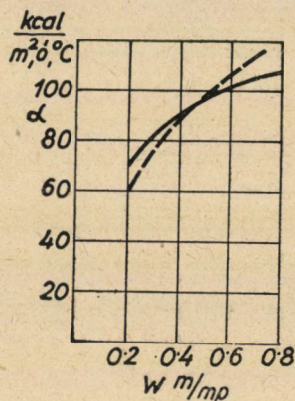
$$\eta_b = 0,79.$$

Ha ezt az értéket összehasonlítjuk a 15. képletből adódóval, akkor, figyelembevéve, hogy a radiátornál $x = 0,004$ és $U \cong 0,2$ m/mp, látjuk, hogy kb. megfelel a határrétegelmélet által megadottnak, azonban inkább egy kissé magasabb. E számításban α tényező értékénél mintegy $\pm 8\%$ hibalehetőség van, azáltal, hogy nincsenek pontos adataink a külsőleg kémiaileg kezelt alumíniumfelület hőszugárzására vonatkozólag és amennyiben az jobban sugározna, mint amennyire a számításban feltételeztük, akkor ez az említett hőátadási tényezőt maximálisan 8%-kal csökkentheti.

Az alumínium-radiátor forgalombahozatala után kísérletek kezdődtek az alumíniumból előállítható egyéb apróbordás hőkicszerelő készülékek kifejlesztése céljából. A nehézségek főleg két irányban mutatkoztak : az egyik, hogy a készülékeknek alumíniumból való előállítása komoly technológiai nehézséget okoz, a másik pedig, hogy a radiátorokat előállító gyár csak egyféle méretű készülékek, illetőleg alkatrészek gyártására volt berendezve és így az előállítható méretek csak a radiátorok céljára feleltek meg. Ennek ellenére a gyártó berendezés kisebb-mérvű átalakításával sikerült egy olyan megoldást találni amely már egy kísérleti levegőkondenzációs berendezés előállítására alkalmasnak mutatkozott [5]. A Hőtechnikai Kutató Intézet kísérleteket végzett a hőátadási ténye-

* Lásd az 5. fejezet a) pontját.

zók megállapítására, mely kísérletek egyikét a 8. ábra tünteti fel. Feltűnik az ábrán, hogy a mérések igen kis légsebességek alkalmazásával folytak. Ez a légkondenzációnál fellépő és a ventilációs munkával kapcsolatos szokatlanul nagy igényekre való tekintettel történt. Az ábra szerint a hőátadási tényezők magasabb értékekre adódtak, mint ami a 6. ábra alapján várható lett volna. Ennek magyarázatát abban találjuk, hogy a 6. ábrában összefoglalt értékek teljesen zavartalan lamináris áramlás esetére érvényesek, a különálló egyes sík lapok esetén. A kísérletileg lemerített hőelemnél azonban a sűrűn egymás mellett fekvő bordák, különösen azok éles sarkai, erős turbulenciát visznek az áramlásba és ezért adódnak a hőátadási tényező értékei magasabbra. Hasonló eredményekre jutottak egyes külföldi kutatók is, akik közül Norris és Spofford [4]



8. ábra. Apróbordás hőelemeknél mért hőátadási tényezők
A szaggatott vonal Norris és Spofford kísérleti eredményeit mutatja

kísérleteinek eredményét átszámítva a Hőtechnikai Kutató Intézetben folytatott kísérlet adataira szaggatott vonallal berajzoltuk a 8. ábrába.

A méréssel megállapított hőátadási tényezőkkel kapcsolatban figyelembe kell venni azt a nem elhanyagolható körülményt, hogy az apróbordás rendszerben 1 m² felületű fémlemezről, ha annak mindkét oldalát fűtőfelületnek tekintjük, nem 2 m² hasznos fűtőfelület nyerünk, hanem többet, minthogy az apróbordák előállításánál a metszési felületek növelik a fűtőfelületet. E körülmény a számításba jövő méreteknél a fűtőfelületet 15–40%-ig növelheti. Ha tehát sima lemezből készült fűtőfelületet összehasonlítunk apróbordás felülettel, nem járunk el helyesen, ha ezt tisztán a hőátadási tényezők alapján tesszük, minthogy azok mindig a teljes tényleges fűtőfelületre vonatkoznak. Ha egy adott lemezt, amelyből hőkicserélő készüléket akarunk előállítani, a próborda rendszerben készítünk, akkor a lemeznek nemcsak a hőátadási tényezőjét,

hanem a fűtőfelületét is megnöveljük és az elérhető gazdasági hatás e kettő szorzatának fog megfelelni.

4. Az apróbordás hőkicszerelő rendszer továbbfejlesztésének kilátásai

Az eddig elmondottak természetesen nem jelentik a kutatások befejezését. Az elméleti számítások arra az eredményre vezetnek, hogy e rendszer még távolról sem forrt ki teljesen és további számottevő tökéletesítésre van lehetőség. Amint a 6. ábra mutatja, a méretek további csökkentésével a hőátadási tényezőket még jelentősen emelni lehet. Az eddigi kísérletek pedig azt mutatták, hogy a gyakorlatban feltétlenül bekövetkező turbulenciák miatt a hőátadási tényezők mindig felette vannak a 6. ábra értékeinek. E körülmények indokolják a kutatások további folytatását. Ahhoz, hogy a rendszert tovább tudjuk fejleszteni, meg kell azonban szabadulnunk azoktól a kötöttségektől, amelyeket a meglévő gyártó berendezés jelent és meg kell kísérelni felállítani azokat az alapelveket, amelyekben elindulva egy tökéletesebb hőkicszerelő készüléket tudunk szerkeszteni. Meg kell jegyezni, hogy az eddigi tapasztalatok szerint az apróbordás hőkicszerelő készülékek gyártásához nem szükséges nagyon költséges gyárberendezés és így megfelelő előnyös megoldás esetén, ha csak egy nagyobb erőművet látunk el légkondenzációval, az apróbordás hőkicszerelő készülékek előállításához szükséges gyártó berendezés költsége bőségesen megtérül.

5. Az apróbordás hőkicszerelő számítása

A határrétegmélet elvileg megadta a szempontokat a hőkicszerelő készülékek megszerkesztéséhez :

a) az áramlás irányában a lehetséges legkisebb méretű hőátadó elemeket kell alkalmazni,

b) a hőátadást a lehető legkisebb sebességgel kell megvalósítani a ventilációs munka csökkentése céljából.

Azonban, amint látni fogjuk, a határrétegmélet és az abból levont következtetések egyedül nem elegendők a megfelelő irányelvek kialakítására. Hiába tudunk például kitűnő hőátadási tényezőket előállítani igen kisméretű bordák alkalmazásával, ha azok keresztmetszete nem elegendő a kiadódó hőmennyiségek szállításához, vagy ha a bordák nem elégítik ki a szilárdsági feltételeket stb. Az új hőcserekészüléket olymódon kell megszerkeszteni, hogy az mindazoknak a követelményeknek megfelelően, amelyek műszaki és gazdasági szempontból támaszthatók. Az első feladat tehát összeállítani ezeket a szempontokat.

Induljunk ki abból, hogy az újonnan szerkesztendő készülék különböző célokra való alkalmasságának elbírálásánál, a következő szempontok szerint fogunk eljárni. Az egyes megoldásokat összehasonlítjuk egymással az alábbi $a-f$ pontok alapján :*

* Ilyen összehasonlító számításoknak nagy irodalma van. Itt példaképpen csak E. Schmidt [6] cikkét említem meg, ahol további irodalom felsorolása található

- a) a készülék homlokvetületére vonatkoztatott hőteljesítmény,
- b) légellenállás,
- c) a hőteljesítmény aránya a ventilációs erőszükséglethez,
- d) a felmelegítési viszonyszám,
- e) az 1 kg felhasznált fémnyagra vonatkoztatott hőteljesítmény,
- f) a leggazdaságosabb bordahossz.

Mielőtt az egyes pontokkal kapcsolatos részletkérdésekre rátérnék, meg kell jegyezni, hogy jelen előadás keretében kizárólag az elvi alapok lefektetéséről és csupán az apróbordák hőleadásáról lehet szó. A szerkezeti megoldások, amelyek szükségesek ahhoz, hogy a hő a bordákhoz eljusson, ezúttal figyelmen kívül maradnak. Nem fogok tehát foglalkozni a hőcserekészülékeknel alkalmazandó csövek, vagy kamrák hőközlési viszonyaival, méretezésével stb. Látni fogjuk azonban a levezetésekéből, hogy a bordahossz megállapítása lehetővé teszi az elvi alapon kihozott eredményeknek a gyakorlatba való átültetését.

Ad. a) A homlokvetületre vonatkoztatott hőteljesítményt úgy értelmezzük, hogy valahányszor egy elvileg a 10. ábra *a*, vagy *b* rajza szerint kialakított hőcserekészüléket vizsgálunk, azt mindig annyi bordából állónak képzeljük el, hogy függőleges irányban is és vízszintes irányban is a készülék külső mérete 1—1 m legyen. Természetesen ezt úgy kell érteni, hogy a bordákhoz minden $2h$ távolságban egy képzelt vonal mentén az általuk leadott hőt oda kell vezetni. A valóságban minden ilyen vonalnál egy gőzzel, vagy vízzel fűtött csőnek, vagy kamrának kell lenni, amivel a bordák fémes hővezető kapcsolatban állnak. Minthogy ezek a csövek, vagy kamrák helyet foglalnak el, a tényleges hőcserekészülék homlokvetületre vonatkoztatott hőteljesítménye kisebb lesz, mint ami elméletileg kiadódik. Ha azonban minden egyes vizsgálat alá vont készüléknél ismeretesekek azok a $2h$ távolságok, ahol a csöveket, vagy kamrákat alkalmazni kell, akkor a továbbiakban kiszámított eredményeket könnyen átvihetjük a tényleges megoldásra, ha már eldöntöttük, hogy milyen csöveket, vagy kamrákat akarunk alkalmazni.

Nevezzük a vetületre vonatkoztatott hőteljesítményt Q -nak, akkor

$$Q = \alpha_m \eta_b F \vartheta_k \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \text{ vetület, óra}}. \quad (16)$$

Az α hőátadási tényező kiszámítására mindig a szóbanlevő konkrét esetben érvényes képletet fogjuk alkalmazni. A 16. egyenletben szerepel a bordahatásfok. Ez a fogalom kifejezi azt a viszonyszámot, amely jelzi, hogy mennyivel kevesebb hőt képes a borda leadni amiatt, hogy felületi hőmérséklete a tövétől kezdve a közepéig állandóan esik és ezáltal a közepes hőmérsékletkülönbség csökken, ahhoz az ideális állapothoz képest, amely előállna akkor, ha a borda fémnyagának hővezetőképessége végtelen lenne, vagyis, ha ez a

hőmérsékletesés nem mutatkozna ([4] 232. old.). Az irodalomban a bordahatásfok kifejezésére a következő egyenletet használják :

$$\eta_b = \frac{t h(mh)}{m h} \quad (17) \quad \text{ahol } m = \sqrt{\frac{\alpha_m k_b}{\lambda f}}$$

Ez a hiperbolikus tangens függvény a számításokban bizonyos kényelmetlenséget okoz, ami azonban kiküszöbölhető. Ha felrajzoljuk a 9. ábrán az

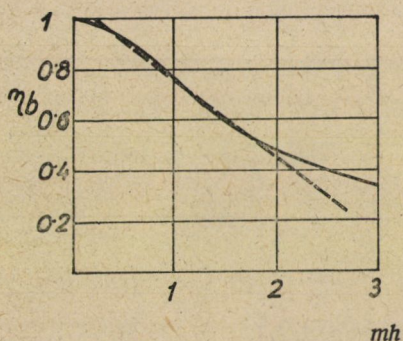
$$\eta_b = f(mh)$$

függvényt, azt látjuk, hogy azon a területen, amely bennünket érdekel, vagyis $0,98 > \eta_b > 0,5$ szakaszán jól helyettesíthető a következő egyenessel

$$\eta_b = 1,06 - 0,3 mh. \quad (18)$$

Az ilymódon adódó hiba a soronkövetkező számításoknál elhanyagolható (max. 1,5%).

Ad. b) A légellenállást úgy értelmezzük, hogy a vizsgált $1 \times 1 \text{ m}^2$ homlokvetületű hőcserekészüléket egy ugyanilyen keresztmetszetű egyenes légsator-



9. ábra. A bordahatásfok ábrázolása

nába képzeljük beépítve. A levegő tehát a készülék előtt és mögött azonos sebességgel áramlik. A számításokat olyan kis hőmérsékletkülönbségek figyelembevételével végezzük, hogy a levegő felmelegedése és kitérülése elhanyagolható legyen. Ezt a Δp statikus nyomáskülönbséget, amely ilymódon előáll, tekintjük a készülék légellenállásának.

Ad. c) Az 1 m^2 homlokvetületű készüléken különböző sebességgel áramoltatjuk át a levegőt. A légsebesség és a hőmérsékletkülönbség alapján a hőteljesítményt ki tudjuk számítani. Ugyancsak meghatározzuk a ventilációs teljesítményt is, amelyet kcal/ó egységekre számítunk át. Ha ezt a két számot arányba állítjuk egymással, megkapjuk a jellemző tényezőt, amely mutatja,

hogy 1 kcal/ó ventilációs teljesítménnyel hány kcal/ó hőteljesítményt tudunk 1° C kezdeti hőmérsékletkülönbség mellett (lásd *d*) pontot) szolgáltatni.

Ha a nyomásesést a készülékben $\Delta p \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \right]$ -vel jelöltük, a ventilációs teljesítményt a következőképpen számíthatjuk ki:

$$AN = AV \Delta p \quad 3600 \quad (19)$$

Ad. *d*) Ha a vizsgált készüléken levegőt áramoltatunk át és a bordákkal a képzelt 2 *h* távolságú vonalak mentén hőt közlünk, a levegő a készülékben felmelegszik. E folyamatnál a következő hőmérsékleteket jelölhetjük meg: a levegő belépő t_1 és kilépő hőmérsékletét t_2 , a levegő felmelegedését $t_2 - t_1 = \tau$, a bordák hőmérsékletét a hőközlő vonalak mentén t_b . A bordahatásfok η_b bevezetése után (*a*) pont) eltekinthetünk attól, hogy a bordák hőmérséklete a hosszúságuk mentén változó, legmagasabb tövüknél, legalacsonyabb a 2 *h* távolság közepén és úgy vesszük, mintha a hőmérsékletük mindenütt egyformán t_b lenne. Azt a hibát, amelyet ily módon elkövetünk, kiküszöböli a bordahatásfok bevezetése. Most még meghatározzuk az ú. n. »felmelegítési viszonyszámot« oly módon, hogy a levegő felmelegedését elosztjuk a mutatkozó legnagyobb hőmérsékletkülönbséggel.

$$\eta_f = \frac{t_2 - t_1}{t_b - t_1} = \frac{\tau}{\vartheta_1} \quad (20)$$

η_f ezek szerint mindig 0 és 1 között fekvő érték. Az 1 határértéket akkor veszi fel, ha a fűtőfelület végtelen nagy, tehát a kilépő levegő felveszi a fűtőfelület hőmérsékletét. *Q* kiszámításánál a 16. egyenlet szerint szükségünk van ϑ_k -re, a log. középhőmérsékletkülönbségre. Állítsuk elő τ és ϑ_1 segítségével az irodalomból ismert módon:

$$\vartheta_k = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{\ln \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}} = \frac{\tau}{\ln \frac{\vartheta_1}{\vartheta_1 - \tau}} = \frac{\tau}{-\ln \left(1 - \frac{\tau}{\vartheta_1} \right)}$$

Ezzel kifejeztük a logaritmikus középhőmérsékletkülönbséget a belépő hőmérsékletkülönbséggel és a felmelegedéssel. Ha a következő vizsgálatainkat mindig $\vartheta_1 = 1$ -nél folytatjuk, vagyis a belépő hőmérsékletkülönbséget 1 C°-ra választjuk meg, akkor

$$\vartheta_{k1} = \frac{\tau}{-\ln(1 - \tau)} \quad \text{és} \quad \eta_f = \tau$$

Ha most még figyelembe vesszük, hogy

$$Q = \alpha_m \eta_b F \vartheta_k = Lc_p \tau$$

és

$$\frac{\tau}{\vartheta_k} = -\ln(1-\tau)_{\vartheta_1=1} = \frac{\alpha \eta_b F}{L c_p}$$

kapjuk :

$$\vartheta_k = \frac{\tau L c_p}{\alpha_m \eta_b F} \quad \text{és} \quad (\tau)_{\vartheta_1=1} = (1 - e^{-\frac{\alpha_m \eta_b F}{L c_p}})$$

Ebből

$$\vartheta_{k1} = (1 - e^{-\frac{\alpha_m \eta_b F}{L c_p}}) \frac{L c_p}{\alpha_m \eta_b F} \quad (21)$$

vagyis a logaritmikus középhőmérsékletet kifejeztük lényegében a levegőmeny-nyiséggel és a geometriai méretekkel, mert minden egyéb, ami a képletben még előfordul (kivéve a fizikai anyagjellemzőket) ezek függvénye.

Ha most visszatérünk a 16. egyenletre és behelyettesítjük ϑ_{k1} értékét a 21. egyenletből, kapjuk a végeredményt

$$(Q)_{\vartheta_1=1} = Q_1 = (1 - e^{-\frac{\alpha_m \eta_b F}{L c_p}}) L c_p = (\tau)_{\vartheta_1=1} L c_p \quad [\text{kcal/m}^2 \text{ vet. } \acute{o}^\circ \cdot \vartheta_1] \quad (22)$$

Ez az egyenlet azért alkalmas a következő számítások elvégzéséhez, mert lehetővé teszi az egyenlő kiinduló feltételek biztosítását azáltal, hogy a hőátadási folyamat mindig $\vartheta_1 = 1^\circ$ különbséggel indul. A logaritmikus középhőmérséklet-különbség önműködőleg belekerül a számításba. A 22. egyenletben $(1 - e^{-\frac{\alpha_m \eta_b F}{L c_p}})$ maga a felmelegítési viszonyszám és egyben a levegő felmelegedése is. Ha viszont e számításokról át akarunk térni tetszőleges üzemi viszonyok vizsgálatára, ahol tehát ϑ_1 nem egyenlő 1-gyel, nem kell mást tennünk, mint Q_1 és $\tau_{\vartheta_1=1} = 1$ értékét a valóságos ϑ_1 -el megszorozni, hogy megkapjuk a tényleges üzemi állapotnak megfelelő eredményt.

Nem szabad azonban megfeledkezni arról, hogy a jelen esetben ϑ_1 a belépő levegő és a borda tövének hőmérsékletkülönbségét jelenti, tekintet nélkül arra, hogy a valóságos kivitelnél a csövekben, vagy kamrákban is adódnak hőfok-esések. Ezeket akkor kell figyelembe venni, amikor a valóságos készülékek méretezésére áttérünk.

Ad. e) Az 1 kg felhasznált bordaanyagra vonatkozó hőtéljesítménynél különösebb magyarázatra nincs szükség, csupán azt említem meg, hogy a súly itt sem foglalja magába a csövek vagy kamrák súlyát, hanem csupán a bordákét.

Ad. f) A leggazdaságosabb bordahocsz kiszámítását az irodalomban többhelyütt megtalálhatjuk (pl. [1] 25. old.). Ezért csak annyit említek meg,

hogy a bordák méretezésénél van egy legkedvezőbb arány a borda vastagsága δ és hossza h között, amely a fémanyag hővezetőképessége λ_f és a hőátadási tényező α függvénye. Ha az idézett irodalmi forrásból átvett képletet a mi jelöléseinkkel írjuk fel, kapjuk

$$\frac{2h_g}{\delta} = 1,419 \sqrt{\frac{2\lambda_f}{\alpha\delta}} \quad (23)$$

Ez az egyenlet határozza meg azokat a $2h$ távolságokat, amelyekben a bordákhoz a hőt oda kell vezetni. Ez képezi tehát a hidat a valóságos hőcserekészülékek számításához való átmenetnél. Az összehasonlító számítások menete a továbbiakban az, hogy felvesszünk olyan legkisebb méretű apróbordákból álló hőelemet, amelyet még gyakorlatilag kivihetőnek tartunk és azt többféle változatban (különböző bordaelrendezés, osztás stb.) az a — f) pontokban foglaltak szerint végigszámoljuk és a számítások eredményét megfelelő görbesorokba foglaljuk. Hogy az összehasonlításnál biztosabb alapokra álljunk, az apróbordás hőelemek mellett (10. ábra b rajz) kiszámítjuk két simabordás hőelem (10. ábra a rajz) adatait is és azokat belevonjuk az összehasonlításba. A számításokat teljes részletességgel közölni nem volna lehetséges, ezért csupán néhány fontosabb körülményre térünk ki.

A sima (nem apróbordás) hőelem számításánál figyelembe vettük, hogy bár az az áramlás irányában apróbordásnak nem tekinthető, azonban mégsem elég hosszú ahhoz, hogy akár a lamináris, akár a turbulens áramlás kialakuljon (vagyis ahhoz, hogy a jellegzetes lamináris, vagy turbulens sebességeloszlás létrejöjjön), amelyhez legalább 100, illetőleg 40 d_e áramlási hossz szükséges. Ha a sima bordák közötti áramlást csőben való áramlásnak tekintjük, akkor a szokásos módon számolhatunk az egyenértékű hidraulikus átmérővel.

$$d_e = \frac{4 \cdot \text{keresztmetszet}}{\text{kerület}}$$

Mint hogy kialakult lamináris, vagy turbulens áramlásról nem lehet szó, a hőátadást mindkét esetben a kialakulóban levő ú. n. kezdő áramlás törvényei szerint számítottuk ki. A kezdő áramlás hőátadási tényezőjére vonatkozólag kitűnő adatokat találunk Mihjejev [7] könyvében. A sima bordák közötti négyzetes keresztmetszetű csatornában való áramlásnál Mihjejev szerint úgy a lamináris, mint a turbulens területen a könyvében közölt egyenletek alkalmazhatók, az említett hidraulikus átmérő figyelembevételével.

A legújabb szovjet kutatások szerint a lamináris kezdő áramlásnál a kis áramlási sebesség mellett a szabad áramlás nem hanyagolható el, amely a könyvben részletesen kifejtettek szerint számottevően befolyásolja a hőátadási

tényezőt. Ezért Aladjev kutatásai alapján a lamináris kezdő áramlás hőátadási tényezőjének kiszámítására a következő képlet használható

$$Nu = 0,74 Re_m^{0,2} (Gr Pr)_m^{0,1} Pr_m^{0,2} \varepsilon_l \quad (23)$$

Az m indexek arra utalnak, hogy az áramlási sebességnél és a fizikai jellemzőknél egyaránt a közepes értékekkel kell számolni és a hőfokoknál $t_m = 0,5, (t_{fal} + t_{folyadék})$. Nu, Re, Gr, Pr , a szokásos jelölései a Nusselt, Reynolds Grashof és Prandtl számoknak. ε_l egyszerű tényező, amely $\frac{1}{d_e} < 50$ határig érvényes és értékei megtalálhatók táblázatszerűen összefoglalva a Mihjejev-könyv 97. oldalán. Ez az egyenlet kifejtve a következő alakot veszi fel

$$\alpha_m = \varepsilon_l B_1 \frac{(\gamma w)^{0,2}}{d_e^{0,5}} \tau^{0,1} \quad (24)$$

ahol B_1 tartalmazza az összes fizikai jellemzőket. Feltűnik a képletben, hogy bár lamináris áramlásról van szó, előfordul benne az áramlási sebesség és egy a hőmérsékletkülönbség 1/10 hatványával arányos tényező, amelyek az el nem hanyagolható szabad áramlás folytán kerülnek az egyenletbe. Számításainknál tehát a lamináris áramlásnál a 24. egyenlet szerint kiszámított α hőátadási tényezőt kell a 21. egyenletbe behelyettesíteni.

A bordák közötti keskeny résben való áramlásnál a nyomásesést természetesen ugyancsak nem számolhattuk a kialakult lamináris áramlásnak megfelelő képlettel, hanem figyelembe vettük, hogy a kezdő áramlásnál nagyobb nyomásesés áll elő és azt L. Schiller [8] szerint számítottuk.

A sima bordáknál a turbulens területen ugyancsak Mihjejev közli a következő képletet a hőátadási tényezőre vonatkozólag, amely figyelembe veszi a kezdő áramlásnál mutatkozó jobb hőátadást.

$$Nu_f = 0,023 Re_f^{0,8} Pr_f^{0,4} \varepsilon_l \quad (25)$$

Az f index szerint a fizikai jellemzők értékeit a folyadék közepes hőmérsékleténél kell venni. ε_l itt is a kezdő áramlásnál $1/d_e < 50$ határig érvényes szorzótényezőt jelent, amelyet a Mihjejev könyvben található táblázat szerint kell alkalmazni. Ez az egyenlet explicit alakban a következőképpen fejthető ki.

$$\alpha_m = 0,023 \frac{\lambda}{d_e} \left(\frac{w d_e}{\nu} \right)^{0,8} \left(\frac{\nu}{a} \right)^{0,4} \varepsilon_l \quad (26)$$

Ebben az alakban használtuk fel az egyenletet a turbulens határon túl a hőátadási tényező kiszámítására a sima bordáknál.

A Δp légellenállás kiszámítása a turbulens kezdőáramlásnál természetesen nem végezhető a kialakult turbulens áramlásra vonatkozó Blasius egyenlet szerint. A helyes számítási módra az irodalomban csak igen kevés adatot találunk (Möbius kísérletei), de a nálunk előforduló $10 < \frac{1}{d_e} < 20$ értékhatárok

között, csupán becslések állanak rendelkezésre [9]. Ezért ezen a területen külön mérésekre volt szükség, amelyeket az aerodinamikai tanszék vezetője, dr. Gruber József végzett el. A turbulens kezdőáramlásnál a légellenállás kiszámítását e kísérleti adatok felhasználásával végeztük.

Bizonyos nehézségeket okoz a számításoknál az a körülmény, hogy a hőátadási tényezőnek a kritikus áramlási sebességnél (ahol a lamináris áramlás turbulensbe csap át) a 24., illetve a 26. egyenlet szerint különböző értékei vannak. A számítás tehát azt eredményezi, hogy a hőátadási tényező a kritikus sebességnél ugrásszerűen növekszik. A valóságban ilyen éles határ és ugrásszerű növekedés nem tapasztalható, minthogy az áramlásnak laminárisból turbulensbe való átmenete bizonyos határok között elmosódik. Erre nézve azonban sem kísérleti, sem irodalmi adatok nem állnak rendelkezésünkre és így a sima bordás hőkicszerelő elemek számításánál különválasztottuk a lamináris és a turbulens területet és a 13. ábrán szaggatott vonalakkal külön görbékkel ábrázoltuk. Ily módon minden egyes jellemző görbe 2 részből áll és a lamináris áramlást jellemző görbék a nagyobb Q_1/AN értéknél fekszenek. A 13. ábrára egyébként a továbbiakban még részletesen rátérünk.

Az apróbordás hőelem kiszámításánál az irodalmi adatok, valamint a HŐKI. mérései alapján a hőátadási tényezőt a Mc. Adams ajánlotta [4] egyenlet szerint számítottuk:

$$St \cdot Pr^{1/2} = Re^{-0,5} \quad (27)$$

Ez az egyenlet a $200 < Re < 20\,000$ határok között érvényes.

A (27) egyenletben a Reynolds szám meghatározására a w m/mp áramlási sebességet a bordák közötti résben kell kiszámítani a 10.b ábrán s -sel jelölt keresztmetszetben. Jellemző geometriai méretként $2 \cdot (r + \delta)$, értéket, vagyis a bordák kerületét kell behelyettesíteni. Ily módon a képlet kifejtve a következőképpen alakul:

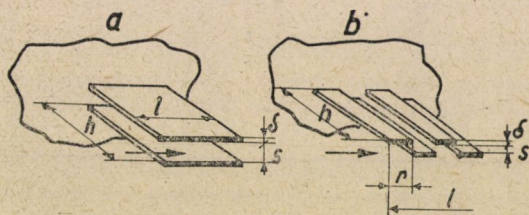
$$\alpha_m = 10,92 w^{1/2} \frac{1}{(r + \delta)^{1/2}} \frac{(\gamma c_p)^{1/2} \lambda^{2/3}}{\nu^{1/4}} \quad (28)$$

és felhasználható a 21. egyenlet kiszámításához.

Az apróbordák hőátadásának számításához felhasznált (27), ill. (28) egyenlet nem választja külön a lamináris és a turbulens áramlás területét.

Ennek magyarázata az, hogy a sűrű bordázat már igen kis áramlási sebességeknél is erős turbulenciát okoz és így lamináris áramlás a szó szorosán vett értelmében nem jöhet létre. Ezért ábrázolható a hőátadási tényező azon a széles területen, amely bennünket érdekel egyetlen képlettel. Ilymódon azok a nehézségek, amelyek a sima bordák hőátadási tényezőjének a kritikus sebességnél adódó kettős értéke miatt a jellemző görbék felrajzolásánál előálltak, az apróbordáknál nem mutatkoznak, hanem teljesen egységes és folytonos görbék rajzolhatók fel, amint azt a 13. ábránál látni fogjuk.

A 10.b vázlatos rajz szerinti bordaelrendezés légellenállása természetesen lényegesen nagyobb annál az értéknél, amelyet a (3) vagy (6) egyenletek alapján kapnánk. Azok az éles sarkok, irány- és keresztmetszetváltozások, amelyek az ábrán láthatók, a tiszta súrlódási ellenálláshoz képest erősen növelik az áram-



10. ábra. a) Sima bordás hőelem. b) Apróbordás hőelem

lási ellenállást. A nyomásesésre vonatkozólag az apróbordáknak a 10.b vázlat szerinti elrendezésénél irodalmi adatokat csak igen kis számban lehet találni és azok is részben egymásnak ellentmondanak, részben olyanok, hogy azokra a bordaelrendezésekre, amelyeket számításaink tartalmaznak, nem vehetők át. Ezért a Hőtechnikai Kutató Intézet az áramlási ellenállás megállapítására méréseket végez. A mérések alumíniumlemezből kisajtolt bordák segítségével folynak, amelyeket természetes nagyságban, különböző elrendezésben, különbözőszámú egymásután következő sorban lehet lemérni. A légellenállásmérések egyelőre izotermikus áramlásnál, tehát fűtés nélküli bordákkal folynak. A bordák sajtolással készültek, ugyanúgy, ahogy a kivitel esetén készülni fognak, tehát a gyártási tökéletlenségek hatását a mérési eredmények figyelembe veszik. A 11. kép egy ilyen sajtolt borda keresztmetszetének nagyított fényképe. Az erős nagyítás miatt a teljes borda nem fér el a képen és ezért két bordának egymás felé fordított éleit ábrázolja. Jól látható a képen, hogy a bordák sarkai távol vannak az elméleti geometriai alaktól és ez a körülmény természetesen az áramlásra is kihat. A bordák különböző elrendezésben nem képeznek geometriai-

lag hasonló rendszereket és így a hasonlósági elmélet alapján az áramlási ellenállásnak egy általános képletben való kifejezése nem lehetséges.

Egyelőre a mérési eredményeknek empirikus képletbe való összefoglalása sem sikerült, hanem azokat $\xi = CRe^m$ alakban táblázatba foglaltuk össze, minden egyes elrendezésnél külön C és m értékkel. A méréseknél talált pontok bizonyos szórást mutatnak, mint ahogy az a 12. ábrán látható. Az ábrában folytonos vonallal berajzoltuk azokat az egyeneseket, amelyekkel a görbéket helyettesítjük és így kétszeres logaritmikus léptékben felrajzolva két különböző hajlásszögű egyenest nyerünk. A két egyenes metszéspontja előtt, tehát egy bizonyos Reynolds számig, ξ az egyik egyenes, ezen érték felett a másik egyenes szerint változik a Reynolds szám függvényében. A kritikus Reynolds szám előtt ξ értékét C_1, m_1 utána C_2, m_2 tényezőkkel számíthatjuk ki. Az ily módon megállapított tényezőket arra a két esetre vonatkozólag, amelyet a későbbiekben számítottunk, a 2. táblázat foglalja össze. Ezek szerint a nyomásesés

$$\Delta p = n \xi \frac{w^2}{2g} \gamma \quad \xi = C_e Re^{m_e}$$

ahol $n = \frac{l}{r} =$ a bordasorok száma

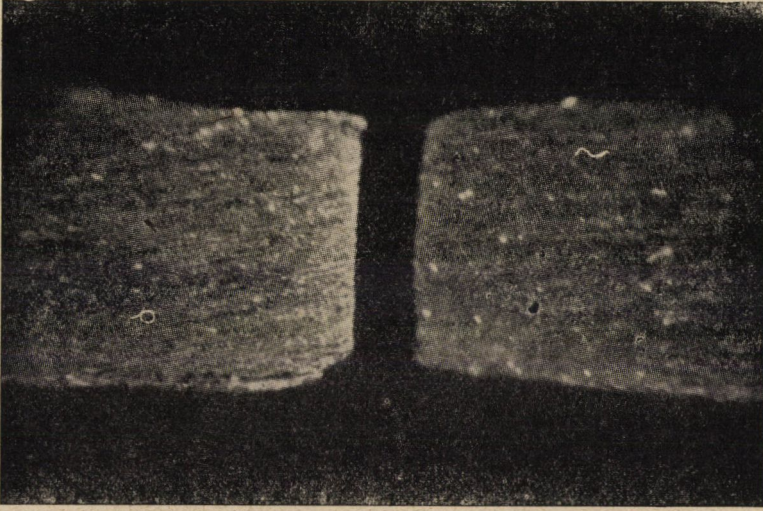
ha $Re < Re_{kr} : C_e = C_1 ; m_e = m_1$

$Re > Re_{kr} : C_e = C_2 ; m_e = m_2$

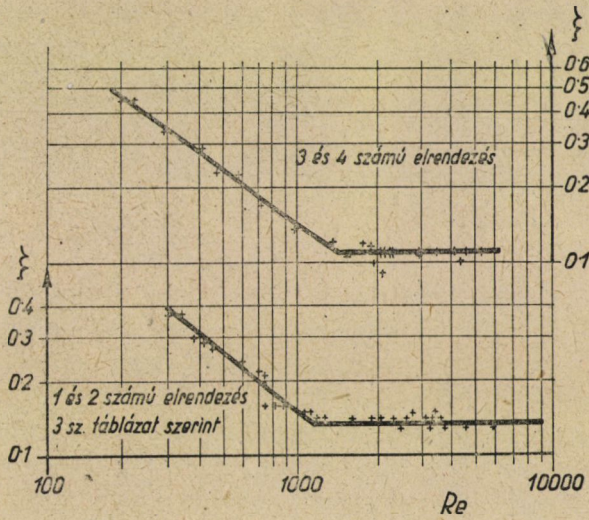
2. TÁBLÁZAT

méretek mm-ben			Re_{kr}	C_1	m_1	C_2	m_2
s	r	δ					
3,5	2	0,5	1150	30,4	-0,768	0,135	0,—
3,3	2	0,3	1400	23	-0,737	0,110	0,—

Ezzel lehetővé tettük az összehasonlító számítások elvégzését, amellyel szembeállítjuk egymással a 3. táblázat szerinti bordaelrendezéseket. Számításainknál kis hőmérsékletkülönbségeket vettünk alapul, amelyeknél a folyadék felmelegedése nem okoz lényeges változást sem az áramlás, sem a hőátadás alakulásánál.



11. ábra. Sajtólással készült borda nagyított fényképe



12. ábra. Az apróbordás hőkicszerelő légellenállás tényezője $\xi = f(Re)$

3. TÁBLÁZAT

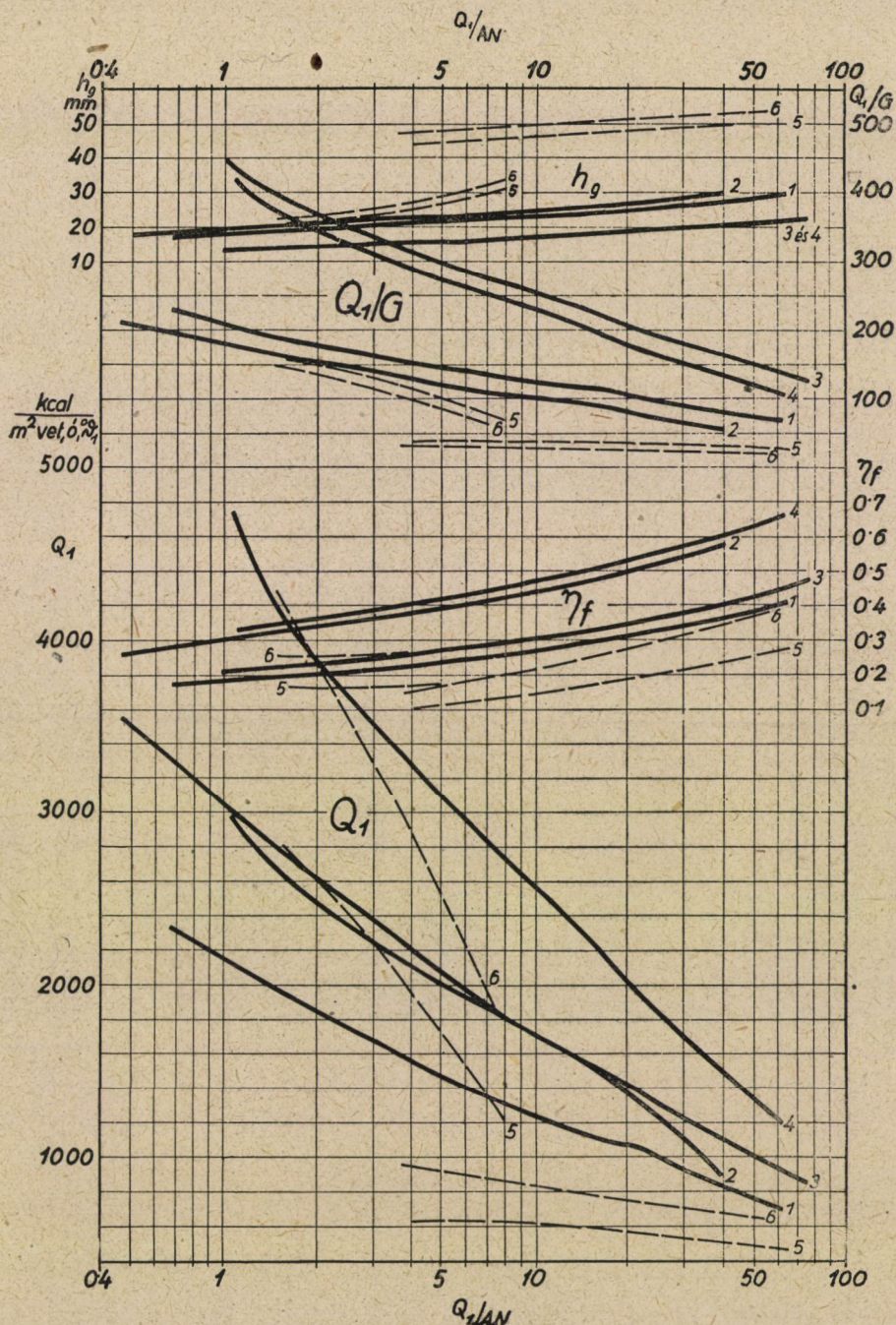
Szám	Megnevezés	Méretek mm-ben*			
		s	r	δ	l
1	Apróbordás	3,5	2	0,5	30
2	«	3,5	2	0,5	50
3	«	3,3	2	0,3	30
4	«	3,3	2	0,3	50
5	Simabordás	2,5	—	0,3	60
6	«	2,5	—	0,3	100

Amint a táblázat mutatja, az összehasonlításnál a sima bordás hőcserélőelemek teljes hossza az áramlás irányában az apróbordás hőcserélőelemek teljes hosszának kétszerese. Ezt azért vettük fel így, mert a sima bordás hőelemek a levegőt sokkal kevésbé melegítik fel, mint az apróbordások. A számítások eredményeit a 13. ábra foglalja össze görbesorok formájában. A vízszintes tengelyen tüntettük fel logaritmikus léptékben Q_1/AN értékét, vagyis, hogy milyen kcal/ó hőteljesítményt lehet 1 kcal/ó befektetett ventilációs teljesítménnyel leadni. Az ábrában tehát kedvezőek azok a hőelemek, amelyeknek görbéi vízszintes irányban a tengely 0 pontjától távol esnek. A függőleges tengelyen egymásután tüntetjük fel lineáris léptékben Q_1 , \dot{v}_f , Q_1/G és h_g értékeit.

A görbék mellé írt számok a 3. táblázat sorszámaival egyeznek és az ott közölt bordaelrendezést jelzik.

A 13. ábra lehetővé teszi, hogy az abban feldolgozott eseteknél külön-külön mérlegeljük minden egyes lehetséges megoldás előnyeit, vagy hátrányait, a lefektetett szempontok szerint. Általános érvénnyel kimondhatjuk, hogy ha adott ventilációs teljesítménnyel nagy hőteljesítményt kívánunk elérni, vagyis Q_1/AN értéket nagyra választjuk, akkor az 1 m² homlokvetületre vonatkoztatott hőteljesítmény, Q_1 , kis értékre adódik és ugyanez a helyzet Q_1/G esetében is. Ugyanakkor azonban a felmelegítési viszonyszám \dot{v}_f és a bordahossz h értéke aránylag magas lesz. Mindez a vizsgált 1.—6. számú hőcserélőelemek mind-egyikére általánosságban vonatkozik. Ha most a különböző hőcserélőelemeket egymáshoz viszonyítjuk, azt látjuk, hogy a nagy Q_1/AN értékeknél tehát az ábra

* Jelölések a 10. ábra szerint.



13. ábra. Különböző hőcserélőelemek összehasonlítása. $Q_1 = A$ az 1 m² vetületre vonatkoztatott hőteljesítmény $\eta_f = A$ a fellemeztési viszonyszám $Q_1/G = A$ az 1 kg felhasznált anyagra vonatkoztatott hőteljesítmény $h_g =$ Bordahossz. A görbék mellé írt számok a 3. számú táblázat sorszámait jelzik. A teljes vonalak az apróbordás, a szaggatott vonalak a sima bordás hőcserélőelemre vonatkoznak.

jobboldalán Q_1 , Q_1/G és η_f értéke az apróbordás hőkicszerélőknél (1—4 görbék) mindig magasabb, tehát előnyösebb, mint a sima bordák (5—6) esetében. Egyedül a bordahossz h az, amely a sima bordák esetében előnyösebbre adódik, azonban amint a görbék mutatják, erősen a többi tényező rovására. Érdekes még az apróbordás elemeket egymással is összehasonlítani, amikor is az látjuk, hogy Q_1 és η_f tekintetében a 4. számú görbe a legelőnyösebb, de Q_1/G szempontjából ugyanez a bordaelrendezés már csak a 2. helyre, h szempontjából a 3. helyre szorul. Nem lehet tehát olyan hőkicszerelőelemet szerkeszteni, amely minden előnyös tulajdonságot együttesen képes felmutatni. Választanunk kell tehát, hogy egyes esetekben melyek azok a tényezők, amelyekre különösen súlyt helyezünk és a görbék segítségével azokat kell előnyösen megválasztanunk főbbé-kevésbé az egyéb szempontok rovására.

Ha a ventilációs teljesítmény nem játszik döntő szerepet, akkor dolgozhatunk Q_1/AN kis értékeivel, vagyis az ábra baloldalán. Ez esetben, amint a görbék mutatják, sima bordás hőkicszerelő készülékekkel ugyanolyan kedvező Q_1 értéket tudunk elérni, mint az apróbordás elemekkel, sőt még kedvezőbbet is, de ugyanakkor a sima bordás elemek kisebb Q_1/G értékeket mutatnak fel. Ha pl. Q_1/AN értékét kettőnek vesszük, a sima bordára vonatkozó 6. sz. görbe azonos Q_1 értéket ad az apróbordás 4. sz. görbével. Ugyanakkor azonban az 6. sz. görbe Q_1/G értéke 130, szemben a 3. sz. görbe 370 és a 4. sz. görbe 345 értékével. Ilyen arányban lehet tehát az adott esetben apróbordás hőkicszerelő készülékkel 1 kg bordasúlyra vonatkoztatva több hőt leadni, mint sima bordákkal. Hasonló a helyzet a felmelegítési viszonzyszám tekintetében is, ahol ugyancsak az apróbordák vannak előnyben, csupán a bordahossz szempontjából mutatkozik némi előny a sima bordák javára.

Végeredményben kimondhatjuk tehát, hogy az összehasonlításnál alapul vett szempontok szerint általában az apróbordás hőkicszerelő készülékek mutatkoznak előnyösebbnek. Az előny az 1 kg bordaanyaggal leadható fajlagos hőteljesítmény, valamint a ventilációs teljesítményszükséglet és a felmelegítési viszonzyszám tekintetében minden egyes esetben igen nagy mértékben mutatkozik, az egyéb jellemzők tekintetében azonban a különbségek különbözőek. Kivételt csupán az 1 m² homlokvetületre vonatkoztatott Q_1 hőteljesítmény képez, amelynél, ha a ventilációs teljesítmény nem játszik döntő szerepet, sima bordákkal kedvezőbb eredményt lehet elérni, de amint már mondtuk, kizárólag az anyagfelhasználás lényeges hátrányára.

Összefoglalás

A határrétegméletből lezűrhető, hogy jó hőátadási tényezővel bíró hőkicszerelőelemeket kis áramlási hosszakkal kell megszerkeszteni és azokat kis áramlási sebességekkel kell üzemben tartani. Mindkét irányelv végrehajtásánál vannak határok, amelyek miatt csak kompromisszumos megoldásokat lehet alkal-

mazni. A legmegfelelőbb hőkicszerelőelemek kialakításához a lehetséges megoldások között alkalmas összehasonlítási alapot kell teremteni, amely szerint az egyes hőkicszerelőelemek különböző célokra a leggazdaságosabb végeredményt adják. Példaképpen összehasonlítottunk néhány bordaelrendezést egymással, valamint sima bordázatú hőelemekkel és azt találtuk, hogy a ventilációs munka figyelembevételével, apróbordás rendszerrel előnyösebb megoldásokat lehet találni, mint simabordással. A közlemény kimutatja, hogy bordázott hőkicszerelőelemeket alumíniumból előnyösebben lehet előállítani, mint más fémekből.

Az elmondottak nem terjednek ki szerkezeti, gyártástechnológiai és üzemi kérdések taglalására.

A KÖZLEMÉNYBEN ALKALMAZOTT JELÖLÉSEK JEGYZÉKE

$a = \frac{\lambda}{\gamma c_p}$	hőmérsékletvezetési tényező	$m^2/ó$
$A = 1/427$	A munkaegység hőegyenértéke	kcal/mkg
$A_1 = 1,5(Pr)^{1/6}$		
$b =$	felhasznált hengerelt fémelem ára	Ft/kg
$c_f =$	a felület áramlási ellenállástényezője	
$c_{fm} =$	A felület átlagos ellenállástényezője	
$c_{fm} = \frac{2}{x \varrho U^2}$	$\int_0^x \tau_0 dx = \frac{1}{x} \int_0^x c_f dx$	
$c_p =$	fajhő állandó nyomásnál	kcal/kg, °C
$d_e =$	egyenértékű hidraulikus átmérő	m
$f =$	egy borda keresztmetszete	m^2
$F =$	1 m^2 vetületre vonatkoztatott összes bordafelület	m^2
$F_b =$	összes bordafelület	m^2
$G =$	a bordák előállításához felhasznált fémanyag súlya, 1 m^2 vetületre vonatkoztatva	kg
$Gr = \beta \frac{g l^3}{\nu^2} \tau$	Grashof szám [7] 6f. old.	—
$h =$	bordahossz	m
$h_g =$	a leggazdaságosabb bordahossz	m
$K =$	költségtényező	—
$K_b =$	a borda kerülete	m
$l =$	a bordának az áramlási iránnyal párhuzamos összhossza (l. 10. ábra)	m
$L =$	1 m^2 vetületen átáramló légmennyiség	kg/ m^2 vet. ó.
$m = \sqrt{\frac{\alpha K_b}{\lambda_b f}}$		
$m_e =$	kitevő az ellenállástényező ξ kiszámításához	—
$N =$	ventilációs teljesítmény	mkg/mp
$Nu_x = \frac{\alpha x}{\lambda}$	Nusselt szám	—
$\Delta p =$	statikus nyomáskülönbség	kg/ m^2
$Pr = 3600 \frac{\nu}{a}$	Prandtl szám	—

$Q_b =$	bordák konvekciós hőleadása	kcal/ó
$Q =$	1 m ² vetületre vonatkoztatott hőleadás	kcal/ó m ² vet.
$Q_1 =$	$\vartheta_1 = 1$ -re vonatkoztatott hőleadás	kcal/ó m ² vet. °C
$r =$	egy bordának az áramlási iránnyal párhuzamos mérete (l. 10. ábra)	m
$Re_x = \frac{Ux}{\nu}$	Reynolds-féle szám	—
$St = \frac{\alpha}{3600 c_p w \gamma}$	Stanton f. szám	—
$t_1 =$	hőkicszerelőbe lépő levegő hőmérséklete	°C
$t_2 =$	hőkicszerelőből kilépő levegő hőmérséklete	°C
$t_b =$	a borda hőmérséklete a bordák tövéénél	°C
$U =$	a zavartalan áramlás sebessége	m/mp
$V =$	a hőkicszerelő készülék 1 m ² vetületén átáramló lég- mennyiség	m ³ /mp
$w =$	áramlási sebesség a bordák között	m/mp
$W =$	erő, melyet a hőkicszerelő az áramlási közeggel szemben kifejt	kg
$x =$	a sík lap élétől mért hosszúság	m
$\alpha =$	konvekciós hőátadás helyi tényezője	kcal/m ² ó °C
$\alpha_m =$	konvekciós hőátadás átlagos tényezője	kcal/m ² ó °C
$\beta =$	térfogat hőtágulási tényezője	1/°C
$\gamma =$	fajsúly	kg/m ³
$\delta =$	az áramlási határréteg vastagsága	m
$\delta_t =$	hőmérsékleti határréteg vastagsága	m
$\delta_b =$	a borda vastagsága	m
$\varepsilon =$	szorzó tényező, l. Mihjejev könyv 97. oldalán	—
$\xi =$	alakellenállás tényező	—
$\eta_b = \frac{th(mh)}{mh}$	a borda hatásfok	—
$\eta_f = \tau/\vartheta_1$	felmelegedési viszonyszám (20. képl.)	—
$\vartheta_1 = t_b - t_1$	túlhőmérséklet	°C
$\vartheta_2 = t_b - t_2$	túlhőmérséklet	°C
$\vartheta_k =$	logaritmikusk középhőmérséklet különbség	—
$\lambda =$	hővezetési tényező	kcal/m ó °C
$\nu =$	kinematikai viszkozitás	m ² /mp
$\rho = \frac{\gamma}{g}$	sűrűség	kg mp ³ /m
$\tau_o = c_f \rho \frac{U^2}{2}$	a súrlódás folytán előálló helyi csúsztató feszültség a fal mentén	kg/m ²
$\tau = t_2 - t_1$	levegő felmelegedése	°C

IRODALOM

1. E. Eckert: Einführung in den Wärme- und Stoffaustausch. 1949.
2. M. ten. Bosch: Die Wärmeübertragung. 1936. 139. old.
3. Krujilin: Zsurn. Technicseszkoy Fiziki. 1936. 183. és 311. old.
4. Mc. Adams: Heat Transmission 1942. 234. old.

5. *Forgó László*: A levegőkondenzáció alkalmazása műszaki és gazdasági lehetőségei hazai erőművekben. Magy. Tud. Ak. Műsz. Tud. Oszt. közl. 1. sz. 40. o.
6. *E. Schmidt*: Vergleichszahlen zur Bewertung von Wärmeaustauschern. Kältetechnik, 1949. 81. old.
7. *Mihjejev*: Osznovi teploperedaci (A hőátadás alapjai) 1949. 96. és 99. old.
8. *L. Schiller*: Strömung in Rohren. Wien-Harms: Handbuch der Experimentalphysik, 1932. IV. 53. old.
9. *B. Eck*: Technische Strömungslehre. 1949. 141. old.

HOZZÁSZÓLÁSOK

GRUBER JÓZSEF

A hőátadás közismerten szoros kapcsolatban áll a határrétegben lefolyó áramlással. Annak ellenére, hogy főleg lamináris határréteg esetében a hőátadás elméletileg is jól számolható és a számítási módszerek már régóta ismerteknek tekinthetők, kétségtelen, hogy az előadó mutatott rá először az apróbordás hőkicserélő rendszerrel kapcsolatos mennyiségi összefüggésekre. Ezek az összefüggések az apróbordás rendszer előnyeit határozottan kidomborítják. Mivel a rendszer alkalmazásának igen nagy a gyakorlati jelentősége, továbbfejlesztése elsőrendű fontosságú feladat.

Hozzászólásomban egy ezzel kapcsolatos mérési módszerről óhajtok beszélni.

A többsoros apróbordás hőkicserélőknél igen lényeges, hogy azok egymáshoz képest hogyan helyezkednek el. Nyilvánvaló, hogy az első sor után következő apróbordák akkor leghatásosabbak hőátadás szempontjából, ha azok az első sor által fel nem melegített légáramban helyezkednek el. További bordasoroknál is található olyan helyzet, melynél a bordák viszonylag a leghidegebb helyen vannak. De nem csupán az egyes bordasorok mögött kialakuló hőmérséklet-eloszlás meghatározásának a szükségessége merül fel a felvetett kérdéssel kapcsolatosan. A sebességeloszlás ismerete is éppen olyan lényeges, mivel az ellenállás, tehát a levegő áramoltatásához szükséges teljesítmény is függ attól, hogy a bordasorok hogyan helyezkednek el egymáshoz képest.

A többsoros apróbordás hőkicserélő teljes megítéléséhez szükséges $\frac{Q}{N}$ viszonyszám is változik a fentiek szerint a bordasorok egymáshoz viszonyított elhelyezésének változtatásával.

Nyilvánvaló tehát, hogy a további kutatásokhoz igen célszerű lenne az egyes bordasorok mögötti hőmérséklet- és sebességeloszlás együttes ismerete.

Ezzel kapcsolatban első pillanatban felvetődhetne az a gondolat, hogy nagyított léptékű kivitelben, kényelmes mérési lehetőségek mellett végezzük el a szükséges méréseket. Azonos hőátadási viszonyok eléréséhez a Reynolds számot kellene azonos értéken tartani, ami ebben az esetben a sebességnek megfelelő arányban való lecsökkentésével járna. Ekkor azonban a hőfok-különbségek okozta fajsúlykülönbség által előidézett szabad áramlás előtérbe lépne és a viszonyok hasonlóságát erősen kétségessé tenné.

Emiatt nem marad más megoldás, mint a kísérleteknek az eredeti kivitelben való elvégzése. Ezt indokolja még az a körülmény is, hogy ezáltal a gyártási móddal járó apró szabálytalanságok, eltérések, pl. a bordaszéleken képződő sorják hatását is figyelembe vesszük, vagyis a valódi helyzetet vizsgáljuk. Az eredeti nagyságban történő mérésekhez azonban igen kisméretű hőmérséklet-, illetve sebességmérő műszer szükséges. Ez kisméretű hőmérsékletmérő termo-

elemmel elkészíthető és hasonló célokra alkalmaztak is már ilyeneket. A termo-elem hátránya azonban, hogy a vezetékben levő termikus és kémiai inhomogenitások zavarokat okozhatnak, továbbá pontos mérések végzéséhez rendkívül érzékeny és kényes millivoltmérő műszerre van szükségünk.

Ezért termo-elem helyett az ellenálláshőmérő elvet javaslom, mellyel alkalmas módon nemcsak a hőfok, hanem a sebesség is mérhető.

Ha ellenállásnak ú. n. Wollaston szálát alkalmazunk, úgy igen kisméretű hőfok- és sebességérzékelőhöz jutunk. Az aerodinamika már régóta alkalmazza a másképpen hődrótnak is nevezett ilyen jellegű műszereket, melyek az áramlástan kutatásokban és főleg a határretegvizsgálatoknál igen nagy szerepet játszanak. Egy mintegy 6 mm hosszúságú és 8μ vastag Wollaston-szál ellenállása hidegen 20 Ohm nagyságrendű. Ha ezt a hődrótot hosszirányával a bordákkal párhuzamosan helyezük el, úgy annak igen kis mérete miatt a helyi hőfok meghatározására kiváló eszközt nyertünk. Mivel a Wollaston-szál platina-anyaga 100°C hőmérsékletváltozásra 40% ellenállásváltozással reagál, 1°C pontosságú hőmérséklet méréshez 0,4% pontosságú ellenállásmérésre van szükség. Elektrotechnikai szempontból ez megoldható feladat, a nehézség csupán abban áll, hogy az ellenállásmérést igen kis áramerősség mellett kell elvégezni, mert különben a Wollaston-szálon áthaladó áram felmelegíti a szálát és így hamis eredményt kapnánk. Kis — néhány mA-es — áramerősség esetében pedig igen érzékeny galvanométerre van szükség, mivel az egész szálon keletkező feszültségesés is néhányszor 10 mV nagyságrendű. Ezért célszerűnek tartom a mérésnek váltóárammal történő kivitelezését. A mérő hődrótot Thomson-hídba kapcsolva és a hidat hangfrekvenciás árammal táplálva, a híd kiegyenlítetttségét elektroncsöves — esetleg hangolt — erősítővel könnyen ellenőrizhetjük. Ilyen módon a szükséges mérési pontosságot viszonylag olcsó eszközökkel el tudjuk érni. A hangfrekvenciás táplálás azért javasolható, mert ebben az esetben a mérőrendszer az 50 periódusú hálózati zavaroktól viszonylag könnyen mentesíthető.

Sebességmérésre ugyanazt a hődrótot lehet használni. A mérés olyan módon történne, hogy a hőmérsékletnek egy pontban történő meghatározása után a hődrótot most már egyenárammal, nagyobb áramerősségekkel felfűtjük és ilyen módon az ellenállásnövekedésből a sebességet közismert összefüggések alapján meghatározzuk. E rendszer előnye többek között még abban is áll, hogy a sebességméréssel egyidőben esetlegesen fellépő sebességingadozásokat (turbulens sebességingadozásokat) is megmérhetjük és kikutathatjuk a bordák éles szélei által keltett apró zavarok hatásait. Előnye még a hődrótos mérőműszernek az is, hogy a bordától való távolság a villamos érintkezés létesítésétől mint 0 ponttól megfelelő finombeállító szerkezeten biztosan beállítható.

Amennyiben csupán egy pontban a sebesség időbeli középértékére akarunk számadatot nyerni és az esetleges sebességingadozások — melyek igen nagy periódusúak is lehetnek — nem érdekelnek, úgy magasabb periódusszámú, hangfrekvenciás árammal is történhet a Wollaston-szál fűtése. Ebben az esetben megfelelő hídkapcsolással a kiegyenlítés a hőmérséklet mérésnél alkalmazott elektroncsöves indikáló műszerrel is történhet.

Remélem, hogy az ismertetett hőmérséklet- és sebességeloszlásmérés az apróbordás hőkicserélő rendszer továbbfejlesztését hathatósan elősegíti, miáltal az a jelenlegi állapotnál még tökéletesebb kivitelben kerülhet majd gyakorlati felhasználásra.

KONCZ ISTVÁN

Mindnyájan nagy érdeklődéssel hallgattuk az előadó értékes fejtegetéseit. Magam részéről két ok miatt tartom fontosnak az előadásban mondottakat.

Az egyik az, hogy gáznemű anyagra újszerű megoldással egy magasabb értékű kicserélő elem kifejlesztése van folyamatban és az itt végzett munka már komoly eredményeket tud felmutatni. A másik az, hogy ezzel kapcsolatban elméleti és kísérleti kutatások indultak meg és így kilátás van arra, hogy ennek a nálunk elhanyagolt tudományágnak a területén lényeges haladást érhetünk el, nemcsak a külföldön elért eredményeket tudjuk iparunk számára értékesíteni, hanem azokon túlmenően is korszerűsíteni tudjuk hőkicserélőkészülékeinket.

Ennél a pontnál meg is kell állnunk egy pillanatra és vizsgálat tárgyává kell tennünk azt, hogy ezen a téren tulajdonképpen milyen is a helyzet.

A tudományos és kísérleti kutatások ezen a téren — miképpen az előadó is említette — legutóbbi időkben erőművi problémákkal kapcsolatban indultak meg. Fel kell hívnom azonban a figyelmet arra, hogy az erőműveken kívül is van az iparnak sok területe, ahol a hőátadási problémákkal kapcsolatos nagyfontosságú kérdések várnak megoldásra, amelyeket eddig talán nem mindig vettek eléggé figyelembe.

Fejlődő iparunk azonban nagymértékben megváltoztatta a technikai problémák szemléletét; a célkitűzéseknél ezt tekintetbe is kell venni.

Hogy visszatérjek a hőkicserélő készülékekre, meg kell állapítanom azt, hogy — nagymértékű iparosodásunk következtében — mind alkalmazási területük, mind pedig mennyiségük óriási mértékben megnövekedett. A nagy mennyiség egyik legfontosabb előnye az, hogy lehetővé teszi a minőségi és olcsóbb gyártást.

Ez, közelebbről megvizsgálva, azt jelenti: lehetőség nyílik arra, hogy a tudományos eredményeket mindnagyobb mértékben használhassuk fel a tervezésnél és a gyártásnál. Ugyanis sok esetben a gyártás és a tervezés szempontjai ellentétesek egymással: az apróbordás hőkicserélőelemeknél ez első pillantásra is látszik. Az elméleti követelmények ugyanis a technológusokat néha nehéz gyártási feladat elé állítják. Ez azonban könnyen megoldható abban az esetben, ha a nagy mennyiség miatta különleges gyártási folyamatok, készülékezések stb. bevezetése kifizetővé válik. Ilyenkor előállhat az a helyzet, hogy elméletileg és gyakorlatilag tökéletes gyártmány a legkisebb anyagmennyiség felhasználásával és rendkívül olcsón előállítható.

Gondoljunk például egy bakelit dobozra, amelyet megfelelő módon csak sorozatban készíthetünk, egyedi gyártás esetén azt csak csúnyán, rosszul és drágán lehetne előállítani.

Ugyanilyen a helyzet az ú. n. lamellás kalorifereknel, melyeknek hőkicserélő elemeit vontacél csövekre felhúzott, vaslemezről sajtolt lamellákból, teljes fürdőben horganyzott kivitelben, állítják elő. Ezek a készülékek az ipar minden területén nagymennyiségben nyernek felhasználást.

Pontos kataszter nem áll rendelkezésemre, de óvatos becsléssel a sokeze r termoventilátorral együtt 2—300 000 m² ff. kerül évente gyártásra. Ennek 1,5—2,5 millió kg évi vasanyagfogyasztás felel meg, amennyiben csak magát a fűtőelemet vesszük számításba; a fűtőtestek értéke 20—30 millió forint-ra becsülhető évente. Azonban mind a felhasznált anyagmennyiség, mind az érték többszörösét teszik ki a hőkicserélő elemek kiegészítő berendezései.

Ezeknek a szerkezeteknek a minőségére jellemző, hogy gyártásukat — amiben magam is résztvettem — még a 20-as években kezdték meg külföldi minták után; a méretezés az akkori külföldi szakirodalom szerény elméleti és kísérleti adatai alapján történt.

A kiviteli forma és gyártási mód — csekély változtatástól eltekintve — nagyjából ma is ugyanaz, tekintet nélkül arra, hogy azóta érték el a külföldi tudományos kutatások a hőátadás terén azokat a döntőjelentőségű eredményeket, amelyeknek egy részét éppen az előadó is ismertette.

Elképzelhető ezekután az, hogy a tudományos munka — támogatva az ipar tapasztalataival és a technológiai lehetőségek kihasználásával — milyen eredményeket érhet el ilyen hőcserélőelemek gyártásánál. Nézetem szerint 20—70%-ig terjedő megtakarítás elérésére van kilátás, ami évi 10 milliós nagyságrendű költségcsökkentést jelent. Ez az eredmény úgy érhető el, hogy a gyártmányok minősége messzemenőleg túlhaladja a mai eszközökkel gyártott készülékek minőségét.

Azonban az önköltségcsökkentés csak kis része a nemzetgazdaság számára jelentett összes előnyöknek. Ez különösen akkor szembetűnő, ha tekintetbe vesszük, hogy iparunk fejlődése nagy távlatban milyen lehetőségeket nyújt. Energiagazdaságunk koordinálása és a racionalizálás messzemenő érvényesítése a hőcserélőelemek szerepét nagymértékben előtérbe fogja helyezni. Hiszen gondoljunk csak az előadó által említett léghőcserélőberendezésre, vagy a radiátorok gyártásával kapcsolatos lehetőségekre, vagy arra, hogy a még mindig csak folyamatban levő hulladékmelegértékesítés területén milyen nagy szerep jut a hőcserélőberendezéseknek. De ott vannak az ipar más területei. A robbanómotorgyártástól az elektromos vontatásig, a repülőgépgyártástól a gázturbináig mindenütt fontos szerephez jut a gáznemű anyagra épített hőcserélőelem.

Minden hőcserélőelem energiát fogyaszt, amely egyenesen arányos a készülék ellenállásával. Ha $0,05 \text{ LE/m}^2 \text{ ff.}$ átlaggal vesszük fel a hőcsere-elemek energiafogyasztását, úgy azt kapjuk, hogy az egy év alatt gyártott mennyiség energiafogyasztása $10\,000 \text{ LE/óra}$ körül van. Hogy ez az évek folyamán gyártott mennyiségekkel együtt milyen nagy energiafogyasztást jelent, könnyen elképzelhető. Jelentőségét növeli még az is, hogy ez az erőfogyasztás éppen a csúcsterhelések idején jelentkezik.

Hogy a berendezés ellenállásának csökkentése nem az egyedüli szempont, az bizonyos, de mindenesetre egyik fő szempontnak tekintendő. Vannak esetek azonban, amikor a hőcserélőelem kis energiafogyasztása döntő fontosságúvá válik. Ilyen eset pl. a léghőcserélőberendezés.

Azonban ezen túlmenően előfordulhat az is, hogy a hőcserélőelem kis ellenállása teszi egyáltalában lehetővé azt, hogy egy olyan berendezés készüljön, amelynek alkalmazása más szempontból nagy gazdasági előnyöket jelent.

Példaképpen fel kell említenem a gőzturbinával hajtott termoventilátorok esetét. Ez a kérdés nagyfotosságúvá nőtt, mert fejlődő iparunk szükséglete termoventilátorokban sok ezerre becsülhető évente.

Heller kartárs előadásában az entrópiánövekedés elleni harcban a fojtást jelölte meg az egyik káros jelenségnek. Sokezer termoventilátor van ma üzemben, amelyet 2—4 atü nyomású gőzzel fűtenek és meghajtásuk elektromotorral történik. Nyilvánvaló, hogy elektromotor helyett gőzturbina alkalmazása esetén az áramfogyasztás (vagyis a hajtóenergia-felhasználás) majdnem teljes egé-

szében megtakarítható, éppen a csúcsterhelések idejében. Ez országos viszonylatban egy kis erőmű energiaszükségletét teheti ki.

Az előadás tárgyával kapcsolatban fel kell hívni a figyelmet arra, hogy itt éppen a hőkicszerelőelem kis ellenállása döntő fontosságú abból a szempontból, hogy minél alacsonyabb gőznyomás mellett, tehát minél nagyobb területen, a gőzturbina alkalmazása lehetővé válik. A kis ellennyomású gép hatásfokának ugyanis az olcsó szerkezet határt szab. Így a beépített axiálventilátornak kell jó hatásfokúnak lennie és a kondenzátorként működő fűtőtest ellenállását kell minél kisebbre venni.

Az apróbordás hőkicszerelőelemekkel kapcsolatban nyilván aggályok merülnek fel a szilárdsági feltételek szempontjából. Szabadban vagy védtelenül elhelyezve a szerkezet méreteinek ezen szempontok határt szabnak.

Ezek az aggályok éppen a fent felsorolt eseteknél, vagyis a légmentesítő kaloriferekkel és termoventilátorokkal kevésbé indokoltak, mert itt többnyire zárt rendszerről van szó, ahol az elemek védelméről gondoskodni tudunk.

Az előadó elméleti fejtegetése valójában az apróbordás hőkicszerelőelemek azon előnyös tulajdonságaira hívja fel a figyelmet, amelyek főképpen a hőátadási tényező magas értékében és a kis ellenállásban domborodnak ki. Azt hiszem mindnyájan nagy érdeklődéssel várjuk a további kísérletsorozat eredményeit. Különösen érdekesek ezek a kísérletek abból a szempontból, hogy további felvilágosítást nyújtanak az éles sarkok, irányváltások, továbbá az elemek rácselrendezésének befolyásáról a hőkicszerelőelemek ellenállására.

Az előadó utal arra, hogy a megzavarások miatt még apróbordák esetén sem jöhet minden esetben tisztán lamináris határréteg számításba. Véleményem szerint fokozott mértékben súlyt kell helyezni a turbulens határréteg melegátadás szempontjából való vizsgálatára is, hiszen gyakorlatilag ez is többnyire szerephez juthat. A turbulens határréteg a hőátadási tényező nagyobb értéke miatt előnyös. Nem lehet figyelmen kívül hagyni azt sem, hogy turbulens határréteg esetén a helyi hőátadási tényező az x méret növelésével kisebb mértékben csökken, mint lamináris határrétegnél.

A turbulens melegátadással kapcsolatos elméletek az utóbbi évek alatt igen nagy számban jelentek meg. Nagyon fontos volna szemmel kísérni most ezt a folyamatot, amikor tulajdonképpen a kísérletekkel való összeegyeztetés és az elméletek kiértékelése folyik világviszonylatban. Hiszen 1940. körül, alig 10 éve, váltak köztudomásúvá a Kármán és Reichard által kidolgozott újabb elméletek, amelyek a turbulens áramlások szemléletét a határréteg kialakulásával kapcsolatban megváltoztatták. Az itt is fellépő turbulens, átmeneti és lamináris réteg és a lejátszódó impulzus- és melegszármaztatási jelenségek új megvilágítást nyertek. Bebizonyosodott az is, hogy a kisméretű, közvetlen fal melletti, ú. n. viszkózus lamináris rétegben is vannak turbulens mozgások, különösen nagyobb Pr számoknál, amelyek hidraulikai szempontból számításba ugyan nem jöhetnek, de melegszármaztatás szempontjából figyelmen kívül nem hagyhatók.

Ezek a meg gondolások felvetik a kérdést, hogy vajjon az apróbordás hőkicszerelőelemeknél a gyakorlatilag helyes méretek megtartása mellett kis megzavarásos felületkiképzés nem vezethet-e újabb eredményekhez. Minden esetre célszerű volna a vizsgálatokat ebben az irányban is kiterjeszteni.

LÉVAI ANDRÁS

Az előadásból és a bemutatott diagrammokból úgy tűnik ki, hogy az apróbordás hőkicszerelők fejlesztése két irányban halad :

a kisebb légellenállás és

a kisebb fűtőfelület, ill. legkisebb anyagfelhasználás irányában.

Az az érzésem, hogy a részletesen ismertetett matematikai levezetés, valamint a kísérletek alapján meghatározott különböző tényezők ismeretében gazdasági számításokkal nem kompromisszumok útján, hanem exakt módon lehetne megállapítani az optimális viszonyokat.

A nagyobb huzatellenállás általában energiaköltség-növekedést okoz, aminek egy évre kivetített összegét összegezve a beruházási költségek évi hányadával, az abszolút minimumot ki lehet számítani. Természetes, hogy az ellenállás számításánál tekintetbe kell venni azon speciális körülményeket, amelyek pl. a levegőkondenzációnál a vákuum romlásával, vagy természetes huzamú hőkicszerelőknél a teljesítmény csökkenésével járnak.

Felmerül a kérdés, hogy van-e valami különleges akadálya annak, hogy a minimum számításának ezen ismert módjával a kifejlesztés további irányát egyöntetűen meg lehessen állapítani.

FONÓ ALBERT

Kiváló kutató munkáról kiváló előadást hallottunk. Ezt meg kellett mondanom, mert a hallgatóság köréből még nem hangzott el méltatás, bár bizonyos, hogy mindenki úgy ítéli meg az előadást, mint én.

Felhívom az előadó figyelmét a gázturbinák hőkicszerelőinek kérdésére. Kis súly és kis térfogat elérése érdekében kísérleteznek gyorsan forgó, a Ljungström-höz hasonló, regenerátorokkal. Érdekes volna megállapítani azt, hogy a hőt átvivő felületek feldarabolása apró bordákhoz hasonló elemekre nem hozna-e hasonló előnyöket, mint a tárgyalt apróbordás hőkicszerelők. Ezen túlmenően érdekes volna azt is megvizsgálni, hogy a nagyon aktív apróbordás hőátadó felületek nem oldják-e meg a kisméretű hőkicszerelő kérdését, és hogy esetleg emiatt nem is lesz érdemes gyorsan forgó Ljungström regenerátort szerkeszteni.

Azt hiszem indokolt ezzel a kérdéssel már most foglalkozni annak ellenére, hogy még nem gyártunk gázturbinát, mert annak gyártására belátható időn belül sor kell, hogy kerüljön és a jó hőkicszerelő a gyártandó gőzturbinát már korábban életképesé tenné.

WELTZL KÁROLY

Az apróbordás hőkicszerelő elméleti alapjainak elegáns ismertetéséért őszinte köszönetünk jár az előadónak.

A szerkezetnek az elektrotechnikában a forgóáramú turbogenerátorok levegőhűtésénél van elsősorban jövője. A használatos külföldiek helyett célszerűbb e hatályosabb, tehát kevesebb vizét kívánó itthoni apróbordás szerkezet alkalmazása.

Másodsorban a transzformátorok hűtésénél lehet előnyösen alkalmazni az apróbordás hőkicszerelőt. A nagy olajtranszformátorok mai hosszúbordás hűtőszerkezetének csatlakozása közvetlenül a tekercsek és a vastest előtt van elhelyezve. — Az új hőcszerelő hatályos hűtőképessége lehetővé teszi, hogy a hűtőt előnyösebben helyezzük el és ennek dacára ép oly jó hűtést érjünk el, sőt szerénymagasságot takarítsunk meg.

A kazántechnikában a levegő- és vízmelegítőknél némi kompromissziummal oly szerkezeteket lehetne kialakítani, amelyek a hosszú és az apróbordás hőkicszerelőnél alkalmazott közötti bordáshosszúság mellett és nagyobb légkeresztmetszettel a mainál kedvezőbb hőátadást biztosítanak.



PORVASMAGOK ELŐÁLLÍTÁSÁNAK IDŐSZERŰ KÉRDÉSEI*

ISTVÁNFFY EDVIN

Korszerű híradástechnikai berendezésekben gyakran van szükség rezgőköri tekercsekre, szűrőkre. Rokon alkalmazásnak tekinthetők a pupincsevék is. Ezekről a tekercsektől nagy jósági tényezőt, nagy állandóságot, kis torzításokat kívánnak meg, minél kisebb súlyban, kis méretekben és kis szórási mezővel. Ilyen tekercseket csak mágneses magokkal lehet előállítani, bár túlnagy permeabilitásokra általában nincs szükség. A kívánt tulajdonságok eléréséhez a vasvesztéseket jelentősen csökkenteni kell. Ez elérhető a vas háromirányú megsztásával, ami porvasmagok készítéséhez vezetett.

Nyilvánvaló, hogy a vasmagnak apró, egymástól szigetelt részekre való bontása az örvényáramvesztéseket lényegesen lecsökkenti, de vannak egyéb veszteségek is, amelyeket szintén le kell csökkenteni. Ezért a porított mágneses anyagok alaptulajdonságainak is kedvezőknek kell lenniök.

I. Porvasmagok jellemző paraméterei

A különböző porvasmagfajták tárgyalása előtt röviden ismertetni fogjuk a porvasmagok jellemző paramétereit. A vasvesztések három csoportba oszthatók: örvényáram-, hiszterézis- és maradékvesztésekre. Ezen vasvesztések a frekvenciával és a mágnesezéssel más-más összefüggést mutatnak. Ha egy vasmagos tekercs veszteségi ellenállását váltóáramú mérőhídon megmérjük és a rézvesztést levonjuk belőle, akkor megkapjuk a vasvesztésekre jellemző veszteségi ellenállást. Az elmondottakon kívül van még dielektromos veszteség is, de a mérőtekercsek készíthetők oly módon, hogy a dielektromos veszteség elhanyagolható, vagy ez is kiértékelhető és levonható legyen. Ha a mérést legalább két frekvenciánál és frekvenciánként két különböző áramerősséggel végeztük; akkor a három veszteségfajtát egymástól szét lehet választani. Az ilyen méréseket kis mágnesezéssel — a Rayleigh-törvény érvényességi határán belül — kell végezni.

Az egyenértékű soros veszteségi ellenállások a következőképpen fejezhetők ki:

$$\text{hiszterézis ellenállás: } R_h = \mu a L B_1 f$$

$$\text{örvényáram} \quad \ll \quad R_\delta = \mu e L f^2$$

$$\text{maradék vesz.} \quad \ll \quad R_m = \mu c L f$$

*1951 dec. 11-én tartott előadás

ahol μ a mag relatív permeabilitása, L a tekercs önindukciója henryben, f a frekvencia Hz-ben, B_1 a mágnesezési ciklusban alkalmazott legnagyobb mágneses indukció, α , e és c a veszteségi állandók. Porvasmagoknál $\mu\alpha$, μe és μc szorzatokat szokták megadni mint veszteségi állandókat.

Mint fenti kifejezésekből látható, az örvényáram ellenállás a frekvencia négyzetével, a hiszterézis és a maradék veszteségi ellenállás a frekvenciával arányos. Egyedül a hiszterézis ellenállás arányos még a mágneses indukcióval, tehát egyedül ezen veszteség okoz nonlineáris torzítást. A hiszterézis veszteség értékelése ezért különleges elbírálást kíván meg. Nem elegendő csupán nagy jósági tényezőre törekedni. Figyelemmel kell lenni arra is, hogy a hiszterézis veszteség ezen belül nem túlnagy-e.

Vizsgáljuk meg a veszteségi állandók jelentőségét. Porvasmagoknál többnyire nagy jósági tényező kívánatos. A jósági tényezőt a tekercs rézellenállásán kívül elsősorban az örvényáram ellenállás szabja meg. A tekercs jósági tényezője, ha ezt egyedül az örvényáram veszteség okozná:

$$Q_0 \sim \frac{e}{\mu l^2 f}$$

tehát arányos a mágneses anyag fajlagos ellenállásával, fordítva arányos a permeabilitással, a szemcsék közepes átmérőjének négyzetével l^2 -tel és a frekvenciával. Kívánatos, hogy Q_0 minél nagyobb legyen és hogy a tekercs tényleges Q -ját elsősorban a tekercselés elkerülhetetlen rézellenállása szabja meg, s ezen értéket minél kevésbé csökkentse a vasmag örvényáram vesztesége. Kívánatos továbbá minél nagyobb fajlagos ellenállás, és annál kisebb szemcseméret, minél nagyobb a frekvencia.

Q_0 a vasmag méreteitől független, tehát a vasmag méreteit a jósági tényező szempontjából az szabja meg, hogy elegendő hely álljon rendelkezésre a szükséges kisellenállású tekercselés elhelyezésére.

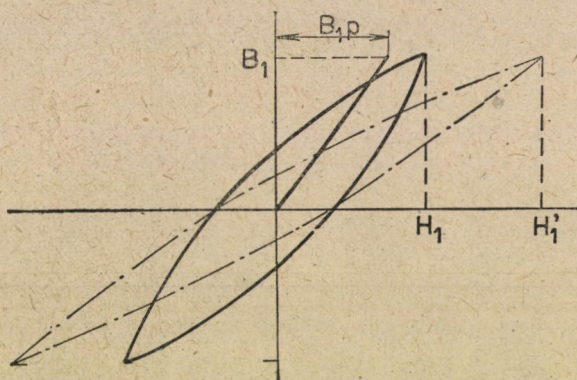
A nonlineáris torzításokat a hiszterézis veszteség okozza. A tömör mágneses anyagra, kis mágnesezésnél a hiszterézis hurkot az 1. ábra teljes vonallal kirajzolt görbéje mutatja. Számítással kimutatható, hogy a vasmag által okozott klirrfaktor, vagyis a keletkező harmadik harmonikus feszültség viszonya a tekercs kapcsain levő alapszültséghez:

$$k = \frac{B_r}{2B_1}$$

vagyis arányos a hiszterézis hurokban fellépő remanens és a legnagyobb indukciók viszonyával. A porvasmagoknál a háromirányú megosztás miatt a mező irányában is vannak egyenletesen elosztott légrések, ami kifejezhető $p = \delta/l$

légrésaránytal, ahol δ a légrések eredő hossza és l a mágneses erővonalak közepes hossza a vasmagban. Légrés esetére az eredő görbét úgy szerkesztjük meg, hogy a görbe minden pontját eltoljuk az ábrán feltüntetett nyírási vonal által megszabott — a légrés átmágnesezéséhez szükséges — B_p mágnesező erő értékkel. (Lásd az 1. ábrán az eredményvonalal berajzolt hiszterézis hurkot.) A légrésnélküli és a légréses görbék közös pontjai a vízszintes tengelyen vannak, tehát a légréses vasmag remanenciája kisebb lett és ennek megfelelően a klirrfaktor is.

Könnyen kimutatható az is, hogy a klirrfaktor a légrés miatt ugyanolyan mértékben csökken, mint a permeabilitás a légrésnélküli anyagokhoz képest.



1. ábra

Korszerű porvasmagoknál nem elégszünk meg a légrés klirrfaktorcsökkentő hatásával, hanem olyan anyagokat igyekszünk használni, melyeknél a μa -érték már a tömör anyagra is kicsiny.

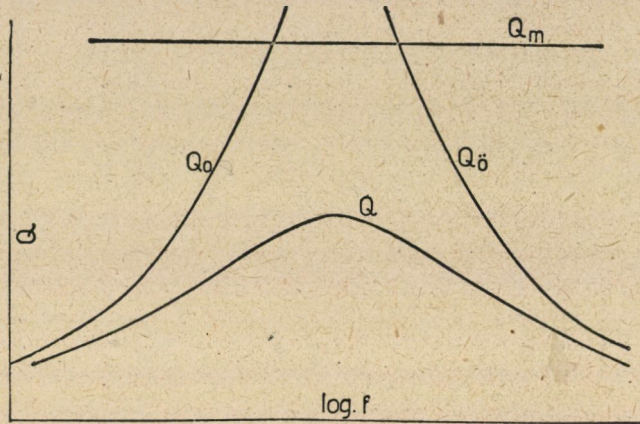
A klirrfaktor csökkentése egyet jelent az önindukció áramfüggőségének csökkentésével is. Erre a következő arányosságok írhatók fel:

$$\frac{dL/L}{di} \sim \mu a \sqrt{\frac{\mu}{V}} \sqrt{L} \sim \frac{R_h}{Li}$$

ahol V a vasmag köbtartalma.

A CCIF hiszterézisre vonatkozó előírásai (pupincsevékre) ezen összefüggésen alapulnak. Ha pl. valamely porvasmagra a μa -érték kétszerese az eddig használtak, akkor ennek ellensúlyozására, azonos permeabilitás esetén négyszeres magköbtartalom szükséges. Itt látjuk, milyen nagy jelentősége van a hiszterézis veszteség csökkentésének. Korszerű porvasmagoknál és a hazai porvasmag-, ill. vasporgyártásnál ezen körülményt különös figyelemre kell méltatni.

Ha a porvasmagok jósági tényezőjét a frekvencia függvényében vizsgáljuk, akkor első közelítésben elegendő a rezellenállás és az örvényáram veszteség együttes hatását néznünk. Ha a két tényező által külön-külön megszabott



2. ábra

jósági tényezőt kiszámítjuk, akkor az eredő jósági tényezőt úgy számítjuk mint párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredőjét.

$$Q = \frac{Q_1 Q_2}{Q_1 + Q_2}$$

Ha R_o a tekercs rezellenállása, akkor

$$Q_o = \frac{L \omega}{R_o} = \frac{L 2 \pi f}{R_o}$$

tehát Q_o arányosan nő a frekvenciával. (Lásd a 2. ábrát.)

Az örvényáram által okozott Q_δ kiszámítható az egyenértékű, már korábban felírt veszteségi ellenállásból:

$$Q_\delta = \frac{L \omega}{R_\delta} = \frac{2 \pi L f}{\mu e L f^2} = \frac{2 \pi}{\mu e f}$$

tehát Q_δ fordítva arányos a frekvenciával. A 2. ábrán látható Q_δ és az eredő Q . Az eredőnek maximuma van. Kíváncsú, hogy a használt frekvenciák a maximum közelébe kerüljenek.

Kisebb frekvenciáknál a rézveszteségek csökkentése céljából nagyobb permeabilitásra van szükség, ami együttjár a nagyobb örvényáram vesztesé-

gekkel, ezért a Q_0 görbe balra tolódik el. A tekercselés nagyobb menetszáma miatt a Q_0 görbe is balra tolódik, tehát a maximum is a kis frekvenciák felé tolódik el. Nagy frekvenciáknál nincs szükség nagy permeabilitásra, ami lehetővé teszi az örvényáram veszteség jelentős csökkentését, ill. a görbe csökkenő részének nagyobb frekvenciák felé való eltolását. Ezáltal a maximum a nagyfrekvenciák felé tolódik el.

A jósági tényezőre a tekercselés rézellenállásán és a vasmag örvényáram veszteségén kívül a maradék veszteségnek is befolyása van. A maradék veszteség által egyedül meghatározott jósági tényező felírható a már tárgyalt egyenértékű veszteségi ellenállásból:

$$Q_m = \frac{L \omega}{R_m} = \frac{2 \pi f L}{\mu c f L} = \frac{2 \pi}{\mu c}$$

tehát független a frekvenciától és a 2. ábrán egy vízszintes vonallal jellemezhető. Hatása az eredő Q görbét azáltal befolyásolja, hogy a maximumértéket csökkenti.

Fentiekből következik, hogy a híradástechnikában több, 3—4-féle porvasmag fajtára van szükség, a különféle alkalmazási területek átfogására. Ezenkívül szükséges minden egyes porvasmag fajtából több különböző méretű gyűrűs és esetleg egyéb vasmag, az alkalmazásoknál felmerülő szükségletek kielégítésére.

Az eddig részletezettekén kívül egyéb kívánalmak is vannak a porvasmagokkal szemben, szilárdsági és stabilitási szempontból. Fontos a kellő mechanikai szilárdság, hogy tekercseléskor és egyéb manipulációk alkalmával törések ne következzenek be és ezáltal selejt ne keletkezzen. Kívánatos, hogy a hőfaktényező minél kisebb legyen, továbbá erős áramlökések után az indukció, tehát a permeabilitás gyakorlatilag változatlan maradjon.

II. Vasporok és gyártási eljárások

Ezután áttérünk az eddig elterjedt vasporok és gyártási eljárások rövid ismertetésére.

Vasporokat készítenek tiszta vasból és erre alkalmas mágneses ötvözetekből. Olyan anyagok és eljárások kívánatosak, amelyekkel a híradástechnikai szükségleteknek minél szélesebb skálája kielégíthető.

Kívánatos a szennyeződésektől való nagymértékű mentesség, mert a szennyezések — már igen kis mértékben is — csökkentik a kezdeti permeabilitást, és megnövelik a hiszterézis veszteségeket, bár ily bonyolult technológiai kérdéssel vannak kivételek is.

A nagy tisztaságú vas szívós és képlékeny, ami megnehezíti a porítást. Különböző eljárásokat dolgoztak ki a célból, hogy a vasat hidegen törékennyé tegyék.

Az először használt módszer az elektrolitikus eljárás volt. A vaslemez katódra ráakódott vas sok hidrogént tartalmaz, ami törékennyé teszi. Amikor a réteg kb. 1 mm vastagságot elért, leválasztották a katódról, összetörték, majd őrölték és szitálták. Igen finom szemcsék esetén légárammal fújtatva végezték az osztályozást. A vasban levő hidrogén utólagos hőkezeléssel eltávolítható.

Itt rá szeretnék mutatni arra, hogy a szemcsék eloszlási törvényének is van gyakorlati jelentősége. A szemcsék méretében bizonyos szóródás kívánatos. Ha az összes szemcse azonos nagyságú volna, akkor a közöttük levő hézagok kitöltetlenül maradnának. Kisebb méretű szemcsék az ilyen közöket részben ki tudják tölteni, ami kívánatos.

A por szemcséit egymástól szigetelni kell és szilárdsági szempontból gondoskodni kell megfelelő kötőanyagról. A szigetelt port formába sajtolják; így készítik a gyűrű, fazék, vagy másalakú porvasmagokat. A szigetelési és préselési eljárásokat a vasporfajták ismertetése után fogjuk tárgyalni.

Az első tömeggyártásban készült porvasmagok elektrolitikus vasból készültek pupincsevékhez, 25 ill. 35 permeabilitással. $\mu = 35$ permeabilitású porvasmag veszteségi adatai a következők voltak: $\mu a \cdot 10^3 = 1,7$; $\mu e \cdot 10^3 = 3,1$; $\mu c \cdot 10^3 = 3,8$. Ezen adatok közül különösen a hiszterézis veszteségi állandó volt nagy, ami a pupincsevék méreteit nagyon megnövelte. Ezenkívül az örvényáram veszteség is nagy volt, a mai korszerű vasmaghoz viszonyítva.

Később az időközben kifejlesztett bináris permalloy ötvözetet — mely 79% nikkelt tartalmazott — használták fel porvasmagok készítéséhez. Ezen anyagnak nagy kezdeti permeabilitása és nagyságrenddel kisebb hiszterézis vesztesége van mint a vasnak. Az eljárás mechanikai darabolással történt. Különleges kohászati eljárás kidolgozására volt szükség ahhoz, hogy a különben igen szívós permalloyt rideggé lehessen tenni. Ezt azáltal érték el, hogy néhány század százalék ként adtak az anyaghoz, mely a szemcsék határain helyezkedik el. Az anyag melegen hengerelhető, hidegen törékeny lett.

A mangán ellentétes hatású, ezért mangánt az ötvözet legfeljebb nyomokban tartalmazhat. Az anyagot melegen hengerlik 5—6 mm vastagságig. Meleg-hengerléskor olyan méretű szemcsés szerkezet keletkezik, ami megfelel a szükséges porméretnek. Ha ezen anyagot hidegen egyszer áthengerlik, akkor apró darabokra törik. Ezután zúzógéppel törik, majd golyós malomban őrlik. A golyós malom saját tengelye körül forgó zárt henger, melynek belsejében a megörlendő anyagot és a zúzógolyókat helyezik el. A golyós malom fordulatszámát úgy választják meg, hogy forgás közben a golyók az örlendő anyag által sodortatva, bizonyos magasság elérése után leessenek. Az anyagot a folytonosan lezuhanó golyók darabolják. A golyós malomból kikerülő örleményt átszitálják, hogy a megengedettnél nagyobb szemcséket ne tartalmazzon. Szitaanalízist és mikroszkópi vizsgálatot is szoktak végezni, annak ellenőrzésére, hogy a szemcseeloszlás megfelelő-e.

A permalloy ötvözetek hideg megmunkálás után kedvező mágneses tulajdonságaikat elvesztik, ezért a port felhasználás előtt ki kell lágyítani. Ezt 850 C°-on történő hőkezeléssel érik el. Hőkezelés közben a szemcsék részben összenőnek és ezért utána az őrleményt egy golyós malomhoz hasonló hengerben, de golyók nélkül forgatják, míg újból szét nem válnak a szemcsék.

Permalloy porvasmagokkal lényegesen jobb eredmények voltak elérhetőek, mint a korábban használt elektrolitikus porvasmagokkal. 120-as permeabilitást is el tudtak érni, ami kisfrekvenciás alkalmazásoknál méretcsökkenéseket jelentett. A hiszterézis-állandó jelentősen lecsökkent, ami lehetővé tette jóval kisebb méretű pupin- és egyéb vasmagok készítését.

Néhány adat a permalloy porvasmagok paramétereiről:

μ	$\mu a \cdot 10^3$	$\mu e \cdot 10^6$	$\mu c \cdot 10^3$
75	0,41	3,8	2,8
26	0,3	0,7	2,8

Az örvényáram-állandó még nem volt teljesen kielégítő.

Újabban molibden-permalloy porvasmagokat készítenek 2% *Mo* és 81% *Ni* tartalommal. A molibdén hozzáadásával az anyag fajlagos ellenállása kb. a háromszorosára növekedett, ami azonos szemcsenagyság esetén 1/3-ra csökkentette az örvényáram veszteséget. A hiszterézis veszteséget is sikerült tovább csökkenteni. Továbbra is darabolási eljárást használtak és ezért néhány század százalék kén hozzáadására itt is szükség volt. Egyebekben a por készítése ugyanúgy történik, mint a bináris permalloynál.

Néhány jellemző porvasmag adat:

μ	$\mu a \cdot 10^3$	$\mu e \cdot 10^6$	$\mu c \cdot 10^3$
125	0,2	0,4	3,8
26	0,18	0,2	2,5
14	0,16	0,1	2,0

Mint látható, az örvényáram veszteség jelentősen lecsökkent és a hiszterézis állandó is, ami további jelentős méretcsökkentést tett lehetővé a pupin-sévéknél és egyéb porvasmagoknál is.

Egy, a Szovjetunióban kidolgozott eljárásnál a kiindulási anyag a vasnak szilíciummal és alumíniummal való ötvözete. E hármas ötvözet kb. 9,5% *Si* és 5,5% *Al* tartalomnál 30 000 körüli kezdeti permeabilitást mutat és az anyag igen törékeny. Az alumíniumtartalom további növelésével a fajlagos ellenállás tovább nő. Ilyenkor a kezdeti permeabilitás csökken, de a porvasmagoknál

bizonyos határig ennek nincs még jelentősége. Az egyik porvasmagmahoz használt ötvözet 7,5% alumíniumot és 9% szilíciumot tartalmaz. Fajlagos ellenállása feltűnően nagy, kb. 108 mikrohmmcm. A vaspapor őrlése a permalloy porhoz hasonlóan történik. Alsifer porvasmagok kb. $\mu = 60$ permeabilitásig készíthetők és a permalloy magok helyett használhatók.

Néhány jellemző adat :

μ	$\mu a \cdot 10^3$	$\mu e \cdot 10^6$	$\mu c \cdot 10^3$
60	0,42	1,25	9,4
19	0,33	0,1	6,3
9	0,55	0,025	3,8

Az anyag nagy fajlagos ellenállásának tudható be az alacsony értékű örvényáram állandó.

Megemlítem még a Hametag eljárást, mellyel szívós anyagokból, mint pl. lágyvasból is lehet vasport készíteni. A huzallá formált anyagot betáplálás-kor rövid darabokra vágják és két lapátos ventilátort tartalmazó kamrába helyezik. A ventilátorok találkozó áramlást okoznak. Az erős légáram által elragadott részecskék ismételtlen összeütköznek és mind finomabb porrá törnek. Az ütközések oly erőteljesek, hogy a szemcsék korongalakúak lesznek és le-gömbölyített felületet mutatnak.

Meglepő, hogy az ezen eljárással készült porvasmagoknál a hiszterézis állandó $\mu a \cdot 10^3 = 0,7-0,9$, tehát lényegesen jobb mint a régebbi, elektrolitikus eljárással készült porvasmagoknál volt. Mindazonáltal ezen eljárás a híradás-technikai szükségleteknek csak szűkebb területét elégíti ki és ezért porvasmaggyártásnál az egyéb eljárások kiszorították.

A vegyi eljárások közül legfontosabb a vaspornak előállítása a vaspentacarbonyl $Fe(CO)_5$ termikus szétbontása útján. A vaspentacarbonyl — mely kissé barnás folyadék — gőz állapotból kb. 200° C hőmérsékletnél, katalizátor segítségével bontják szét, magas tornyokban. A szinte tökéletes gömbalakú szemcsékből álló, nagy tisztaságú vaspapor a fenéken gyűlik össze.

A szemcsék mérete a hőmérséklettől, a nyomástól és a gázáramlás sebességétől függ, s fenti tényezők megfelelő beszabályozása esetén a kívánt átlagos szemcseméret betartható. (3—20 mikron.)

Miközben a vaspapor a reakciós toronyban lehull, a vas rétegeződve rakódik rá. A nem homogén rétegeződés miatt megnő a szemcsék ellenállása, ami csökkenti az örvényáram veszteségeket.

Tekintettel arra, hogy a vas a felszabaduló szenet és a gázokat részben elnyeli, ily módon csak kemény szemcsék kaphatók, amelyek nagyfrekvenciás vasmagokhoz, aránylag kis permeabilitással különösen alkalmasak.

Nagyobb permeabilitás eléréséhez — mint hangfrekvenciás vasmagokhoz — a szemcséket hidrogénben redukálják, ami által szén, oxigén és nitrogén szennyeződéstől nagymértékben mentesített, tiszta vasat kapnak. Az ilyen karbonil vasszemcsék lágyak, homogén szerkezetűek és nem mutatnak semmi rétegződést.

Karbonil vasporokat többféle típusban gyártanak. A legnagyobb elérhető permeabilitás kb. 60, de kis permeabilitással készítenek egészen 100 MHz-ig használható vasporokat, ill. porvasmagokat is. Néhány jellemző adat :

μ	$\mu a \cdot 10^3$	$\mu e \cdot 10^6$	$\mu c \cdot 10^3$
58	0,6	0,4	4,6
13	0,06	0,01	0,8

A 13-as permeabilitású vasmag adatai feltűnően kedvezőek, ami magyarázatot ad a nagyfrekvenciás vasmagoknál való nagy elterjedésükre.

Az eddigiekben nagyvonalakban ismertettem a porvasmaggyártáshoz bevált és elterjedt vasporgyártások módszereit. Ehhez még hozzáteszem, hogy tiszta és finom poralakú vasoxidból is készítenek vasporokat és említésreméltó, hogy a németek a permalloy port vasnikkeloxidok redukálásával állították elő jó minőségben.

Permalloy port szakirodalmi adatok szerint elektrolitikusan is állítottak elő, de az eljárást bonyolultnak tekintették és kommerciális gyártáshoz nem találták megfelelőnek.

Formába sajtolás előtt a port szigetelni kell. Szükséges, hogy a szigetelő anyag a szemcséket egyenletesen vonja be, ellenálló réteget képezzen, hogy összenyomáskor át ne szakadjon, a port vegyileg ne támadja meg és sajtoláskor lehetővé tegye a részecskék mozgékonyását.

Karbonil, elektrolitikus és Hametag eljárással készült tiszta vasporokat préselés után magas hőfokon nem kell hőkezelné, ezért ezekhez többnyire szerves kötőanyagot — pl. bakelit műgyantát, kazeint, sellakot, trolitult — használnak, ami lehet egyben szigetelő anyag is. Tökéletesebb szigetelés érhető el és az örvényáram veszteség csökkenthető, ha előzőleg a szemcséket külön szigetelő anyaggal vonják be, mely célra szervesetlen anyag, pl. vízüveg alkalmas.

Sajtolás után csak a polimerizálódó kötőanyag keményítése végett van szükség aránylag alacsony hőfokú hőkezelésre, hogy a kész vasmag szilárdsága megfelelő legyen.

Permalloy és alsifer poroknál a préselt magokat utólag magas hőfokon hőkezelné kell és ezért ezeknél szerves kötő- és szigetelőanyagok nem használhatók. Használhatnak kerámiás anyagokat, pl. vízüveg, talkum, krómsav és agyag keveréket. A talkum fokozza a por préselés alatti mozgékonyását.

A szigetelési eljárás leginkább használt módja abban áll, hogy az oldószerrel folyékonyra tett szigetelő- ill. kötőanyaggal elkeverik a vasport és egy fűtött keverőkészülékben az oldószer teljes elpárolgásáig folytatják a keverést.

Könnyen elpárolgó oldószer esetén porlasztásos eljárás is alkalmazható. Ilyen centrifugál porlasztóberendezést már régebben kidolgoztunk a hazai porvasmaggyártáshoz.

A szigetelő- és kötőanyagnak a vasporhoz viszonyított súlyszázaléka függ a vaspor tulajdonságaitól és a porvasmaggal szemben támasztott követelményektől. A szigetelőanyag mennyisége esetenként 1—60% közt változhat. Minél nagyobb permeabilitást kívánunk elérni, annál kevesebb szigetelőanyagra van szükség.

Többnyire hideg préselést alkalmaznak. Nagypermeabilitású magokhoz nagy nyomásra (15—20 tonna/cm²) van szükség és általában nagyobb átlagos szemcseméretű porra. Kisebb permeabilitású magokhoz kisebb nyomás is elegendő. Kispermeabilitású magoknál meleg préselést is alkalmaznak. (Permalloyra és alsiferre ez nem vonatkozik.)

Permalloy és alsifer poroknál a préselt magokat utólag magas hőfokon hőkezelní kell. Ez 600° C körüli hőmérsékleten történik, hidrogénben vagy zárt tégelyben. A kedvező hőfokot minden örleménynél kísérletileg szokták megállapítani. A hőfokot addig kell emelni, amíg a permeabilitás nő, a hiszterézis veszteség csökken, de az örvényáram veszteség még nem növekszik meg.

A kész magokat ráégetett szigetelőlakkal vonják be.

Porvasmagok készíthetők még természetes magnetitből is, azonban csak egész kis permeabilitás érhető el és csak egész szűk alkalmazási területen, mérsekelt igényekhez használhatók.

III. Porvasmagok helyettesítésére alkalmas egyéb mágneses magok

A porvasmagokat sok esetben helyettesíteni lehet más mágneses magokkal is. Ilyenek az isopermek és a ferritek.

Vannak olyan mágneses ötvözetek, amelyek hideg hengerlési és hőkezelési eljárások kombinációjával, a kristályszerkezet irányításával anizotroppá tehető (textura) és ilymódon a porvasmagokhoz hasonló tulajdonságok érhetőek el velük. Ha a domainek párhuzamosan helyezkednek el, akkor a domainek irányában a mágnesezés ugrásszerűen fordul át és a hiszterézis hurok négy-szögletes lesz. (Lásd a 3/a ábrát.)

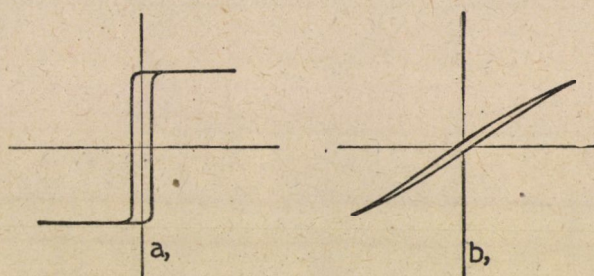
Az erre merőleges irányban a hiszterézis hurok a 3/b ábra szerinti lesz; a permeabilitás és a remanens indukció erősen lecsökken. A mágnesezési görbe csaknem egy egyenesbe megy át, mint a porvasmagoknál.

Az izoperm (pl. 50% Ni, 50% Fe) hengerlésénél hőkezelésekkel kombinálva, olyan feszültségi állapotot állítanak elő, hogy a szalag hossziránya merőleges

legyen a könnyű mágnesezési irányra. Ily módon kb. $\mu = 80$ kezdeti permeabilitás érhető el, mely csak alig változik a mágnesezéssel. Hiszterézis állandója nagyon kicsiny, valamivel jobb, mint a Mo-permalloy porvasmagoknál. Az örvényáram veszteség csökkentése céljából igen vékony szalagból tekercselik a vasmagot.

A legújabb mágneses anyagok közé tartoznak a ferritek keverékéből álló anyagok. A vasferrit $Fe_3O_4 = Fe^{II}(Fe_2^{III}O_4)$ vagy másnéven magnetit is e csoportba tartozik. Spinel-rendszerű kristályos szerkezetű, melynek egységcellájában 8 kétvegyértékű vasion, 16 háromvegyértékű vasion és 32 oxigénion van. A kétvegyértékű vas helyettesíthető nikkellel, rézzel, magnéziummal, mangánnal, miáltal különböző tulajdonságú ferritek állíthatók elő.

A háromvegyértékű vas fele helyettesíthető horgannyal. Utóbbi anyag nem mágneses, de a különböző oxidok keverésénél felhasználják a mágneses



3. ábra

tulajdonságok kedvezőbbé tételére. A mágneses magokat préseléssel és utána következő szintereléssel állítják elő. Ilyenkor a szemcsék összekristályosodnak, tehát összefüggő anyagot kapnak, ellentétben a porvasmagokkal, ahol a szemcséket szigetelő anyaggal választják el egymástól.

A ferritek tulajdonképpen félvezetők és ezért örvényáram veszteségük elhanyagolhatóan kicsiny. A veszteségeket főképpen a hiszterézis és a maradék veszteség okozza.

A nagypermeabilitású anyagokkal kapcsolatban már régen ismert tény az, hogy a permeabilitás növelhető a magnetosztrikció csökkentésével. Valamennyi mágneses ferit negatív magnetosztrikciót mutat, kivéve a vasferritet, melynek pozitív magnetosztrikciója van. Megfelelő arányú keveréssel a magnetosztrikció minimumra csökkenthető és ezáltal a kezdeti permeabilitás megnövelhető.

További, a ferritekkel kapcsolatban felfedezett tény, hogy a permeabilitás növelhető a kristály-anizotropia csökkenésével. Ezt úgy érték el, hogy az anyagba horgany-ferritet is keverték, amivel a Curie-hőmérsékletet lecsökkentették és ezzel elérték a kívánt hatást.

Készítettek 1000—2000 kezdeti permeabilitású magokat is, melyekkel igen kisméretű tekercsek készíthetők és nagy jóságú tényezők érhetők el.

A Ferroxcube III néhány jellemző adata :

μ	$\mu a \cdot 10^3$	$\mu e \cdot 10^6$	$\mu c \cdot 10^3$
1500	2,5	1,5	15
600	1,2	0,5	20

Az adatokból megállapítható, hogy a hiszterézis állandók igen nagyok, ami még jelentősebb ilyen nagy permeabilitások mellett. Ahhoz, hogy pl. pupinvasmagokhoz ferritmagokat használni lehessen, légrést kell alkalmazni és ezzel a permeabilitást jelentősen le kell csökkenteni, miáltal a hiszterézis állandó is hasonló arányban lecsökken. Ilyen feltételek mellett használják a ferritmagokat és kedvező eredményeket értek el.

IV. Hazai gyártási szempontok. Új eljárás vaspor- és porvasmag gyártáshoz

Az ismertetett, használatos porvasmag gyártások közül a Mo-permalloy, alsifer és karbonil eljárások a legmegfelelőbbek, mert a híradástechnika minden szükségletét kielégítő, jóminőségű porvasmagok előállítására alkalmasak.

Ezek közül a karbonilvas gyártása költséges berendezéseket tesz szükségessé és csak akkor lehet rentábilis, ha nagymennyiségű vasport lehet gyártani. Ezt igazolja az is, hogy csak igen nagy fogyasztópiaccal rendelkező országokban gyártanak karbonilvasat.

A permalloy és alsifer gyártás lényegesen olcsóbb berendezésekkel végezhető, kisebb mennyiségek előállításához alkalmas, de kohászati részt is tartalmaz, ami a magyar híradástechnikai ipar méretei mellett, azokon belül nem végezhető el.

A Mo-permalloy porvasmagok előnye, hogy a legszélesebb skálával, átlagban a legjobb veszteségi adatú vasmagok állíthatók elő; hátránya a nikkell és molibden anyagszükséglet.

Alsifereknél nemesanyagszükséglet nincs, mert a vason kívül csupán alumíniumra és szilíciumra van szükség. Emellett az alsifer porvasmagok igen jó minőségűek és a híradástechnika minden szükségletét kielégítik.

Az eddig tárgyalt eljárások világszerte ismertek és a szakirodalom sokat foglalkozott velük. A hazai vonalon is számos próbálkozás történt már új eljárások keresésére. Ezek közül egy eljárással már hosszabb ideje folynak kutatómunkák a Távközlési Kutató Intézetben. Ez különleges elektrolitikus eljárás, mellyel meglepően jó eredményeket sikerült elérni. Tudvalevőleg az első eljárás, mellyel pupinvasmagok készültek, elektrolitikus volt és azért hagyták abba,

mert a minőségük nem volt kielégítő. Annál figyelemreméltóbb, hogy az új eljárással, tiszta vassal a hasonló permeabilitású karbonil C porból készült porvasmagok minőségét sikerült elérni.

Az eljárást kidolgozták permalloy por elektrolitikus előállítására is és az ebből készült porvasmagok minősége lényegileg megfelel a hasonló permeabilitású külföldi anyagoknak.

A kutatási munkák során nemcsak vasporokat, hanem új szigetelési eljárást is dolgoztak ki, amivel az örvényáram veszteségek alacsony értéken tarthatók.

Az adatok olyan kedvezőek, hogy indokolt foglalkozni ezen eljárás bevezetésének kérdésével, annál is inkább, mert a kohászati és hengerlési rész ennél az eljárásnál elmarad és így a gyártás teljes egészében a híradástechnikai ipáron belül bonyolítható le.

Az új eljárásról Dénes Péter kartársunk, az új eljárás feltalálója és kifejlesztője, fog felszólalásában részletesebben beszámolni.

HOZZÁSZÓLÁSOK :

DÉNES PÉTER

Mint Istvánffy kartárs előadásában részletesen ismertette, elsősorban a karbonil-vasporok, alsifer-porok és a permalloy-porok alkalmasak arra, hogy belőlük megfelelő jósági tényezőjű porvasmagokat készíthessünk a híradástechnika által jelenleg használt valamennyi frekvenciatartományban. Amikor tehát az a feladat merült fel, hogy a porvasmagokhoz szükséges ferromágneses porokat itthon állítsuk elő, kézenfekvő lett volna a kutatást ezen típusok valamelyikére beállítani. Az elmúlt évek folyamán ténylegesen folytak kísérletek különböző eljárások megvalósítására, egyelőre még sikertelenül. Különösen a karbonilvas-gyártás megoldása volna csábító, mert ennek alapanyaga tiszta vas és igen jó minőségű magokat ad ; azonban még a kísérletek kedvező befejezése mellett is igen nehéz ennek az eljárásnak gyakorlati megoldása, továbbá olyan kis méretben, mint amennyit a hazai szükséglet igényel, gazdaságosan valószínűleg egyáltalán nem lehetséges.

Nyilvánvaló volt tehát, hogy a megoldást más irányban kellett keresnünk. Itt ismét utalok az előadóra, aki kifejtette, hogy a kohászati eljárás a mi iparágunktól távolosik és ezért ily irányú kutatást saját vonalunkon nem folytathattunk, a többi eljárás pedig az irodalmi adatok szerint nem hozhatott kielégítő eredményeket. Miután a lágy mágneses anyagok kedvező tulajdonságai — nagy általánosságban beszélve — erősen függenek attól, hogy az anyag bizonyos szennyezésektől szinte teljesen mentes legyen és ez a tisztasági fok elektrolitikus úton biztosítható, az egyéb fémporítási eljárások mellett leginkább ez látszott biztatónak, annál is inkább, mert a kutatás sikere esetén az elektrolitikus eljárást viszonylag kis költséggel és rövid idő alatt lehet nagyüzemileg bevezetni. Miután azonban az elektrolitikus porvasmagokkal külföldön annyira gyenge eredményeket értek csak el, ami a korszerű Pupinmagokhoz való felhasználhatóságukat szinte kizárja, javasoltam, hogy a kutatást elektrolitikusan gyártott ferromágneses ötvözetporokra is terjesszük ki, olyan új változatokkal, amelyek esetleg az eddigieknél sokkal jobb porvasmagok készítését teszik elérhetővé.

Mielőtt az általunk kidolgozott eljárás elvét kissé jobban ismertetném, szükségesnek tartom ehelyütt kiemelni Winter Ernő kartárs szerepét és köszönetet mondani neki azért, hogy elképzelésemet a számos pesszimista ellenvéleménnyel szemben, mely szerint éppen az irodalmi adatok alapján ez az eljárás teljesen kilátástalan, felkarolta és ezzel a kutatás megindulását és eredményes befejezését lehetővé tette.

Az irodalomban említett elektrolitikus vasmagok úgy készültek, hogy a vasat a katódon nagy katódáramsűrűséggel választották ki, miáltal a vassal együtt nagymennyiségű hidrogén is kivált, mely a katódbevonatot törekennyé tette. A kivált vasat megőrölték. Az örlemény szabálytalan alakú, zömében 10—50 μ közepes méretű vasport eredményez.

Ismeretes, hogy a hiszterézis veszteségi tényező, mely egyébként egy bizonyos portípusnál anyagi állandónak tekinthető, vasnál bizonyos mértékben csökken a szemcsenagyság csökkenésével egy ideig, amíg a szemcsenagyság mérete nagyságrendileg nagyobb a domain méretnél, később azonban rohamosan nő. Várható tehát, hogy ha a vaspor szemcseméretét csökkentjük, az elektrolitikus vasra kapott eddigi hiszterézis veszteségi érték is csökkenni fog. E célból azonban változtatni kellett az eljárást, mert a hidrogénnel rideggé tett vasat csak bizonyos mértékig lehet porítani. Az aprítás folyamán ugyanis a lekötött hidrogén nagy része eltávozik és később már csak lágy, szívós vas marad hátra, ami már nem örölhető. Igyekeztünk tehát már a leválasztás folyamán arról gondoskodni, hogy a kivált vasrészek bizonyos kristálynagyságnál jobban ne nőjjenek össze és ténylegesen a nyert katódbevonatot nem volt szükséges törni, hanem egyszerűen szét lehetett dörzsölni. Ezáltal sikerült már ebből a nyersporból is olyan magokat készíteni, melyek hiszterézis veszteségi tényezője fele volt az irodalmi adatoknak; a permeabilitás azonban még alacsony volt. Ennek főleg az volt az oka, hogy a por, bár nem tartalmazott már metalloidd szennyezéseket, de még sok gáznemű szennyezés volt benne, elsősorban hidrogén és oxigén. Ezeknek hőkezelés útján való eltávolításával egyidejűleg tudtuk a permeabilitást emelni és a hiszterézisveszteséget csökkenteni. A tiszta vasnál ugyanis ezek az adatok kedvezőbbek, mint az oxigént, vagy hidrogént tartalmazó vasnál.

Szükséges volt azonban a permeabilitást ennél tovább emelni és ezt — miután a vasport gyakorlatilag tovább nem tisztíthattuk — már csak fizikai módszerekkel remélhettük elérni, amelyekkel vasporunk kezdeti permeabilitása, vagyis az az érték, melyet a zérus indukcióhoz való extrapolálással kapunk, megnövelhető. Porvasmagoknál ugyanis nagyon kis átmágnesezésekkel dolgozunk és ez a permeabilitás értéke döntő. Az ebből a célból alkalmazott kezelések viszont bizonyos permeabilitás értékhatáron túl a hiszterézisveszteség növekedését okozzák, úgy hogy egy ptimális értéknél kellett megállapodnunk, mely végül is azt eredményezte, hogy sikerült olyan elektrolitikus vasport előállítanunk, amelyből gyártott porvasmag permeabilitása kb. 1,3-szoros és hiszterézisveszteségi tényezője csak mintegy harmada volt az irodalomban ismertetett eddigi legjobb elektrolitikus porvasmag értékeinek. Az örvényáramveszteségi és maradékveszteségi tényezők körülbelül azonosak voltak az irodalmi értékekkel.

Az elektrolitikus eljárás hangsúlyozandó előnye az is, hogy a nyersanyagként szolgáló vassal szemben nem kell különös tisztasági, vagy megmunkálási-követelményt támasztani. A Martin-kemencéből nyert vas tisztasági foka megfelel és a vasanódok lehetnek lemezek, tömbök, rudak, csak az a lényeg, hogy az elektrolitkád begyűjtősinére lehessen erősíteni.

Ezáltal tehát lehetőségessé vált a karbonilvasporból készült hang- és vivőfrekvenciás porvasmagoknak ugyancsak tiszta vas alapú porvasmagokkal való helyettesítése. Nagyfrekvenciánál azonban a karbonilvasporok különös felépítése olyan előnyöket nyújt, amelyekkel semmilyen más ferromágneses por, még a molibdénpermalloy sem tud versenyezni. A karbonilporok rendkívül alacsony hiszterézisveszteségi tényezője a porok igen kis szemcseméretével, gömbalakjával és főleg héjyszerű felépítésével függ össze. A por kiválásakor egymásra rakódó héjakkal ugyanis a port mechanikai feszültség állapotában tartják és ez az egyik fő oka annak, hogy a karbonil hiszterézisveszteségi tényezője tizede lehet bármely más ferromágneses por hiszterézisveszteségi tényezőjének.

Az I. G. legújabbán kidolgozta a Karbonil G. típust, mely $2\ \mu$ -nál kisebb szemcsékből áll, hiszterézisveszteségi tényezője tizedakkora, mint a Karbonil

E pornak $\epsilon \mu = 10$ permeabilitású magokat ad, melyek igen nagy frekvenciáig használhatók.

Az irodalomban több helyen történik utalás arra, hogy a kis hiszterézisveszteség a por magas széntartalmával függ össze, mivel ha a Karbonil E típusú porból Karbonil C-t készítünk, ami hidrogénben való izzítással történik, mely az eredeti 1—2%-os széntartalmat majdnem eltünteti, a hiszterézisveszteség erősen megnő. Hogy ez a felfogás helytelen, az egyszerűen kimutatható úgy, hogy egy hőállóan szigetelt, Karbonil E porból készült magot semleges atmoszférában kb. 500 C°-ra hevítünk, miáltal a héjyszerkezet feszültségi állapotát megszüntetjük, de a port nem széntelenítjük; ekkor a hiszterézisveszteség ugyancsak jelentékenyen megnő. Ezt azért tartottam szükségesnek megemlíteni, hogy hangsúlyozzam, nem volna megfelelő, ha a karbonilsav kis hiszterézisveszteségét úgy akarnók elérni, hogy vasporunkat szénnel ötvözzük. Sőt ennek az ellenkezője következne be: a hiszterézisveszteségi tényező nő a széntartalommal. Ez is mutatja, hogy a héjyszerkezet hiszteréziscsökkentő hatása milyen jelentékeny. Kétségtelen másrészt, hogy a nagyfrekvenciás karbonilvasporokból azért tudunk csak kispermeabilitású magokat készíteni, mert sok bennük a szén. Ha tehát ki lehetne dolgozni a karbonilgyártáshoz hasonló bontási eljárást, mellyel hagymaszerkezetű vasport kapnánk, szennyezések nélkül, valószínűleg nagypermeabilitású magokat is készíthetnénk a kemény karbonilporok alacsony hiszterézisvesztesége mellett.

Nagyfrekvenciás magok, de a többi típusú porvasmagok szempontjából is kedvezőbb a helyzet ötvözött ferromágneses alapporok esetén. Mint láttuk, a kohászatiilag előállított ötvözetekből, szívósságuk miatt igen nehéz port készíteni. A németek kísérleteztek vaspentakarbonil és nikkeltetrakarbonil keverékének együttes elbontásával, de keveréket kaptak és nem ötvözetet. Ugyanez a helyzet keverékok oxidok redukálásánál. A keverékek termikus diffúzióval utólag egymásba ötvözhetőek, de itt az a probléma, hogy azon a hőfokon, melyen a tökéletes diffúzió végbemegy, a szemcsék összenövése is megindul és ismét az aprítás nehézségébe ütközünk. Az elektrolitikus eljárásnál megfelelő leválasztás esetén már a katódon ötvözetet kapunk és olyan laza szerkezettel, hogy a szívós anyagok aprítása sem okoz nehézséget, másrészt az ötvözeteknél is biztosíthatjuk a szennyezésmentességet, ami a mágneses adatok szempontjából döntő.

A kutatásnak feladata volt azon tényezők kidolgozása, melyek ötvözött leválasztást eredményeznek, továbbá annak feltételeit, hogy az ötvözet összetétele állandó legyen. Elektrolitikus ötvözetleválasztásnál ez különösen nehéz probléma, mert az áramsűrűség-potenciál karakterisztika kismérvű megváltozásánál is erősen változik a kiválási arány, mely egyébként a fürdő összetételének, hőmérsékletének, hidrogénionkoncentrációjának, a geometriai méreteknek, az anódok passzíválódásának és még sok egyéb más tényezőnek is a függvénye. A kísérletek kezdetén előfordult például, hogy egy bináris ötvözet összetételi aránya egy óra alatt, a fürdőt magára hagyva, kb. 50%-kal megváltozott. Az elektrolitikus ötvözetporgyártás tehát akkor vált gyakorlatilag használható eljárássá, amikor az összetétel állandósítását sikerült megoldanunk. Jelenleg teljesen automatizálható módszerrel az összetételt $\pm 1\%$ pontossággal állandó értéken tudjuk tartani. Ez általában sokkal jobb a kohászati ötvözés állandóságánál, melynél egy öntécsben is a széleknek gyorsabb hűlése miatt, az összetétel ennél nagyobb ingadozásokat mutathat.

A kutatás fontos része volt megfelelő szigetelési technika kidolgozása.

A karbonilporoknál jelenleg használt műanyagszigetelés a mi esetünkben még kevésbé felelt meg, mert a karbonilvasszemcsék gömbalakúak, viszont az elektrolitvasszemcsék szabálytalanok és a préselésnél hegyes részeik a lágy műgyantaréteget átszúrják és a szemcsék közt rövidzárlatot okoznak, ami a veszteségek jelentékeny megnövekedéséhez vezet. A kutatás során tehát mechanikailag ellenállóbb és lehetőleg nagyobb fajlagos ellenállású szigetelőréteget kellett kidolgoznunk, mely alkalmas arra, hogy a vasszemcséket teljesen beburkolhassuk vele. Az ötvözött magoknál ezen szempontokhoz még az a követelmény is járul, hogy a szigetelés az ötvözetporok legkedvezőbb mágneses tulajdonságait kialakító hőkezelést károsodás nélkül állja ki.

Az ötvözetporokból nagyon jó minőségű magokat tudunk gyártani, melyek permeabilitása nem egész kétszerese, hiszterézisveszteségi tényezője pedig mintegy a fele a tiszta vasból gyártott porvasmagjaink megfelelő értékeinek. Felmerül tehát a kérdés, hogy a gyártásba való bevezetésnél melyik típus mellett döntsünk. A tiszta vas előnye, hogy nem igényel nemesebb fémeket, az ötvözetporé viszont, hogy sokkal kisebb méretek mellett magasabb technikai nívót biztosít és emellett évenként többmillió forint megtakarítást eredményez.

A tiszta vaspórá és ötvözetpor önköltségi ára kb. a felét teszi ki a jelenlegi beszerzési árnak és különösen az ötvözetpor alkalmazása esetén a berendezés költségét kb. egy év alatt visszanyerhetjük a megtakarításból. Az ötvözetporunkból készült porvasmagokkal nemcsak a mágneses arány súlya csökken a felére, hanem a huzalozás és egyéb szerelvények súlya is kisebb lehet és a berendezés sokkal korszerűbb. Az ötvözethez szükséges nikkelmennyiség csak egy tört része annak, amit régebben galvanizálásra felhasználtunk és így — amennyiben a szükséges nikkellel erre a célra biztosítható — feltétlen a technikailag tökéletesebb és jóval olcsóbb ötvözetporok levezetése indokolt.

A porvasmaggyártás alapanyagának hazai előállítására vonatkozó kutatásunk mérlegét tehát úgy vonhatjuk meg, hogy 90%-ban függetleníttük magunkat az importtól és emellett a jelenlegi gyártmányoknál lényegesen jobb és olcsóbb típusokat tudunk teljesen önállóan előállítani.

PERES TIBOR

Legyen szabad az előadásban elhangzottakat a ferromágneses anyagok egyik híradástechnikai alkalmazásával kapcsolatosan néhány részletkérdés tekintetében kiegészítenem. A vasmagok alkalmazása minden esetben az elektromos és szerkezeti szempontok gondos mérlegelésével történik. A szempontok mérlegelése különösen fontos egyrészt akkor, amikor a frekvenciahatárok kiterjesztéséről van szó, másrészt ott, ahol a berendezés nagy számban tartalmaz indukciós csévéket, mint pl. a távkábelek terhelt áramkörei. Ez utóbbi esetben ugyanis a csévék által az áramkörökbe bevitt veszteségek összegeződnek és a veszteségek hatása fokozott mértékben érvényesül.

A nagy távolságú összeköttetések céljaira szolgáló terhelt érnegyeselekben mintegy 2 kilométerenként 3 csévé (1 fantom és 2 törzs) kerül beépítésre. A csévémagok mágneses hiszterézise a beszédátvitel jóságát három irányban befolyásolja. Először is a hiszterézis által okozott veszteségi ellenállás útján növeli a vezeték csillapítását. A második hatás az, hogy okozója lévén az áramkörben keletkező nemlineáris torzításoknak, megszünti az átvitel hatótávolságát. Végül a terhelt vezetékek többszörös kihasználása esetén a szomszédos frekvenciasávokban nemlineáris áthallást idéz elő.

Az előadó rámutatott arra, hogy azonos permeabilitású magokból készült és egyforma minőségű csévék anyagainak hiszterézis állandói és térfogatai között az arány négyzetes. Ez a híradástechnikai gyakorlat számára nagyjelentőségű tény, aminek illusztrálására megemlítem, hogy amíg 1923-ban egy érnégyes terhelésre szükséges cséveegység súlya mintegy 11 kg-ot tett ki, 1941-re, amikor már nagyobb permeabilitás mellett lényegesen kisebb veszteségű porvasmagokat alkalmaztak, ez a súly mintegy 2,6 kg-ra csökkent nemzetközi viszonylatban. Ez a csökkenés majdnem teljes mértékben a porvasmagok minőségében elért fejlődés eredménye, a szerkezeti megoldás tökéletesítése csak kis mértékben járult ehhez hozzá. A súlycsökkentés elérhető volt az időközben lényegesen szigorított elektromos előírások ellenére is, úgy, hogy az új csévék minősége lényegesen jobb a régebbiekéénél.

Hazai viszonylatban, nem rendelkezvén hazai porgyártással, nem álltunk az említett nemzetközi színvonalon. A külföldről behozott vasmagok és vasporok minősége ugyanis erősen ingadozott és nem kaptuk mindig a legújabb és legjobb típusokat. Így cséveegységeink súlya külföldi gyártású porból itthon sajtolt magokkal mintegy 4,5 kg-ot tett ki; ennek a súlynak a csökkentése csak olyan esetben vált lehetővé, amikor éppen jobb magokat sikerült külföldről behoznunk. Az előadó által is tárgyalt nagypermeabilitású permalloy és ferrit magokkal a külföldi technika további fejlődést ért el, és ezzel a csévéket tartalmazó különböző szerkezeti elemek — cséve fazekak, szűrőegységek stb. — térfogatát és súlyát illetően jelentékeny hely és nyersanyag megtakarításhoz jutottak. Ma már 1—1½ kg súlyú cséveegységek készíthetők.

A kutatásról szóló beszámoló során kétfajta porról hallottunk: tiszta vasporról és ötvözött vasporról. Mivel a nagypermeabilitású ötvözött porokkal minőségileg jobb eredmény érhető el — kisebbek a magok veszteségi állandói és nagyobb a stabilitásuk — teljes mértékben osztom Dénes kartársnak azt a véleményét, hogy a további kutatások főleg az ötvözött porok fejlesztésével foglalkozzanak. Az elektrolitikusan előállítható tiszta vasporok ugyanis, egyrészt mivel nem gömbalakúak, másrészt, mivel az elektrolitikus eljárással a belső héjjas szerkezetet elérni nem lehet, nem fejleszthetők a legjobb minőségű karbonilporok színvonaláig.

Foglalkoznia kell még a kutatásnak a különleges célokra alkalmas, pl. temperatúrára kiegyenlített, kispermeabilitású de igen tág frekvenciahatárok között használható stb. pormagok fejlesztésével is.

Legyen szabad néhány szóval kitérnem azokra a mérés technikai problémákra, amelyek az ismertetett kutatási munkákkal kapcsolatosak. A kutatási munkák során előállított magok veszteségi állandóinak mérése az előadó által már korábban szerkesztett hangfrekvenciás híddal történt. Ez a híd veszteségekre kalibrált variométer etalonnal működik. Frekvenciatartománya kimondottan a beszédfrekvenciákra korlátozódik. A kutatások során a hiszterézis-, örvényáramú- és reziduális veszteségek szétválasztása és a veszteségi állandók megállapítása a gondos és többirányú ellenőrzés tanúsága szerint megfelelő pontossággal történt. Ez lehetővé tette a kutatónak azt, hogy a technológiai eljárásaiban alkalmazott változtatások hatását pontosan követhesse. Nagyobb frekvenciatartományokra és igen kis veszteségi állandójú anyagok vizsgálatához ma már korszerűbb módszerek szokásosak, pl. nagy frekvenciatartományú precíziós Maxwell-híd vagy rezonancia-híd; kívánatos, hogy a kutatásnak a szükséges korszerű mérőberendezések a továbbiakban is kellő mértékben rendelkezésére álljanak.

LENGYEL BÉLA

Mint a Magyar Tudományos Akadémia Központi Fizikai Kutató Intézete akusztikai és ultrahang kutatócsoportjának tagja, felhívja a figyelmet, hogy ultrahanggal — amin 16 000 Hz-nél magasabb mechanikai rezgéseket értünk — előnyösen lehet befolyásolni a vas elektrolitikus leválasztását.

Az ultrahang igen hatásos beavatkozásokra használható, pl. : fotográfiai emulzió szemcsefinomsága erősen javítható, egyébként nem keveredő folyadékokból percek alatt szét nem való emulzió állítható elő. E. E. Dutt francia szabadalmi bejelentése szerint vizes oldatból alumínium és magnézium választható le.

Az elektrolitikus vas leválasztásánál ultrahanggal a szemcsenagyság erősen befolyásolható. Azonkívül erősen csökkenthető a túlfeszültség és a gáztartalom.

Kívánatos lenne tehát a kutatást ezirányban is kiterjeszteni, amihez a K. F. K. I. szívesen nyújt segítséget.

POMIKACSEK LEÓ

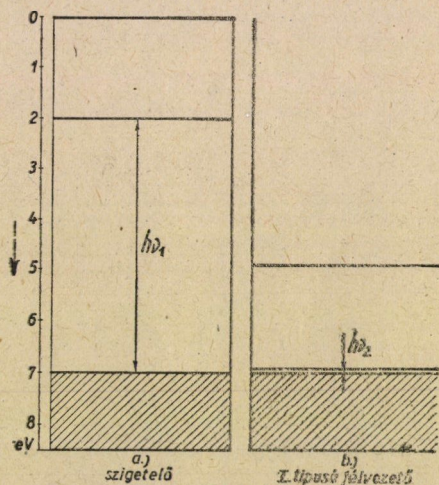
Vasmagok préselésekor a gyártás egyenletességét nagymértékben befolyásolja, hogy a felhasznált vaspapor töltési tényezője (a szemcséknek és a közöttük levő hézagoknak a térfogataránya) mennyire állandó. Mivel az ismertett eljárás elektrolitikus, a szemcsék alakja valószínűleg szabálytalan sokszögű és ezért felmerül a kérdés, hogy a Dénes-féle eljárással készülő vaspapor töltési tényezője eléggé állandó lesz-e. A carbonilporokból készülő magok gyártásánál is tekintettel kell lenni arra, hogy a szemcseméretük még ugyanannak a szállítmánynak a különböző hordóiban is gyakran különbözők, bár a carbonilpor szemcséi gömbalakúak. Az átlagos szemcseméretük a hozzászóló által kidolgozott eljárással jól mérhető. Pupincsevék készítéséhez szükséges magok minőségének az elbírálásához teljes fantomegységeket szoktak mintául elkészíteni és a vizsgálatokat a kész egységen hajtják végre. Erre az eddigi kísérletek során még nem volt lehetőség. Az elmondott körülmények indokolták teszik, hogy bár a Dénes-féle porokból készített magok a hozzászóló vizsgálatai szerint is kitűnő minőségűek, a tömeggyártásra nézve a véleményezést még korainak tartja. Éppen a minőséggel szemben emelt követelmények kielégítése miatt kívánatos, hogy a vasporgyártás irányítása híradástechnikai üzem kezében legyen, mivel csak ilyen üzem ismeri a kész magokkal szemben támasztott követelményeket és a minőség mérésének a módszereit.



FÉLVEZETŐ ANYAGOKNAK A HÍRADÁS- ÉS FÉNYTECHNIKA SZEMPONTJÁBÓL ÉRDEKES TULAJDONSÁGAI*

SZIGETI GYÖRGY

Az utóbbi időben a híradástechnikában és fénytechnikában igen nagy jelentőségük van az áramot nem fémesen vezető kristályos anyagoknak. Ezek az anyagok lehetnek olyanok, amelyek normális körülmények között jó szigetelők, de lehetnek olyanok is, melyeknek tekintélyes elektromos vezetőképeségük van. A következőkben az anyagoknak azzal a csoportjával kívánok

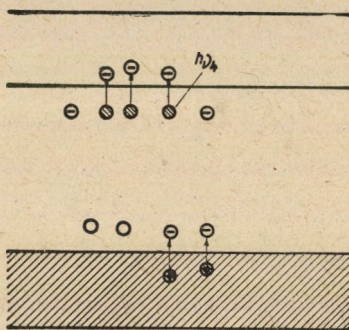


1. ábra.

foglalkozni, amelyre jellemző, hogy Sommerfeld, Bloch, Brillouin elmélete szerint az elektronok által betöltött legfelső zónában minden megengedett állapot be van töltve, és amelyeknél a legfelső betöltött és a felette levő zónák között átlapolás nincsen. Ilyen anyag elektromos tulajdonságait a legfelső betöltött zóna és a következő üres zóna közötti tiltott sáv tulajdonságai szabják meg (1. ábra). Ha a tiltott sáv széles és benne zavarnívók nincsenek, úgy az elektronok a legfelső teli zónában energiát sem sugárzás, sem gyorsító terek hatására felvenni nem tudnak, kivéve, ha a közölt energiakvantum már nagyobb, mint a tiltott sáv szélességének megfelelő $h\nu$ érték. Az ilyen anyagok átlátszók és elektromos szempontból igen jó szigetelők. Ezzel szemben ha a tiltott sáv

*1951 dec. 11-én tartott előadás

szélessége csak néhány tized elektronvoltot tesz ki, akkor az elektronok már a hőmozgás hatására átjutnak a kondukciós sávba és az anyag a temperatúrával rohamosan növekvő arányban vezetővé válik. Ez utóbbi anyagok, amelyeknél tehát az elektromos vezetőképesség a temperatura növekedésével, rendszerint exponenciálisan, nő, alkotják a félvezetők első csoportját. Igen gyakori azonban, hogy a széles tiltott sávban különböző olyan nívók foglalnak helyet, melyek a rács periodicitásából származó megengedett és tiltott zónáktól függetlenek (2. ábra). Így például azért, hogy a rács periodicitása a kristály határfelületén megszakad, a tiltott zónában lokalizáltan elhelyezkedő megengedett állapotok mutatkoznak. Ugyancsak hasonló lokalizált állapotok létesülését idézi elő minden, a kristályszerkezetben mutatkozó esetleges hiba vagy szabálytalanság.



2. ábra.

Zavartermek a II. típusú félvezetőben

Ilyen »zavartermek« jelenléte esetén a kristály el tud nyelni olyan energiákat is, amelyeknél a $h\nu$ érték a két megengedett zóna közötti távolságnál kisebb, illetőleg a zavarterm és a teli zóna, illetőleg üres zóna valamely állapota közötti különbségnek felel meg. Ha ilyen zavartermek, amelyek betöltetlenek, a teli sáv közelében helyezkednek el, úgy a teli sávból a hőmozgás folytán elektronok jutnak a zavartermekbe és ezáltal a teli sávban betöltetlen energiaállapotok maradnak szabadon és így az anyag vezetővé válik; a vezetőképesség ez esetben is a temperatúrával növekszik. Az áramot az ilyen kristályoknál az elektronok helyén előálló lyukak továbbítják. Egész hasonló a helyzet akkor, ha a kondukciós sáv alatt, annak közvetlen közelében elektronokkal betöltött zavartermek foglalnak helyet. Ilyen esetben a zavartermekről elektronok jutnak a hőmozgás folytán a kondukciós sávba és okoznak vezetőképességet. A két utóbb tárgyalt rendszernek megfelelő anyagok képezik a félvezetőknek második nagy csoportját.

A félvezető anyagoknak fenti, Wilsontól származó teóriája abból a feltevésből indul ki, hogy a kristályt alkotó atomok valencia elektronjai az atomról leválva kizárólag a periódikus tér együttes hatásának vannak kitéve, mint

ez a fémeknél be is bizonyosodott. Frenkel szovjet kutató mutatott rá ennek az elképzelésnek néhány sarkalatos hibájára.^{1,2} Így pl. a Wilson-féle elmélet jól megmagyarázza a félvezetők vezetőképességének temperaturától való függését, szemléletesé teszi, hogy vannak olyan félvezetők, amelyekben az áramot elektronok és vannak olyanok, amelyekben az elektronok hiányának megfelelő lyukak (melyek tehát pozitív töltésű elektronnal egyenértékűek) továbbítják. A Wilson-féle elméletből azonban az következne, hogy ha egy félvezető fényt nyel el, az feltétlenül maga után vonná vagy az elektronnak a kondukciós sávba való kerülését, vagy az üres zavartermet elfoglaló elektron helyének a felszabadulását. Mindkét esetben tehát a fényelnyelést fotokondukciónak kellene kíséreni. A valóságban azonban az általános eset az, hogy a fényelnyelés fotokondukciónak fellépése nélkül történik és csak kivételes esetben észlelhető fotokondukciónak. A Wilson-féle elmélet ezen hiányaira való tekintettel Frenkel feltételezi, hogy általánosságban a félvezető vagy szigetelő anyagok elektronjai igen erősen kötve vannak az ionokhoz. Csak optikai, vagy termikus gerjesztés hatására szakadnak le egyes elektronok az atomról és csak ezekre a már leszakadt elektronokra hat a rács kollektív tere. Ezekre a közössé vált elektronokra igaz az előzőekben ismertetett elmélet. A fényelnyelés azonban nem szakítja le szükségszerűen az elektront az atomról, hanem csak akkor, ha a $h\nu$ energiája elegendő nagy, vagyis nagyobb azon energiánál, amely az elektront a pozitív ionhoz köti. A kristály azonban képes — mint a tapasztalat mutatja — kisebb energiát is elnyelni. Ez esetben az atom gerjesztett állapotba kerül, semleges marad, de nem keletkezik egy szabad elektron és ennek megfelelő pozitív hiány (lyuk). A gerjesztés nem marad kötve egy elektronhoz, hanem a gerjesztett állapot továbbadódik atomról atomra, úgy viselkedik, mint valamely részecske, tehát a gerjesztési energia a kristályban továbbterjedhet anélkül, hogy fotokondukciónak lépne fel, vagyis a fény hatására kiváltott újabb töltéshordozó, mint ez a kísérleteknek jól megfelel, nem keletkezik.

A gyakorlatban előforduló félvezetőknél (az előbbieket szerinti második csoport) Frenkel a zavartermek jelenlétét ugyanúgy feltételezi, mint a régebbi elmélet. A szennyező atomok lehetnek vagy ú. n. *donorok* vagy *acceptorok*. Az első esetben a szennyező atom saját elektronját adja át a rács közös elektronjaihoz, a második esetben pedig fordítva: az alapanyag elektronjai kötődnek hozzá szilárdan a szennyező atomhoz, amikor is az alaprácsban marad szabadon elektronhiány. Az első módon előálló áramvezetést *n*-típusúnak, a másodikat pedig *p*-típusú vezetésnek mondjuk.

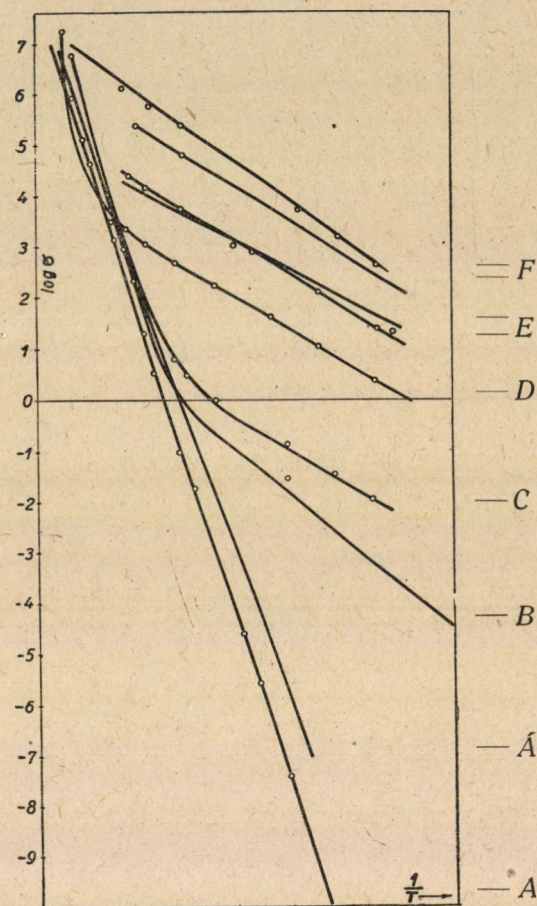
Szobahőmérsékleten az összes ismert félvezetők vezetőképességét a donorok, vagy acceptorok által létesített töltéshordozók adják. Magasabb hőmérsékleten már fellép az a vezetőképesség is, amelyet az elektronoknak az alap-

¹ Frenkel: Bevezetés a fémek elméletébe. (magyar ford.) 91. o.

² Mott, Gurney: Electronic Processes in Ionic Crystals. 89. o.

zónából a kondukciós zónába való átlépése okoz. Itt minden elektron szabaddá válásával egyidejűleg szabaddá kell válni egy lyuknak is, tehát az esetben a p és n típusú vezetőképesség együtt lép fel.

Egy félvezető (Si -kristály) vezetőképességének a temperatúrafüggését látjuk a 3. ábrán, ahol a vezetőképesség logaritmusát ábrázoltuk, mint a temperatura



3. ábra.

A és Á a tiszta Si kondukciós sávja által létesített vezetőképesség,
B—F a szennyezések által létesített zavartermék folytán előálló vezet és

reciprok értékének a függvényét. Látjuk, hogy a szilíciumnak a szennyezés mennyiségétől függően a vezetőképessége alacsony hőmérsékletnél lassan változik a temperatúrával, majd amint az alakristályban is létesülnek szabad töltéshordozók, a vezetőképesség a logaritmikus skálában az előbbinél sokkal nagyobb meredekséggel lineárisan, a valóságban tehát a temperatura reciprok értékének csökkenésével exponenciálisan növekszik.

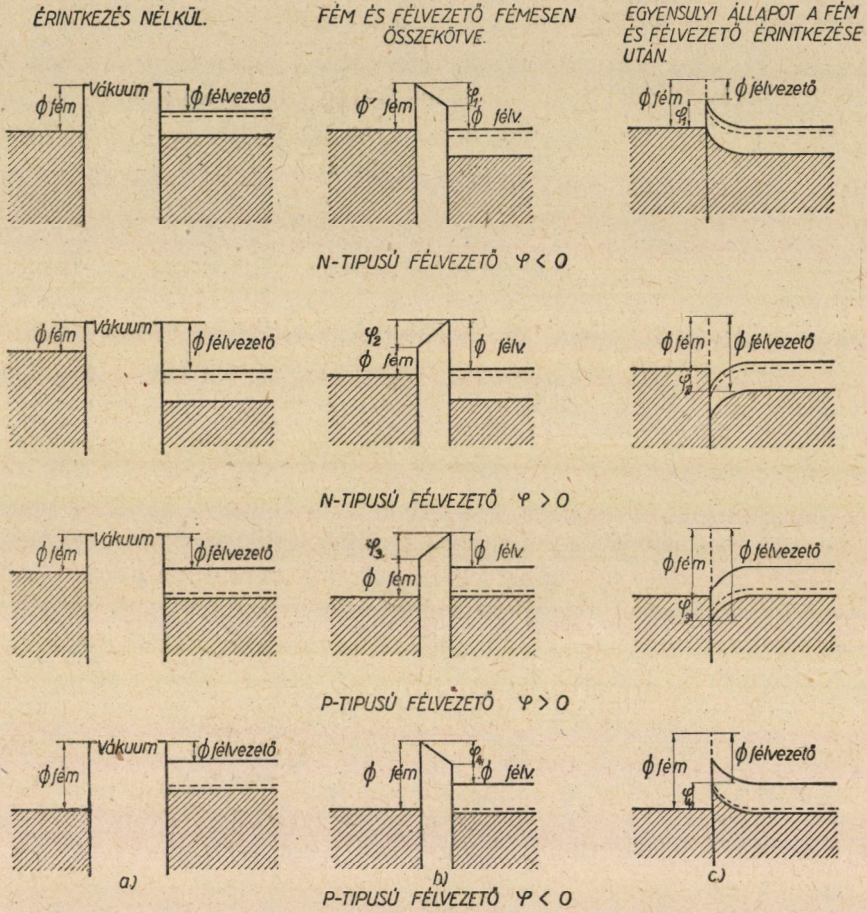
Az eddigiekben csak egymagában álló félvezetőnek az elektromos tulajdonságait vizsgáltuk. További rendkívül érdekes jelenségek lépnek fel azonban, ha a félvezetőt egy fémmel hozzuk érintkezésbe. A tapasztalat azt mutatja, hogy ilyenkor egyes esetekben a vezetés asszimmetrikussá válik, vagyis a rendszer ellenállása különböző aszerint, hogy a fémet, vagy a félvezetőt kapcsoljuk pozitív vagy negatív feszültségre. Ezt a jelenséget hasznosítják a különféle *kristályegyenirányítók* és az *ú. n. száraz egyenirányítók* (szilícium, germánium, szilíciumkarbid stb. kristálydetektorok, rézoxidul- és szelénegyenirányítók). Ez az egyenirányító hatás is simán magyarázható az előzőekben ismertetett elmélet segítségével.^{3,4} Ki kell indulnunk a rég ismert kontaktus potenciál jelenségéből.⁵ Ha ugyanis két testet, melyek kilépési munkája egymástól különböző, vezetőileg összekötünk, elektronok áramlanak a kisebb kilépési munkájú testtől a nagyobb kilépési munkájú felé, mindaddig, míg az egyensúly be nem áll. Ez esetben azonban a két test felületén, de a testen kívül levő pontok között potenciálkülönbség lép fel, amelynek értéke jó megközelítéssel a két test kilépési munkájának különbségével egyenlő. Tekintettel arra, hogy két egymással érintkezésben lévő testnél az *ú. n.* elektrokémiai potenciálnak azonosnak kell lenni, ez azt jelenti, hogy a félvezetőben az összes elektronnívók a fémhez viszonyítva el kell hogy tolódjanak. (Elektrokémiai potenciálnak nevezzük azt a munkát, amely szükséges ahhoz, hogy egy, a testtől végtelen távol képzelt, nyugalomban lévő elektront izotermikusan a testbe bevihessünk, ha feltételezzük, hogy eközben a test térfogata és hőfoka változatlan marad.) Ha tehát egy félvezető és egy fém elektronnívói a kettőnek érintkezése előtt a 4a ábra szerinti képet mutatták, úgy a két anyag érintkezése után a nivók eloszlása szükségszerűen a 4c. ábrának megfelelő értéket fogja felvenni. A félvezetőből ugyanis (*n*-típusú félvezetőt tételezve fel) elektronok fognak a határfelületen a fém felé folyni és a fém felületén egy negatív felületi töltést létesítenek. A félvezetőn pedig az ennek megfelelő elektronhiány a határrétegen pozitív tértöltést létesít. Ez a tértöltés a töltéshordozók kis sűrűsége miatt, a félvezetőben bizonyos (10^{-4} cm nagyságrendű) mélységig fog kialakulni. A határfelületen tehát fel fog lépni egy kettős réteg és végeredményképpen a félvezető összes nivói a kontaktpotenciál értékének megfelelően le fognak süllyedni. Hasonló, de fordított előjelű hatás lép fel a fém és *p* típusú félvezető érintkezésekor (4. ábra). Mindkét esetben a fém és félvezető között fellép az előbb említett kettős réteg. Ez a kettősréteg idézi elő a vezetésben a feszültség irányától függő asszimmetriát, azaz az egyenirányító hatást. Ha ugyanis a fém és — mondjuk *n* típusú — félvezető közé külső feszültséget kapcsolunk, úgy a 4c ábra szerinti kép az 5. ábrának megfelelően módosul. Ha a feszültség

³ W. Shottky : Phys. Zsch. 41, 570. 1940.

⁴ B. Davydov : Z. Phys. USSR. 4, 355, 1941.

⁵ J. Bardeen : Phys. Rev. 71, 717, 1947.

iránya a 5a. ábrának felel meg, vagyis a félvezető van magasabb feszültségen, úgy a fém felől nézve a zárófeszültség értéke továbbra is megfelel a kilépési munkák különbségének, tehát az elektronáramlásban változás nincsen. A félvezető felől nézve azonban a barrier magassága az alkalmazott feszültség



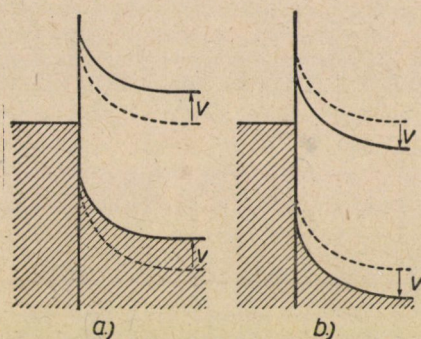
4 ábra.

A fém- és a félvezető zónáinak egymáshoz viszonyított helyzete.
(\emptyset = kilépési munka, φ = kontaktpotenciál.)

értékének megfelelően csökken, tehát az elektronok áramlása a félvezetők felől a fém felé könnyebbé vált. Tekintettel arra, hogy a félvezetőkben az elektronok eloszlása exponenciális, az áram is a feszültség növekedésével exponenciálisan nőni fog. Ellenkező irányú feszültség esetén azonban a félvezető zónái az alkalmazott feszültség értékének megfelelően süllyednek, tehát az elektronok áramlása a félvezetőtől a fém felé ennek megfelelően megnehezedik.

p típusú vezetónél — mint várható — a viszonyok hasonlóak, de fordított előjellel.

A leírt mechanizmusból az következne, hogy az egyenirányító hatás minden esetben a kontaktus gyanánt alkalmazott fém és a félvezető közötti kontaktpotenciálkülönbségtől függ. Valóban a kísérletek a leírt elmélettel jól egyező eredményt adtak az esetben, ha nagyfelületű kontaktust alkalmaztak. Ezzel szemben egyes kristálydetektoroknál a szokásos tűalakú kontaktusoknál úgyszólván semmi különbséget nem sikerült észlelni, bármilyen anyagból is készítették a kontaktust. Bardeen és Meyerhof⁶ bebizonyították, hogy ebben az esetben az I. Tamm⁷ szovjet fizikus által először tanulmányozott felületi



5. ábra.

A félvezető zónáinak alakulása a fém- és félvezető között alkalmazott V feszültség hatására

nívóknak van lényeges szerepük. Ezek a felületi nívók, melyeknek száma a kristály felületén lévő atomok számától függ, bizonyos körülmények között, ha a felületi nívók sűrűsége elég nagy ($10^{12}/\text{cm}^2$) a fémekhez hasonló, félig betöltött kondukciós sávot jelentenek a termsémában. Ez a felületi réteg egy ellenkező előjelű tértöltési réteget idéz elő, amely a kristály belsejébe ugyancsak kb. 10^{-6} — 10^{-4} cm vastagságig nyúlik be. Bardeen szerint tehát ez a felületi kettős-réteg tölti most be azt a szerepet, amit a régebbi — és a félvezető felületére vákuumban rápárolgatott ellenelektródás egyenirányítókra igaznak bizonyult — elmélet szerint a kontaktus helyén létesülő kettős-réteg töltött be.

Ha ez a feltevés igaz, akkor viszont a felületi rétegben folyó áramot és ezáltal a kettős-réteg sajátosságait külső elektromos terekkel befolyásolni lehetne. Bardeen és Brattain^{8,9}-nek először folyadék segítségével, majd a fém-kontaktus közvetlen közelében elhelyezett másik kontaktus segítségével sikerült

⁶ Meyerhof: Phys. Rev. 71. 724. (1947.)

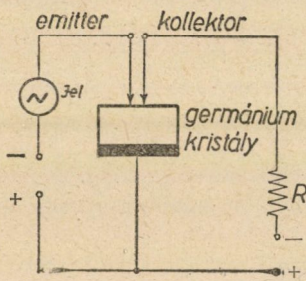
⁷ I. Tamm: Phys. Zschr. der Sowietunion 1, 733. (1932.)

⁸ Bardeen és Brattain: Phys. Rev. 74, 230—231. (1948.)

⁹ Bardeen és Brattain: Phys. Rev. 75, 1208. (1949.)

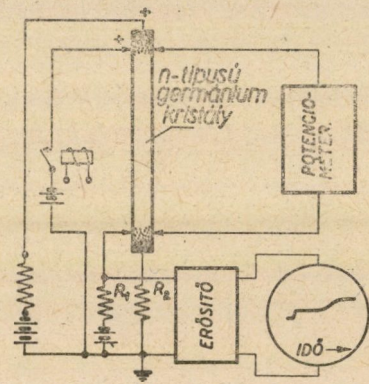
befolyásolni egy *germánium*-kristályon átfolyó áram erősségét. Ez vezetett az ú. n. *tranzisztor* felfedezésére. A tranzisztor lényegét a 6. ábrán láthatjuk.

A túalakú, *emitternek* nevezett elektród olyan feszültséget kap, hogy kb. 1 mA áram folyék az áteresztő irányban. A másik, az emitter közvetlen közelében levő, ugyancsak túalakú elektródra, a *kollektorra* lényegesen nagyobb ellenkező irányú feszültség van kapcsolva, úgy hogy a *kollektoron záróirányban* néhány mA áram folyik. A kollektor áramát vezérli az emitter áramának kis változása, annyira, hogy energiában kb. 100-szoros erősítést sikerült elérni. Első pillanatra úgy látszott, hogy az alapul vett feltevés, tehát, hogy a felületi termék által okozott kettősréteg külső terekkel vezérelhető, igazolva van. További kísérletek azonban azt mutatták, hogy a vezérlés nem a — valóban fellépő — kettősrétegben történik. Kiderült ugyanis, hogy tranzisztor készíthető úgy is, hogy az emitter és a kollektor a germaniumlap két különböző



6. ábra.

Tranzisztor elvi kapcsolása



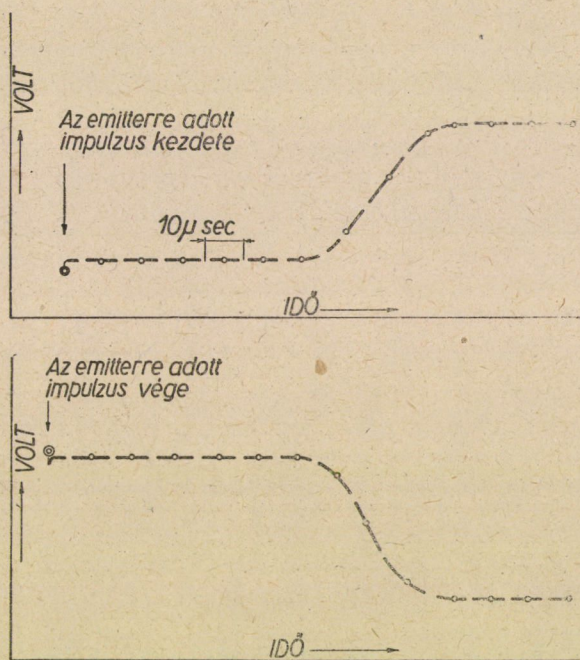
7. ábra.

A jel terjedési sebességének mérésére szolgáló kapcsolás

oldalán foglal helyet. Így tehát a felületi kettősrétegnek valószínűleg csak az a szerepe, hogy a fémelektrodát árnyékolja a kristály belseje felé, tehát az egyenirányítóhatást függetleníti a fémelektroda anyagának minőségétől. A tranzisztorhatást pedig az újabb feltevés szerint az emitterből a germániumba injiciált pozitív lyukak létesítik. Ennek bizonyítására Shokley¹⁰ egy germánium — egykristályon az emitter és kollektor távolságát kb 1 cm-re növelte. (7. ábra.) Mérté oszcillográffal azt az időt, amely eltelik az emitterre adott impulzus kezdete, illetve befejezése és a kollektoron fellépő, az erősítésnek megfelelő áramnövekedés kezdete és befejezése között. (8. ábra.) A feszültségnek az emitterre történő rákapcsolása pillanatában az oszcillográf jelzi az emitter áramának megfelelő kis áramnövekedést, majd azután kb 60 μ sec-mal kezd a kollektoráram

¹⁰ Haynes és Shokley : Phys. Rev. 81, 835. (19.51)

nőni és kb. $120 \mu\text{sec}$ alatt éri el a maximumot. Hasonlóképpen az emitter kikapcsolásakor a kollektoráram kis csökkenést mutat, majd még $60 \mu\text{sec}$ -ig állandó marad és csak akkor kezd visszaesni eredeti értékére. Ez a kísérlet meggyőzően mutatja, hogy a vezérlés a germánium anyagában haladó lyukak hatására történik, hogy ezeknek a lyukaknak a haladási sebessége kb. $2\text{--}3 \text{ V}$ feszültség esetén kb. $1/60 \cdot 10^6 \text{ cm sec}^{-1}$, és hogy az emitterből egyszerre ki-



8. ábra.

A feszültség változása az oszcillográf eltérítő lemezein a 7. ábra szerinti mérésnél

induló lyukak sebessége a germániumon való áthaladásakor szóródást szenved. Ez a kísérlet egyben rámutat a tranzisztorok használhatóságának a korlátjára is. Az impulzus, melyet a kristályban haladó lyukak továbbítanak, véges sebességgel terjed és terjedése közben elmosódik, ez tehát azt jelenti, hogy a tranzisztor csak bizonyos frekvenciák alatt használható. Az adott körülmények között az emitter és kollektor nem közelíthető egymáshoz kb. $10\text{--}20 \mu$ -nál jobban, ez viszont azt is jelenti, hogy a tranzisztor legfeljebb $1\text{--}10 \text{ MC}$ frekvenciákig használható még kielégítően.

Másik érdekes alkalmazása a félvezetőknek a fénylemeknél mutatkozik. Shottky majd Lange¹¹ észlelték 1931-ben, hogy ha egy rézoxidul egyenirányító

¹¹ B. Lange : Phys. Zeitschr. 32. 850. (1931.)

cellát megvilágítanak, úgy a cella feszültséget szolgáltat; ezen feszültség értéke a megvilágítás intenzitásától függ. Később hasonló jelenséget észleltek szelénen is, amelynek homlokfelületét vékony, átlátszó fémréteggel vonták be. Ez a jelenség is magyarázható az előbbiekben ismertetett elmélet segítségével, oly módon, hogy feltételezzük, hogy a zárórétegen az elnyelt fény ad a teli sávban levő elektronoknak akkora energiát, hogy azok a zavarvívoknak megfelelő üres termekbe feljutnak. Ezek a zavartermek a szóbanforgó jelenséget mutató anyagcknál magasabb energiákon vannak, mint a fém kondukciós sávja. Ez a nívókülönbség felel meg a fényelem kapcsain megvilágításkor fellépő elektromotoros erőnek. Ez az elektromotoros erő áramot létesít egyrészt a külső áramkörben, másrészt viszont ezzel párhuzamosan a fényelem belsejében is, vagyis a fényelemen keresztül a külső áramkör zárása nélkül is fog áram folyni. Ezen belső mellékszár által létesített áram feszültségeseést okoz, amelynek megfelelően a külső mérhető feszültség kisebb lesz az elektromotoros erőnél.

Míg az előzőekben tárgyalt fényelemeknél és fotokondukciós celláknál fénysugárzás hatására elektromos változások lépnek fel, a fordított effektust, tehát, hogy egy félvezetőn áthaladó áram fényjelenséget idéz elő, 1928-ban Loszev¹² szovjet fizikus írta le. Szilíciumkarbid kristálynál azt észlelte, hogy az áthaladó áram hatására a kontaktus közelében fényjelenség lép fel. Felvette ezen fény spektrumát, vizsgálta a fényjelenség változásait különböző áramerősségeknél és különböző áramirányoknál. Loszev első publikációjában arra gondolt, hogy ezt a jelenséget a kristályból nagy sebességgel kilépő elektronok okozzák, melyek a környező levegő molekuláit gerjesztik világitásra. Későbbiekben Klaus vizsgálta a jelenséget és arra a konkluzióra jutott, hogy itt a zárórétegen lefékeződő elektronok által keltett, optikai tartományba jutó, fékezési sugárzással van dolgunk. Épp ezért ő és a későbbi szerzők (pl. Finkelnburg) arra a következtetésre jutottak, hogy itt gyakorlatilag használható, jó hatásfokot elérni nem lesz lehetséges.

A jelenség mindenesetre rendkívül érdekesnek látszott és többször foglalkoztatta a kutatókat anélkül, hogy tisztázása véglegesen megtörtént volna. Utoljára tudomásom szerint 1951 áprilisában jelent meg idevonatkozó publikáció. Accardo, Jamgochian és Lehovec¹³ röviden beszámolnak arról, hogy szilíciumkarbid kristály az $n-p$ határon áthaladó áram hatására fényt emittál; az emissziós spektrum kiterjed 4500—6500 Å hullámhosszra. Az emittált fény színképi eloszlása független volt az átfolyó áram erősségétől, ha az áram 0,1—50 mA között változott. Az általuk mért fény intenzitása arányos volt az áramerősséggel és kb. 3×10^{-6} fénykvantumot kaptak minden áthaladó elektronra (szobahőmérsékleten). Szerintük a fény a félvezetőbe injiciált töltéshordozók rekombinációjából ered.

¹² Loszev: Phil. Mag. 1928.

¹³ Accardo, Jamgochian, Lehovec: Phys. Rev. 82. 330. (1951.)

Idevonatkozó méréseket mi magunk is végeztünk. Azt találtuk, hogy 6 V feszültségnél a fényjelenség valóban fellép a túvel érintett kristályon. Ugyancsak észlelhető volt fényjelenség akkor is, ha egy nagyobb egybenőtt kristályhalmazon vezettünk át áramot (220 V hálózatról). Ez utóbbi esetben a halmaz egyes kristályai villantak fel. Tovább folytatva ezeket a kísérleteket, azt találtuk, hogy a fény intenzitása nő a használt szilíciumkarbid tisztaságának fokozásával. Mi magunk készítettünk szilíciumkarbid kristályokat, olymódon, hogy spektroszkópiai célokra szolgáló ú. n. »homogén tisztított« szénrudat izzítottunk fel rajta átvezetett áram segítségével. A rúd, szén és kovasav keverékebe volt beágyazva. A szenet cukor elszenesítése útján kaptuk, a kovasav pedig az üzemünkben használt Merck-féle purissimum készítményből tisztított preparátum volt.

A szénrudat kb. 2000 C° hőmérsékleten tartottuk 5—10 percig. Utána felbontva a készüléket, a szénrudat körülvevő max. 0,1—0,5 mm méretű, sárga-színű szilíciumkarbid kristályokat kaptunk. Ezeket a kristályokat vizsgáltuk mikroszkóp alatt. Azt találtuk, hogy a fémkontaktussal megérintett mikroszkópikus szemcsék kb. 6—8 V feszültség és 0,1 mA áram hatására teljes egészükben világítottak.

Kétféle szemcsét észleltünk, az egyik fajta kékes, a másik sárgás színű fényt adott. A fény színe nem változott a feszültség változásával, tehát ellenében Klaus és Finkelburg¹⁴ feltevéseivel, a sugárzás nem lehet optikai fékezési sugárzás. A spektrum hasonló volt az irodalomban közölt bórnitrid spektrumokhoz, amelyeket szénnel aktivált bórnitridnek katódsugárral való bombázásakor kaptak. A szilíciumkarbid szemcséket vákuumban katódsugarak hatásának téve ki, a kontaktus alatt észlelt lumineszkálással azonos fényt kaptunk. 2537 Å vagy ennél nagyobb hullámhosszú ibolyántúli fény hatására nem észleltünk világítást.

Egy további kísérlet során megpróbáltunk a kiindulási anyagokhoz mangánt adagolni ($MnCO_3$ formájában) annak eldöntésére, vajjon ezen anyagnál is gerjeszthető-e a mangánra jellemző spektrumok egyike, mint az különféle szilikátoroknál, borátoknál, foszfátoknál vagy egyes szulfidoknál tapasztalható. Ez a kísérlet negatív eredménnyel járt, esetleg azért, mert a mangán az izzítás folyamán elpárolgott, de valószínűbb, hogy azért, mert a szilíciumkarbid-rácsba nem volt beépíthető.

Fenti jelenségek ismeretében arra a következtetésre jutottunk, hogy a szilíciumkarbid kristályokban jelenlévő fölös szénnel, vagy esetleg szilíciummal aktivált fluoreszkálásról van szó. Feltevésünk szerint a lumineszkálást a zárórétegen felgyorsuló töltéshordozók gerjesztik, amelyek energiájukat a kristályrácsnak adják át és ez továbbítja — éppúgy mint a többi ismert kristályfoszfornál — az aktivátorcentrumig. Ha ez a feltevés igaz, úgy a világítás határfokát javítani lehet a kristály megfelelő tisztaságának biztosításával. Valóban észleleteink azt mutatják, hogy a fény intenzitása, azonos bevezetett elektromos

teljesítményre visszazámítva, erősen nőtt a kiindulási anyagok tisztaságának fokozásával, viszont az egyes kristályok elektromos vezetőképessége erősen csökkent.

Ezek felismerése után kezdtük meg laboratóriummunkban alaposabban tanulmányozni a különféle lumineszkáló anyagok elektromos tulajdonságait és kezdtük keresni az összefüggéseket az anyagok optikai és elektromos adatai között. Ezen vizsgálatok eredményeiről már több alkalommal beszámoltunk.^{15, 16, 17, 18, 19}

Itt röviden csak annyit kívánok megemlíteni, hogy különféle lumineszkáló anyagok megvilágítás nélkül mért dielektromos veszteségeiből számított vezetőképességeinek temperatúrafüggését vizsgálva, arra az eredményre jutottunk, hogy a veszteségek két komponensre oszthatók. Az egyik, mely a temperaturától függetlennek bizonyult, a világítóképeséssel volt arányos, míg a másik — jól világító anyagoknál csak magasabb hőmérsékleten fellépő — komponens a temperatúrával exponenciálisan nőtt:

$$\sigma = \sigma_0 + \sigma_T = \sigma_0 + A \exp(-E/kT) \quad (1)$$

Ugyanakkor az emittált fotonok száma (N), azonos ultraibolya besugárzást feltételezve, a következőképpen csökkent:

$$N = N_0 \frac{1}{1 - C \exp(-E/kT)} \quad (2)$$

Rendkívül érdekesnek találtuk, hogy az (1) és (2) kifejezésekben szereplő E exponens értéke azonos, csak az anyagtól függő állandó.

Ha összevetjük a szilíciumkarbid kristályok vezetőképességét a cink-szilikát, vagy más jó hatásfokú fluoreszkáló anyag dielektromos veszteségeiből számolt vezetőképességével, úgy azt találjuk, hogy a szilíciumkarbid vezetőképessége — ha a záróréteg ellenállását leszámítjuk — legalább egy-két nagyságrenddel nagyobb, mint a jól világító anyagoké. Feltételezzük, hogy a vezetőképességet a szilíciumkarbidnál olyan zavartermek közvetítik, melyek egyben — mint a szilikátoknál a σ_T -nek megfelelő termek — a világítóképeséget lerontják. Véleményünk szerint ebben a körülményben rejlik az eddig vizsgált szilíciumkarbid kristályok rossz világítóképeségének oka és egyben ez meg is mutatja a további idevágó kutatás irányát.

¹⁴ W. Finkelburg: *Kontinuierliche Spektren*. J. Springer, 1938. 91. o.

¹⁵ Szigeti Gy.: *Elektrotechnika*. (1947.)

¹⁶ Szigeti Gy., Nagy E.: *Nature* 160. 641. (1947.)

¹⁷ Szigeti Gy., Nagy E.: *Műegyetemi Közlemények* 1, 117. (1940.)

¹⁸ Nagy E.: *Journ. Opt. Soc. Am.* 39.42. (1949.)

¹⁹ Szigeti Gy.: *Magy. Tud. Akadémia Matematikai és Természettudományi Oszt. Közl.* 1, 20. (1951.)

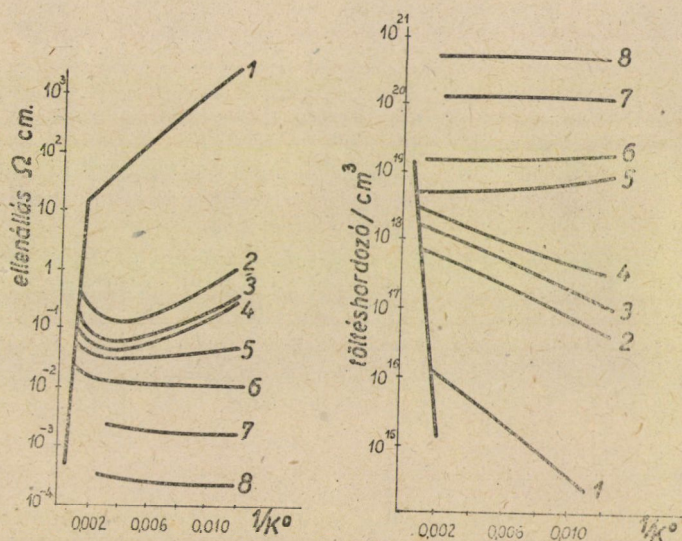
HOZZÁSZÓLÁSOK

BODÓ ZALÁN

Néhány szóval rá szeretnék mutatni arra, hogy milyen jelenségeket lehet a félvezetők sávméleteivel megmagyarázni és melyek ezen elmélet főbb hiányosságai.

A félvezetők elmélete legjobban az elektromos vezetőképességnek a hőmérséklettől való függéséről tud beszámolni. A félvezetőknél talán az ez egyetlen terület, ahol az elmélet a felvetett kérdésekre maradéktalanul válaszolni képes.

Hogy az egyezés elmélet és kísérleti adatok között milyen jó, nézzük példaképpen Pearson-nak és Bardeen-nek *p*-típusú (bórral szennyezett) szili-



1. ábra

ciumon végzett méréseit. Az 1. ábrán láthatjuk a vezetőképességnek a hőmérséklettől való függését különböző bórtartalomnál. A vezetés két tényezőtől függ. A szabad elektronok számától és az elektronok mozgékonyaságától. Az elektromos vezetőképesség:

$$\sigma = nve$$

itt n a szabad elektronok száma, v az elektronok mozgékonyasága, e az elektron töltése.

Hall-effektus mérést is végeztek és így a vezetőképesség és a Hall-konstans értékéből n -t és v -t külön-külön ki kell lehetett számítani.

Az elmélet szerint a szabad elektronok száma:

$$n = A \cdot e^{-\frac{E}{kT}}$$

kell legyen, ahol A a jelenlevő bóratomok száma/cm³, E a szennyezések aktiválási energiája. Az ábra szerint kis szennyezéstartalomnál és alacsony hőmérsékletekben e törvény pontosan tapasztalható: a $\ln n$ -ek $1/T$ -ben párhuzamos egyenesek, melyeknek emelkedése E/k . A magasabb hőmérsékleteken jelentkező meredekebb szakasz annak felel meg, mikor már »intrinsic« vezetési lép fel, vagyis amikor a hőmozgás az elektronokat nemcsak a szennyezésekből, hanem az alsó teli sávból is ki tudja már emelni. Nagyobb szennyezés-koncentrációnál az elmélet előbbi egyszerű formájában nem tartható fenn, ezért ott kb. vízszintes szakaszokat láthatunk.

Érdekes a másik tényezőnek, a mozgékonyaságnak a viselkedése is.

$$v = \frac{1}{2} \frac{e l}{m u}$$

itt l a szabad úthossz, u a termikus sebesség, m az elektron tömege. Az elméleti megfontolások szerint l ugyanúgy, mint fémeknél $1/T$ -vel arányos (igen alacsony hőmérsékletek kivételével). Míg azonban fémeknél v is $1/T$ -vel arányos, félvezetőkénél $T^{-3/2}$ -nel arányos. Ennek oka az, hogy u a félvezetőkénél $T^{1/2}$ -nel változik, míg fémeknél állandó. Valóban erről az elmélet be is tud számolni. Fémekben a Fermi-Dirac statisztika érvényes, mely szerint a termikus sebesség a hőmérséklettől függetlenül állandó. Félvezetőkben azonban a szabad elektronok száma kicsi. A Fermi statisztika azért Maxwell-Boltzmann statisztikával helyettesítendő és statisztika szerint a középsebesség valóban $T^{1/2}$ -nel arányos. Igen alacsony hőmérsékleteken v és l komplikáltan változik. Ezt az elektronoknak és a szennyezéseknek a kölcsönhatásával lehet magyarázni. A bórkoncentráció emelésével a zavaró hatás mind magasabb és magasabb hőmérsékleten is már jelentkezni tud.

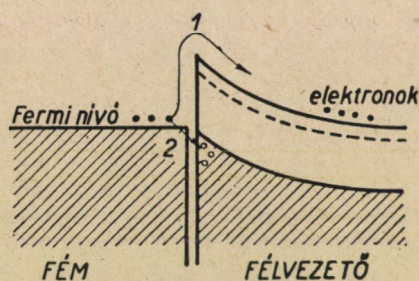
Itt az egyezés tehát elmélet és kísérlet között tökéletesnek mondható. Talán még annyit kell hozzátennem, hogy az intrinsic vezetéknek megfelelő aktiválási energia 1,1 eV. A $h\nu = 1,1$ eV egyenletből azt kapjuk, hogy a szilícium az 1,1 μ hullámhossznál nagyobb hullámhosszú sugárzást át kell, hogy engedje, az ennél kisebb hullámhosszú sugarakat pedig el kell nyelje. Ez pontosan megfelel a tapasztalati tényeknek.

A sávmélet az egyenirányítás jelenségét is magyarázni tudja, de itt már nehézségek is merülnek fel.

Az egyenirányításra az idők folyamán három különböző elmélet alakult ki. A legrégebbi, a Wilson-féle, az egyenirányítást alagút-effektussal akarta magyarázni, de a tapasztalattal ellenkezésbe jutott, mert az egyenirányítóhatás a Wilson-elmélet szerint éppen ellenkező irányúnak adódik.

Jelenleg feltételezik, hogy az egyenirányítás létrejöttét a felületi potenciálhegy, az ú. n. záróréteg vastagsága szabja meg. Ez a vastagság szilícium vagy germániumnál 10^{-6} cm nagyságrendben van, míg rézoxidnál és szelénél 10^{-4} cm nagyságrendbe esik. Ennek oka abban van, hogy az utóbbi anyagok felületi rétege kémiaailag nem homogén, míg az előző anyagoknál csak fizikai jellegű e záróréteg. Az alagút-effektus hatása csak kb. 10^{-7} cm nagyságrendig jelentkezik érezhetően. Ezért volt hibás Wilson elmélete. Mivel az elektronok szabad úthossza 10^{-5} cm nagyságrendben van, az előbbi kétfajta zárórétegre nem alkalmazható ugyanaz az elmélet. Rézoxid és szelén esetében az elektronok sebessége a zárórétegben sokszor változik az ütközések folyamán, az elektronok a zárórétegen diffúzióval jutnak keresztül. Szilícium és germánium esetén a zárórétegbe ütköző elektronok száma lényegesen nagyobb, mint a zárórétegben a rácsionok és a szennyezések által szórt elektronok száma. Ezért, míg az előbbi anyagokra a Schottky és Mott által felállított, ú. n. diffúziós elmélet alkalmazható, az utóbbiakra Béthe az ú. n. dióda-elméletet állította fel.

Nem akarok ezen elméletekre részletesen kitérni, csak azt említem meg, hogy ezek az egyenirányítást helyes irányban adják és a jelenségről helyes



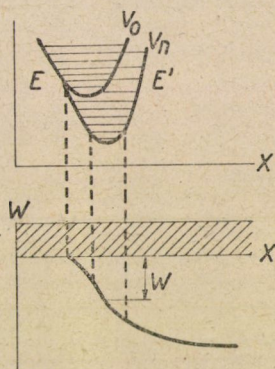
2. ábra

kvalitatív leírást nyújtanak. Kvantitatív egyezéstről azonban szó sincs. Az elméletnek újabb módosítása, tökéletesítése vált szükségessé. (Pl. szilícium és germánium esetén a multikontaktus elmélet csak elvileg tudja magyarázni a tapasztalt áram-feszültség karakterisztikát, azonban gyakorlati számításra nem alkalmas.)

Kétségtelen azonban, hogy még a kvalitatív kép sem tökéletes. Ezt mi sem igazolja jobban, mint az, hogy a szilícium és germánium egyenirányítókra az előbb említett elmélet már régen fennáll akkor, amikor Bardeen és Brattain a tranzisztort véletlenül fedezik fel. Előre ezt az elmélet nem jósolta meg. Jelenleg a jelenséget a következőképpen magyarázzák. Az 2. ábra szerint a félvezető felületén a kontaktusnál az alsó teli sáv annyira felemelkedik, hogy nyitási irányban folyó áram esetén abban már lyukak is létrejöhetnek. E lyukak átdiffundálnak a másik kontaktushoz. Ilyenkor a másik kontaktusnál az áramnak záróirányban folyó áramlásánál az elektronoknak nem kell az 1-es úton a potenciálhegyet megmászniuk, hanem a 2-es úton a lyukakba beleugorhatnak. Ezért nő meg a záróirányban az áram.

E magyarázat tetszetős, de még mindig csak kvalitatív. Miként az előbbi előadásban hallottuk, az egyenirányítóhatásnak függenie kellene az érintkező fém kontaktpotenciáljától, de ezt nem tapasztalták.

említeni Adirovics újabb cikkeit a sugárzásnélküli átmenetekre vonatkozólag. Elgondolása az, hogy ahol a kristályrácából pl. egy negatív ion hiányzik, a legközelebbi pozitív és negatív ionokat gömbalakú kettős réteggel helyettesíti. Feltételezése szerint e réteg az egyensúlyi helyzete körül oszcillál úgy, hogy a gömb sugara (x) állandóan változik. Felírja ezen oszcilláló kettős réteggel és az elektronnak az együttes Schrödinger egyenletét. Számításainak eredményei a 3. ábrán láthatók. A lényege az, hogy egy bizonyos sugártól kezdve az elektronnak helyhez kötött állapota válik lehetségessé. Az elektronnak a kettős réteggel való megfogása olyan átmenetnek felel meg, amelynél a kettős réteg igen magas kvantumszámú rezgési állapotba kerül. ($E-E'$ szabad elektronnál alacsony kvantumszámú rezgésnek, kötött elektronnál magas kvantumszámú rezgésnek felel meg.) Röviden szólva, a kettős réteg rezgési energiája igen magas hőmérsékletnek felel meg. Ezt a helyi túlemeledést azután az



V_0 energia szabad elektronnál.
 V_n energia megfogott elektronnál.
 W az elektron energia változása.

3. ábra

alaprácscsal való kölcsönhatás a rácsrezgések közönséges energiájává alakítja, a meleg szét diffundál. A lényeg tehát az, hogy az elektron energiájától nagy energiakvantummal szabadulhat meg, nem az elektron, hanem a rezgő kettős réteg aprózza fel az energiát. E képpel tehát magyarázni lehet a sugárzásnélküli átmeneteket, sőt valószínűleg meg lehet magyarázni a lumineszkálás hőmérséklettel való csökkenését is, mert eszerint a sugárzásnélküli átmeneteket nyújtó hibahelyek száma a hőmérséklettel emelkedik. Ez a kép még új. A jövőbeni számítások fogják eldönteni, hogy mennyire megfelelő.

Összefoglalva, a félvezetők elméletében a felületi viszonyok, a fényabszorpciós processzusok és a sugárzásnélküli átmenet kérdéseiben még igen komoly hiányosságok vannak. Szerintem ezek jelentik azt az irányt, amely felé

mind a gyakorlati, mind az elméleti kutatásnak haladnia kell. Ezeken a területeken kell új eredményeket elérnünk és akkor remélhetjük, hogy a sokkal bonyolultabb lumineszkálási folyamatok teljes megértéséhez is sokkal közelebb jutunk.

HOFFMANN TIBOR

Az előadás keretében és az előző hozzászólásban is láttuk a felületi jelenségeknek az egyenirányító effektusra való hatását. Ezt szeretném itt még jobban kihangsúlyozni.

A felületi jelenségek fontosak az egykristályos egyenirányítóknál is. Az itt fellépő jelenségeket ismertette az előadó. Ezek a jelenségek azonban még fontosabbak, döntőek az általában gyakorlatban használt többkristály-rendszereknél. Itt igen lényeges hatása van a felület kiképzésének a jelenség lefolyására. Az ilyen struktúrától függő kiképzés adja meg a különböző „előkezelések” hatását pl. a szelén egyenirányítóknál. Ma a helyzet az, hogy a különböző előkezelések hatását nemhogy előre nem tudjuk megmondani, de néha utólag, az eredmény ismeretében sem lehetett azokat egyszerűen megmagyarázni. Az elmélet ilyen irányú kiterjesztése tehát igen fontos lenne. Hogy példát mondjak, hogy milyen lehetőségek nyílnak itt, felemlítem, mint az előadásban is hallottuk, a felületi és tügegyenirányítók közti különbséget. A felületi egyenirányítók működése függ az elektródafém tulajdonságaitól, a tügegyenirányítóké nem. Ha most az elektródafém és a szelén érintkezési felületét olyan előkezelésnek vetjük alá, melynek a hatására a kontakus helyenként fellazul, olyan lesz a hatás, mintha sok tügegyenirányító lenne párhuzamosan kapcsolva. Hasonló problémák egész sokasága lép fel a félvezetők minden felhasználási területén is.

Ezen a téren igen komoly kooperáció szükséges a fizikusok, technikusok, kémikusok, a gyakorlati és az elméleti kutatók között a jelenségek tisztázására és azoknak a technikai alkalmazására.

SOMOS ISTVÁN

A félvezető egyik legfontosabb felhasználási területe a szárazegyenirányító. A belföldi szárazegyenirányító-gyártás az utóbbi években — a legutolsó időktől eltekintve — főleg empirikus alapon történt, ami viszonylag lassú előrehaladáshoz vezetett. A szárazegyenirányító fajlagos teljesítményének emelésénél döntő eredményekhez a félvezetőben lejátszódó folyamatok megismerése által fogunk eljutni. Szigeti elvtárs előadása közelebb vitt bennünket a célhoz.

Hozzászólásomban a szelénegyenirányítónál felhasznált szelénnek egyes tulajdonságairól szeretnék szólni.

A szelén — mint ismeretes — az üvegszerű amorf modifikációjában igen jól szigetel. Hőkezelés által hexagonális szürke kristályszerkezetet vesz fel. Vezetőképessége ebben a formában annál nagyobb, minél jobban megközelítettük a hőkezelésnél az olvadáspontot. A szelén zárórteggel nélkül egyszerű ohmos ellenállásként viselkedik.

Vezetőképessége nem az anyagának saját tulajdonsága, hanem — az előadás tanulsága szerint — a kristályrendszer zavarhelyei által jön létre. A vezetőképesség a legkisebb nyomokban fellépő idegen anyag hozzáadásánál nagyságrendekkel emelkedik.

A szennyezés hatásának tanulmányozásánál hengeres rudacskákon mérik a vezetőképességet. A kapott eredmények nagy szórást mutatnak.

A tiszta szelén vezetőképessége 210°C hőkezelés után a különböző gyártmányok szerint 10^{-5} és $10^{-3}\text{ ohm}^{-1}\text{ cm}^{-1}$ között van. A maximális vezetőképesség elérése tiszta szelénél 1–10 óra, szennyezett szelénél kb. $1/2$ – $1 1/2$ óra hőkezelési időtartam után következik be. Ezután, ha a hőkezelést nem szakítjuk meg, a vezetőképesség már csökkenhet. Általában minél nagyobb a maximális vezetőképesség, illetve minél nagyobb a szennyezés, annál gyorsabban érjük el a maximális vezetőképességet.

Ha a szelént szelénchlorürrel (Se_2Cl_2) szennyezzük 10^{-5} – 10^{-4} chlor-tartalom mellett, jól megismételhető idődiagrammokat vehetünk fel, amelyek a vezetőképesség változását mutatják a hőkezelés előrehaladásával. A maximális vezetőképesség a chlortartalom emelésével növekszik, a kísérletek szerint ez a növekedés exponenciális, úgy hogy logaritmikusan beosztott tengelyekkel a vezetőképesség növekedése egyenes vonallal ábrázolható. Az egyenirányító-nál felhasznált szelén kb. $10^{-2}\text{ ohm}^{-1}\text{ cm}^{-1}$ vezetőképességű.

A szelénbe jutó fémes szennyeződés a halogén szennyezéssel ellentétes hatást felt ki, erősen csökkenti a vezetőképességet és a maximum eléréséhez szükséges időt elnyújtja. Ez a jelenség még nem teljesen tisztázott.

A félvezető zavarhelyeinek viszonyaira befolyással van a fedőfém öszszetétele. A kísérletek során a fedőfém thallium tartalmával igyekeztünk a félvezető zavarhelyeinek eloszlására befolyást gyakorolni. A thallium a zavarhelyek sűrűségének csökkentését idézi elő a határréteg mentén, ami együttjár és határréteg kiszélesedésével. Ennek eredményeként mind a záróirányú, mind a pályaelenállás és a nullaellenállás is emelkedik. A thallium magas hőmérsékletnél diffundál a szelénbe és már 10^{-3} thalliumtartalomnál csökken a szelén vezetőképessége. A formálási folyamatnál, amelynél az egyenirányítólapot magas hőmérsékleten záróirányú villamos terhelésnek vetjük alá, a thallium behatása következtében az egyenirányítólap pályaelenállása az eredeti érték 2–5-szörösére emelkedik. Ezt mérhetjük, ha a lapot a gyártás különböző periódusában ellenállásmérésnek vetjük alá, de a zavarhely sűrűségeloszlási görbéjének ismeretében ki is számíthatjuk.

Kísérleteket végeztek úgynevezett zárt temperálással, amelynél az egyenirányítólap temperálás alatt már el volt látva fedőfémrel. Az irodalmi adatok szerint, a thallium befolyása itt is előidézte a zavarhelycsökkenést és a záróirányú ellenállás emelkedését, de a pályaelenállás nagyfokú növekedése nem lépett fel. Ennek oka egyelőre nem tisztázott.

A határréteg zavarhelyeinek eloszlására a kapacitásmérések vetnek vilá-gosságot. A kapacitás mérése mérőhíddal, vagy még jobban oszcillográffal hurokmódszer szerint történhetik, amelynél a kapacitás következtében a feszültség és áram között fellépő fáziseltolódás hurok formájában látható az oszcillográf ernyőjén. A Schottky-elmélet értelmében a kapacitásmérésekkel megállapíthatjuk a zavarhelyek sűrűségének eloszlását, a határréteg szélességét és ennek kiterjedését nagyobb feszültség rákapcsolásánál.

A határréteg kiterjedése $0,1$ – 1μ . A kb. 50μ szélességű félvezető mentén a zavarhelyeloszlást kapacitásméréssel nem tudjuk megállapítani, de a pályaelenállás ismeretében ez kiszámítható. Így a teljes félvezetőrétegről keresztmetszetet nyerünk.

A thalliumatomoknak illetőleg thalliumionoknak a félvezetőbe való bevándorlása zavarhelyek csökkenését hozza magával. Elképzelhető a negatív

töltésű zavarhelyeknek az ellentétes irányba való vándorlása, diffúzió által, illetve a határrétegnél létesülő térerő hatására. Így ezek a thalliummal vegyülnek. Ezek a folyamatok a határzónán játszódnak le, mert ott lép fel — elsősorban a formálásnál — a nagyobb térerő. Minél nagyobb térerőt érhetünk el, annál mélyebbre terjed a zavarhelycsökkenés.

A thallium belépése úgy csökkentheti a vezetőképességet, hogy közvetlenül leköti a zavarhelyeket, amelyek a vezetőképességet exponenciálisan növelik, másrészt csökkentheti tértöltés által, amennyiben a thalliumatomok olyan természetű zavarhelyeket jelentenek, amelyek a defektelektronokat megkötik, s ezáltal a vezető defektelektronok száma csökken.

A thallium befolyásának ezen magyarázatát alátámasztja az, hogy a szelén halogéntartalma lényegesen nagyobb, mint a zavarhelysűrűségből — ez kb. 10^{-16} cm⁻³ — visszazámítható érték. A halogénnek csak egy töredéke hatásos és ez a jelenlévő thallium megfelelő koncentrációjának tulajdonítható.

BOROS JÁNOS

A Műszaki Egyetem Kísérleti Fizikai Intézetében is folynak félvezető-vizsgálatok és így az Intézetnek is számos tapasztalata van. A félvezetőkről alkotott képünk kísérleti vonalon tekintélyes részben Gudden érdeme s az elméleti vonatkozásban Wilson tett fontos lépéseket. A Wilson-féle elméletben nagy szerepet játszanak a zavaró termek. Eddigél azonban alig van félvezető, amelynél ezeket teljesen ismernénk, mert meghatározásuk nehéz. Szigetinek és munkatársainak sikerült optikai és elektromos úton ezen a téren nagy előrehaladást tenni.

Három évvel ezelőtt elkészítettem a *NaCl* zavaró terméinek sémáját, s ennek alapján sikerült is kimutatnom, hogy a *NaCl* nem ionos, hanem elektronos vezető. Intézeti eredményeink arra is mutatnak, hogy a Wilson-féle elmélet nem vesz számba bizonyos tényezőket, amelyek megítélésem szerint jóformán valamennyi problémánál, amelyeket Szigeti érintett, szerepet játszanak. Nevezetesen az elektronok gerjesztése zavaró termről a kondukciós sávba, vagy az üres termre a valencia-sávból nemcsak termikusan vagy optikai úton történhetik, hanem például a félvezető anyagával ütköző korpuszkulák útján is. Ennek igazolására említtem meg pl. a kristály-számlálót.

Az egyenirányítás elméletére vonatkozó vizsgálataink azt eredményezték, hogy a záró és nyitó irányban lejátszódó folyamatoknál más-másnívók vesznek részt. Ismeretes az a jelenség is, hogy az egyenirányítóknál nem áll fenn az Ohm-törvény. Ezek fontos tapasztalatok, amelyek minden bizonnyal érdemes adatokat szolgáltatnak majd a problémák megoldásához. A tranzisztoroknál hasonlóképpen szerepet játszhatnak elgondolásaink, mivel itt is inhomogén, terek szerepelnek. Úgy vélem, hogy még a kristály-világításnál is alkalmazhatók lesznek, valamint a kristály-számlálónál is.

Valamennyi félvezetőnél fontos tehát ismerni a szerepet játszó zavaró nívókat, tudni kell azt, hogyan lehet zavaró centrumokat előállítani, stabilizálni, vagy megszüntetni.

Ha ezek az elvileg fontos kérdések tisztázódtak, akkor a félvezető-kutatás nem fog a sötétben tapogatózni, hanem céltudatosan keresi a megoldást.

Az előadás alapján fel tudjuk mérni, milyen fontosak ezek a kutatások iparunk fejlődése szempontjából és meg vagyunk győződve, hogy etéren még számos értékes eredmény fog születni.

VALKÓ IVÁN PÉTER

Tíz évvel ezelőtt a félvezetők szerepe a híradástechnikában még jelentéktelen volt, ma azonban egészen más a helyzet. A fejlődés követelményei és a szilárd testek elméletének új eredményei nyomán született meg a kristálydióda, legújabbán pedig a tranzisztor sokféle típusa. Félvezetőt vannak be sok olyan funkcióra, amit eddig az áramkörben az elektroncső látott el. Ilyen funkció az erősítés, keverés, oszcillálás és egyenirányítás. Nem csoda, hogy már olyan véleményt is hallani, amely szerint az elektroncső kora lejárt, jön a tranzisztor korszaka. A mai előadás alapján azonban nem nehéz dolog reális szemmel összevetni az elektroncső és félvezető lényegesebb tulajdonságait.

Az egyenirányító dióda működését korlátozza az elektronok repülési ideje katódtól anódig. Ennek sokkal rövidebbnek kell lennie, mint a nagy frekvenciás rezgés egyetlen periódusa. A mai technikában az elektródák távolságát nem lehet lényegesen közelebbre méretezni, mint 10^{-3} cm. A kristály egyenirányítóknál viszont az elektródák szerepét játszó két elemet csak a záró réteg választja el; ennek vastagsága pedig legalább két nagyságrenddel kisebb. Ezekből az adatokból következik, hogy a dióda kb. 1000 MC.-ig használható, a kristályegyenirányító pedig 1000 MC fölött egészen a mm — hullámok tartományáig. Vonatkozik ez az ultranagyfrekvenciás keverésre is. A hosszú repülési idő hatása itt abban jelentkezik, hogy megnő a dióda keverési vesztesége és ezzel együtt zajtényezője is. A diódának megvan azonban az az előnye, hogy túlméretezett nagyfrekvenciás energia nem égeti ki olyan könnyen, mint a kristályt és ezért 1000 MC alatt — ahol elektromos tulajdonságai sem rosszabbak — szívesebben használják fel.

Éppen ellenkező a helyzet a kristályerősítőknél. Amint az előadásban hallottuk, az emitter által kibocsájtott »lyukak« lassan haladnak a kristályban, útjuk is hosszabb, mert a két fémelektrodát nem lehet egymáshoz közvetlenül közel helyezni. Ebből ered a vezérlés tehetetlensége. A jövő fejlődés ebben a tekintetben nyilván még hozhat javulást, sőt már is javult a helyzet a legújabbán feltalált kristálytetródáknál. Ezekben egy további elektródát alkalmaznak pozitív feszültséggel, amely kb. megfelel a 25 év előtti elektroncsövekben szívesen alkalmazott tértöltésrácsnak és szerepe az, hogy fokozza a »lyukak« mozgékonyágát. Az új kristálytetróda főleg a keverőcső helyén válik be egészen a méteres hullámokig.

Általánosságban mégis mondhatjuk, hogy a tranzisztor természetes adott működése inkább, egészen lassú, a hang- és a közepesen nagy frekvenciák területén van, míg az egészen nagy frekvenciák erősítésénél az elektroncső marad az egyeduralgó.

Áramkör szempontjából azt kell figyelembe venni, hogy a tranzisztornak külön fűtőáramkörre nincs szüksége. Ezzel szemben összes fogyasztása több, mint egy modern telepes elektroncsőé. Hátrányos, hogy vezérlő áramkörre is fogyaszt; kísérletek folynak azonban olyan megoldással is, amelynél a vezérlő elektróda nem érintkezik a kristály felületével, tehát fogyasztása sincs. Gyártási tapasztalat szerint az egyes tranzisztor példányok között igen

nagy a szórás, de normális üzemben minden darab igen hosszú ideig megőrzi tulajdonságait. Ezért van máris komoly jelentősége a tranzistor alkalmazásának postai vonalerősítőkben. Rádiókészülékek egyes fokozataiban is történtek kísérletek a kristályerősítő alkalmazására. Itt azonban begerjedési hajlama okoz nehézséget, aminek oka az, hogy a belső visszacsatolások bonyolultabbak és nehezebben kézbe tarthatók, mint az elektroncsőnél. Oszcillátorként viszont így is jó eredménnyel lehet használni a tranzisztort mély vagy közepes frekvencián.

A jóslás ugyan nem kenyerünk, de beszélhetünk arról, hogy mai ismereteink alapján mi a jövő perspektívája. Ebben a perspektívában a félvezetőket nem az elektroncső versenytársának, hanem kiegészítőjének látjuk. Ahogy a sokoldalúan használható telefon mellett bizonyos célokat a távíró tud ellátni, vagy ahogy az ezerféle formát öltő izzólámpa mellett hatalmas szerepe van a fluoreszcens világítócsőnek is: úgy oszlanak majd meg a feladatok elektroncső és félvezető között. Az elvek és megvalósítási lehetőségek óriási gazdagsága miatt az elektroncső egyedül alkalmas nagy teljesítmények feldolgozására, valamint a nagyfrekvenciás tér és az elektronok kölcsönhatásának közvetlen kihasználására. Ezek a tények, valamint kiforrott tömeggyártási technikája biztosítják uralmát az adás, a kommerciális vételtechnika és az ultranagyfrekvenciás erősítők területén. A kristálydióda feladata marad a mikrolullámú keverés, a tranzistorokra pedig óriási feladat vár a távközlés és távvezérlés minden olyan speciális területén, ahol hosszú élettartalmú és főleg parányi külméretű kompakt felépítés a fő követelmény.

SZIGETI GYÖRGY válasza

A legtöbb hozzászóló az előadásban esetleg röviden vagy egyáltalán nem érintett részeket egészítette ki. *Bodó* hozzászólásából látszik a különbség a nyugati és a szovjet irodalom beállítottsága között. Ha nyugati könyvben vagy folyóiratban olvasunk egy cikket, sokszor nem látjuk tisztán, melyek még a nyitott problémák; ezzel szemben a szovjet irodalomban világosan rámutatnak a még fennálló nehézségekre, amelyeket a nyugati cikkek gyakran elhallgatni igyekeznek. Látható itt is, hogy a félvezető-probléma távol van a megoldástól és azáltal, hogy rámutatnak a hiányosságokra, ösztönző hatást gyakorolnak a további fejlődésre.

Somos a szelénnel kapcsolatban sok érdekes kísérleti adatot közöl. Itt még egy faktort figyelembe kell venni. Nem elegendő tisztán a fizikai jelenségeket szemlélni, hanem a szelén-egyenirányítóknál nagy szerepet játszanak kémiai effektusok is. Nyilvánvaló, hogy ha kémiai reakciók játszódnak le az adalékok és a szelén-réteg között, ez azt jelenti, hogy az alapanyag nívóhoz viszonyítva a zavaró termék helyzete is megváltozik. Valószínű, hogy az egyes jelenségek, amelyeket *Somos* említett, kémiai processzusokra lesznek visszavezethetők. Természetesen kísérletileg kellene ezt alaposan megnézni.

Boros hozzászólásával kapcsolatban nagyon érdekes megjegyezni azt, amit a term-sémákról mondott. A term-sémákat fel lehet rajzolni, de mérésekkel alig sikerült ellenőrizni. A zavarhelyek meghatározása *Boros* szerint is bizonytalan, bár éppen *Boros*nak sikerült meghatározni egyes termék helyét.

Valkó hozzászólása a technikai alkalmazással is kiegészítette az előadást

MÉRTÉKRENDSZEREK*

HENNYEY ZOLTÁN

Előadásom témája a mértékrendszerek kérdése, mely immár több, mint fél évszázada foglalkoztatja a tudományt. A kérdés kétségtelenül másodrendű, hiszen pusztán formai — és talán éppen ezért nem fordítottak rá elég figyelmet, ezért nem jutott még májg sem nyugvópontra. Az elektromosságtan elméletébe behatolni igyekvő tanuló figyelmét még ma is a mértékrendszerek riasztó komplikáltsága tereli el a lényegről, a tartalomról. Tehát, ha tisztán formai kérdés is ez, mégis egyre jelentősebb didaktikai kérdéssé válik; egyre fontosabb lesz az, hogy az állandóan növekvő fizikai tartalmat könnyen áttekinthető, átfogó formába csomagoljuk.

A probléma gyökeres megoldása kétségtelenül az lenne, ha egyetlen mértékrendszer (helyesebben, mint látni fogjuk, egyetlen törvényrendszer) kizárólagos használata mellett döntenénk — ez a megoldás azonban nem lenne egyszerűen jó megoldás is. Egyrészt bántó önkényességet jelentene, másrészt célszerűtlen, sőt keresztülvihetetlen lenne. Csak egy járható út marad a probléma megoldására: a mértékrendszerek utólagos elméleti megalapozásával áttekinthetővé tenni azokat.

Az első felmerülő kérdés az, vajjon az elektromosságtan tanításánál valóban a mértékrendszerek sokfélesége okozza a nehézségeket? E cikk erre a kérdésre nemmel felel. Hiszen például mechanikában nem okoz semmi nehézséget az, hogy ott nemcsak centiméter, gramm, szekundum alapegységeket, illetve az ezekből származtatott egységeket használjuk, hanem például a métert, percet, tonnát, lóerőt stb. is. Itt ugyanis a különböző mértékegységekben felírt mennyiségek — például teljesítmények — egymással algebrailag egyenlőnek tekinthetők:

$$2 \text{ lóerő} = 1,47 \text{ kW} = 1,47 \cdot 10^{10} \text{ erg/sec} \quad \text{s i. t.}$$

A mechanikában tehát különböző mértékegységek használata nem okoz nehézséget: itt mértékrendszerprobléma nincs. Ugyanez az elektromosságtanban nem áll. Nézzük például az elektromos töltést különböző mértékrendszerekben. Legyen az elektromos töltés nagysága elektrosztatikus rendszerben

*1951 december 11-én tartott előadás

Ebben az előadásban a szerző Simonyi Károly és Tarján Rezső előzetes megjegyzéseit felhasználta a terminológia megválasztásában.

$$Q_e = 60 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$$

akkor ugyanez a töltés az elektromágneses rendszerben :

$$Q_m = 2 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^{1/2} \text{ g}^{1/2}$$

E két kifejezés között az egyenlőség nyilván nem írható fel

$$Q_e \neq Q_m$$

Ez az egyenlőség akkor állna fenn, ha a fénysebesség vákuumban egyenlő lenne 1-gyel. Tehát valóban nem mértékrendszeri kérdésről van szó. Az elektromos töltés példájában azt látjuk, hogy az »elektrosztatikus CGS« és az »elektromágneses CGS« rendszerekben az elektromos töltéshez nemcsak egységben különböző, hanem algebrailag egyenlővé nem tehető mennyiségeket rendeltünk. E mennyiségek felépítésükben különböznek, definíciójukat eltérő alakban felírt törvények adják. E tény kiemelésére nem »elektrosztatikus« és »elektromágneses« mértékrendszerekről, hanem »elektromos és mágneses törvényrendszerekről« fogunk beszélni.

Ebből a felismerésből célszerűnek látszanak az alábbi fogalmi megkülönböztetések :

1. fizikai mennyiség — algebrai mennyiség ;
2. mértékegység — jelző.

Fizikai mennyiség alatt értsük az objektív fizikai valóságot ; algebrai mennyiség alatt pedig az erre utaló algebrai kifejezést. Fizikai mennyiség egy bizonyos nagyságú elektromos áram ; algebrai mennyiség az erre utaló 3 A. Ugyanazt a fizikai mennyiséget általában nemcsak egyetlen algebrai mennyiséggel lehet jellemezni, a hozzárendelés tehát nem egyértelmű — ugyanezt az áramot jellemzi a » $0,3 \text{ cm}^{3/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$ « algebrai kifejezés, mely a 3 A-rel nem egyenlő. Ugyanez áll megfordítva is : algebrai mennyiség nem utalhat egyértelműen fizikai mennyiségre. Például a fenti 3 amper nemcsak elektromos áramra utalhat, hanem mágneses feszültségre is — e két fizikai mennyiséget pedig nem tekinthetjük azonosnak.

Azt az önkényesen kiválasztott fizikai mennyiséget, melyet összehasonlítási alapnak használunk : mértékegységnek nevezzük ; az erre utaló algebrai szimbólumot pedig jelzőnek. A mértékegység és jelző közötti kapcsolat ugyanúgy nem egyértelmű, mint a fizikai és algebrai mennyiség között. Éppen a kapcsolatok többértelmősége indokolja a fogalmi szétválasztásokat.

Az a mód, ahogyan fizikai mennyiséghez jellemző algebrai mennyiséget rendelünk, sokféle lehet. E hozzárendelés legegyszerűbb módja az, hogy a fizikai mennyiség nagyságát egy tiszta számmal érzékeltetjük — és hozzátesszük, hogy ez a hozzárendelés egyetlen természetes módja. E tiszta számot úgy kapjuk, hogy a kérdéses fizikai mennyiséget egy önkényesen kiválasztott egységgel hasonlítjuk össze, és az összehasonlításból származó tiszta számot rendeljük

a fizikai mennyiséghez. A hozzárendelésnek ez a módja — bár természetes — mégsem célszerű ; így ugyanis a fizikai mennyiséghez az önkényes egységválasztástól függő számot rendelünk : nem tehetők tehát egyenlővé az ugyanahhoz a fizikai mennyiséghez tartozó algebrai kifejezések. Ezt a mérőszámot tehát célszerű kiegészíteni az egységre utaló jelzővel. E jelzővel aztán úgy operálunk, mint a formális algebrainak engedelmesskedő algebrai szimbólummal. Így lehetőségünk nyílik arra, hogy a mérőszámot és a jelzőt algebrai szorzatnak tekintsük és egy fizikai mennyiséghez tartozó így nyert algebrai kifejezéseket — mérőszám-szor jelző — egymással egyenlőknek írjuk fel. Ezek az algebrai összefüggések a különböző egységekre utaló jelzők közötti relációkra vezetnek.

Így minden valóban mértékrendszeri problémát máris elkerültünk, mert azt mondhatjuk : minden fizikai mennyiséghez csupán egyetlen algebrai mennyiség tartozik. Ezt az algebrai mennyiséget aztán többféle formában írhatjuk fel — az egyes formák közötti összefüggésekre a jelző-relációk világitanak rá.

Az elmondottak azonban csak alapmennyiségekre érvényesek feltétel nélkül ; származtatott mennyiségekre csak akkor, ha a kérdéses származtatott mennyiségre csak egyféle definíciós egyenlet vezet.

Alapmennyiségeknek olyan fizikai mennyiségeket nevezünk, melyeket axiomatikusan vezetünk be — például hossz, idő, tömeg — a származtatott mennyiségeket pedig definíciós egyenletekkel már ismert alapmennyiségekre vezetjük vissza : például sebesség, gyorsulás, erő stb.

Mechanikában nemcsak az alapmennyiségekre, hanem a származtatott mennyiségekre is igaz, hogy a fizikai mennyiségekhez egyetlen algebrai mennyiség tartozik. A mechanikában ugyanis a származtatott mennyiségeket csak egyféle definíciós egyenletcsoporttal szokás értelmezni : a mechanikában csak egyféle *törvényrendszer* szokásos. Nem így az elektromosságban. Itt a különböző »mértékrendszerekben« — helyesebben törvényrendszerekben — más a származtatott mennyiségekre vezető definíciós egyenlet, s így a származtatott fizikai mennyiségekhez nemcsak egyetlen algebrai mennyiség tartozik.

A klasszikus CGS-rendszerekben az elektromos töltés származtatott mennyiség, — ezek a rendszerek látszólag a mechanika alapmennyiségeire vezetnek vissza minden elektromágneses mennyiséget. Azt találtuk, hogy az elektromos töltéshez az elektromos rendszerben rendelt algebrai mennyiség — Q_e —, és ugyanehhez a mágneses rendszerben rendelt mennyiség — Q_m — egymással nem egyenlők :

$$Q_e \neq Q_m.$$

Ez az egyenlőség — mint megállapítottuk —, akkor állna fenn, ha a fénysebesség vákuumban — v_0 — egyenlő lenne 1-gyel. Ez a tény egy kézenfekvő beszédmódhoz vezet, mely a törvényrendszerek áttekintését lényegesen megkönnyíti. Azt mondhatjuk ugyanis : ha v_0 »feltételesen egyenlő« 1-gyel,

$$v_0 (=) 1$$

akkor ennek következménye, hogy például

$$Q_e (=) Q_m.$$

A feltételes egyenlőségeket az egyenlőségi jel zárójelbe írásával akarjuk érzékelteni.

Vizsgáljuk meg mindenekelőtt, hogy a feltételes egyenlőségek hogyan vezetnek a relatív és redukált mennyiségekre.

Redukált mennyiségek

Ha a fénysebesség feltételesen egyenlő 1-gyel, azaz : ha a fénysebességre utaló algebrai mennyiség a tiszta 1; akkor természetesen minden sebesség tiszta szám lesz. Minden sebesség megadható ugyanis a fénysebesség többszöröseként :

$$v = v_{rel} \cdot v_0$$

hol v_{rel} a fénysebességre vonatkoztatott relatív sebesség. Ha feltételesen

$$v_0 (=) 1, \text{ akkor}$$

$$v (=) v_{rel},$$

tehát egy kiválasztott mennyiségnek feltételesen az 1-gyel való egyenlővétele maga után vonja azt, hogy a többi mennyiség ebben a kiválasztott egységben mért tiszta számmá változik. A feltételes egyenlőségek visszavezetnek a fizikai mennyiségek tiszta számmal való mérésére; egy kiválasztott fizikai mennyiséget feltételesen eggyé tenni pedig annyit jelent, mint ezt a mennyiséget önkényesen egységnek választani. A relatív mennyiségek keletkezését tehát felfoghatjuk úgy, hogy a mérőszám mellől az egységre utaló jelzőt »elimináltuk«.

Szám példaként adjunk meg egy hosszúságot különböző formába írt »abszolút« mennyiséggel — az abszolút jelző itt arra utal, hogy a fizikai mennyiséghez tartozó egyetlen algebrai mennyiségről van szó — :

$$s = 61 \text{ cm} = 2 \text{ láb}$$

(E reláció nem pontos; de ez most nem is lényeges.)

Ha most egységül az 5 mm-t választjuk, akkor ez az alábbi feltételes egyenletet jelenti :

$$5 \text{ mm} (=) 1$$

E feltételes relációból következik, hogy

$$1 \text{ cm} (=) 2, \text{ illetve}$$

$$1 \text{ láb} = 30,5 \text{ cm} (=) 61$$

Így a fenti s hosszúság relatív értékébe megy át :

$$s (=) 122$$

A relatív mennyiségekre a feltételes egyenleteken keresztül nagyon szemléletesen jutunk : az egységre utaló jelző helyébe a feltételes egyenlőséggel megadott számot kell behelyettesíteni. Így a hosszegységre utaló jelzőt »elimináljuk«.

A hosszegység jelzőjének eliminálása nemcsak a relatív hosszúság bevezetését jelenti : kihat minden olyan származtatott mennyiségre is, melynek felépítésében a hosszúság szerepet játszik. Így jutunk a »redukált« mennyiségekre, melyeknek jelzője nem tűnik el, csak megváltozik. Itt is úgy járunk el, mint fenn : a származtatott mennyiség jelzőjében szereplő hosszjelzőt tiszta számmal helyettesítjük a feltételes egyenlőség szerint.

Példának vegyünk egy felületet :

$$A = 6 \text{ cm}^2$$

és egy sebességet :

$$v = 30 \text{ cm/sec}$$

A hosszjelző eliminálására válasszuk hosszegységnek az 5 mm-t, azaz írjuk fel a

$$\text{cm} (=) 2$$

feltételes egyenletet. A cm helyébe 2-t helyettesítve :

$$A (=) 24, \text{ és}$$

$$v (=) 60 \text{ sec}^{-1}$$

A hosszjelző eliminálása következtében a felület tiszta számmá, tehát szintén relatívvá változik. Ezzel szemben a sebesség nem : ennek jelzője nem tűnik el, csak megváltozik, s így redukált sebességre jutunk.

Azt mondhatjuk tehát, hogy a jelzőelimináció általában redukált mennyiségekre vezet, melyek az eredeti abszolút mennyiséggel feltételesen egyenlők.

Az elektromágneses mennyiségeknél — mint rögtön látni fogjuk — annak tulajdonítható minden komplikáció, hogy ott különböző módon redukált mennyiségeket használunk. Az egyes törvényrendszereket éppen a redukciók módjai jellemzik.

Jelzőrendszerek

Felmerül a kérdés, hogy a fizika egy területén a fizikai mennyiségek mérőszámainak jelzésére hány egymástól független jelzőt kell használnunk. Jelzőrendszernek a fizika egy területén használt jelzők összességét nevezzük ; a jelzőrendszer dimenziója alatt pedig az egymástól független jelzők számát értjük.

A jelzőrendszerek dimenziója az alapmennyiségek számától függ. Alapmennyiségnek az axiomatikusan bevezetett fizikai mennyiségeket neveztük; származtatott mennyiségnek pedig az ezekből felépítetteket. Most még a származtatott mennyiségek felépítésénél két esetet akarunk megkülönböztetni annak figyelembevételével, hogy a mennyiségek közötti összefüggések két csoportba sorolhatók. Az első csoportba tartoznak a definíciós egyenletek, melyek révén — elméleti célszerűség alapján — vezetünk be új mennyiségeket. A második csoportba tartoznak a mennyiségek között fennálló fizikai törvények, melyeket végeredményben empirikusan találunk. E törvények is felhasználhatók származtatott mennyiségek értelmezésére: ebben az esetben »definíciós törvénynek« nevezük őket. Így tehát alapmennyiségekről származtatott mennyiségekre két út vezet: egyrészt definíciós törvények, másrészt definíciós egyenletek.

Ezekután a fizikai mennyiségek következő kétféle felosztására jutunk:

1. alapmennyiségek — származtatott mennyiségek;
2. alapfogalmak — származtatott fogalmak.

Az első felosztásnál — melyet eddig is használtunk — a származtatott mennyiségekre az axiomatikusan felvett alapmennyiségekből a definíciós törvények és definíciós egyenletek vezetnek.

A második felosztásnál az alapfogalmakból a származtatott fogalmakra egyedül a definíciós egyenletek vezetnek. Tehát az alapfogalmak között meg kell találunk az alapmennyiségeket és a származtatott mennyiségek egy részét: azt a részt, melyre definíciós törvényeken keresztül jutottunk.

A fizika egy zárt területén annyi független egységre — és tehát annyi független jelzőre — van szükség, ahány alapmennyiség van. Így ennek a területnek a jelzőrendszere annyi dimenziós, ahány alapmennyiség van. A származtatott mennyiségek nem igényelnek független egységet, és jelzőjük is algebrai úton adódik a megfelelő definíciós egyenlet révén.

Ha a mennyiségek között fennálló fizikai törvényeket nem akarjuk felhasználni mennyiségek értelmezésére, tehát a definíciós törvényekkel való mennyiségsszármaztatást kizárjuk, akkor a fent elmondottakat úgy kell átfogalmaznunk, hogy alap- és származtatott mennyiségek helyett alap- és származtatott fogalmakat mondunk. Így a fizika egy zárt területén annyi független egységre — és tehát annyi független jelzőre — lenne szükség, ahány alapfogalom van. A jelzőrendszer dimenziója is az alapfogalmak számával egyeznék.

Kövessük végig mindezt a mechanikában. Itt négy alapfogalomra van szükség: a hosszúság, idő, tömeg és erő fogalmaira. Ezekből definíciós egyenletekkel származtatott fogalmak: sebesség, gyorsulás, impulzus, forgatónyomaték, energia, teljesítmény, stb. Négy egység megválasztására, és ezek etalonnal való rögzítésére van tehát szükség; ezekre az egységekre utaló jelzők legyenek a következők:

hosszegység	.....1 cm	= 1 centiméter
időegység	.....1 sec	= 1 szekundum
tömeg egység	.....1 g	= 1 gramm
erőegység	.....1 p	= 1 pond

(A pond az az erő, mely 1 gramm tömegre ott hat, ahol a gravitációs gyorsulás 981 cm/sec^2 .)

A származtatott mennyiségek egységeire utaló jelzők algebrailag adódnak, és például a következők lesznek :

sebesség egység	.....1 cm/sec
gyorsulás egység	.....1 cm/sec ²
impulzus egység	.....1 g.cm/sec
nyomatékegység	.....1 p.cm
energiaegység	.....1 p.cm
teljesítményegység	.....1 p.cm/sec, s. i. t.

Érdemes megjegyezni, hogy a nyomatékegység és az energiaegység jelzői megegyeznek, holott fizikailag a két mennyiség nem azonos. Ezért is célszerű volt a fizikai és algebrai mennyiségek fogalmi szétválasztása.

Definíciós törvények felhasználása nélkül tehát a mechanika jelzőrendszere négy-dimenziós lenne.

Egy jelzőrendszer dimenziója két úton csökkenthető. Az első út a fizikai törvényekben szereplő állandók eliminálása — 1-gyel való egyenlővétele —, tehát a törvényadta kapcsolatok mennyiségdefinícióra való felhasználása. Ez tekinthető a természetes útnak, s így adódik a fizika egy területén a jelzőrendszer természetes dimenziója, mely az alammennyiségek számával egyezik. A második út relatív mennyiségek bevezetése, ami fizikai mennyiségek jelzőjének önkényes eliminálását jelenti és így »mesterségesnek« minősíthető.

A mechanikára visszatérve — az alapfogalmak egységeit megválasztottuk a mechanika törvényei által leírt összefüggések figyelembevételével. Így tehát a törvényeket csak általánosságban, megfelelő számú arányossági tényezővel írhatjuk fel. A mechanika minden törvénye Newton törvényéből levezethető; kézenfekvő tehát Newton törvényét alaptörvénynek, a többit pedig származtatott törvénynek tekinteni.

Newton törvényét így fogalmazhatjuk: egy tömegpont gyorsulása, mely valamilyen gyorsító erő hatására jön létre, egyenesen arányos a ható erővel és fordítva a gyorsított tömeggel. Betűkben — a szokásos jelölésekkel:

$$a = c_N \frac{P}{m},$$

hol c_N egy arányossági tényező. Ennek lényegére rávilágít az alábbi formába átirrt törvény :

$$c_N = \frac{a \cdot m}{P},$$

vagy szavakkal : az a , m , P fizikailag összetartozó hármásának fenti kifejezése olyan állandó, mely semilyen fizikai körülménytől nem függ. Nevezzük az ilyen fizikai állandókat »törvényállandónak«, a c_N -et pedig speciálisan Newton-állandónak.

Míg a definíciós egyenletek a mennyiségek között elméletileg előírt összefüggéseket jelentenek, addig a törvények empirikusan megállapított összefüggéseket képviselnek. Így — a mechanika alapfogalmainak egységeit függetlenül választva — a Newton-állandó értéke empirikusan adódik. Egy fizikailag összetartozó hármas például :

$$\begin{aligned} a &= 981 \text{ cm/sec}^2, \\ m &= 1 \text{ gramm}, \\ P &= 1 \text{ pond.} \end{aligned}$$

A Newton-állandó tehát :

$$c_N = 981 \text{ g} \cdot \text{cm/p} \cdot \text{sec}^2$$

Eddig jelzőrendszerünk négy-dimenziós volt. Most a fenti törvényállandó ismeretében természetes út kínálkozik a jelzőrendszer dimenziójának csökkentésére. Kézenfekvő a követelés, hogy a törvényben szereplő állandó legyen a tiszta egy :

$$c_N = 981 \text{ g} \cdot \text{cm/p} \cdot \text{sec}^2 = 1$$

Ezt a relációt nem kell feltételesnek tekintenünk, mert csak ennek az egy $\text{g} \cdot \text{cm/p} \cdot \text{sec}^2$ jelzőjű mennyiségnek van értelme. Törvényállandók 1-gyététele nem vezet relatív mennyiségekre, s így a fenti egyenletet végleges kötésnek tekinthetjük. Ennek az a következménye, hogy az eddig függetlennek tekintett négy-alapjelző közül az egyik kifejezhető a másik három segítségével ; például

$$1 \text{ pond} = 981 \text{ g} \cdot \text{cm/sec}^2,$$

(Ez éppen a grammsúly, mely helyett — amint Bodea ajánlja — célszerű a »pond« elnevezést bevezetni) és így a mechanika jelzőrendszere három-dimenziós lesz, mely a mechanikában természetes jelzőrendszernek tekinthető.

A jelzőrendszer dimenziójának további csökkentésére bevezethetjük például a

$$\text{cm} (=) 2$$

feltételes kötet, és így relatív hosszúságra, illetve redukált mennyiségekre

jutunk, melyek jelzésére már két alapjelző elegendő : például a gramm és szekundum. Így egy két-dimenziós redukált jelzőrendszerre jutunk. A jelzőrendszer dimenziójának ezen az úton való csökkentése korlátlanul lehetséges — egészen addig, míg minden mennyiséget tiszta számmal mérünk ; azaz jelzőre egyáltalán nincs szükség. (»Null-dimenziós« jelzőrendszer.)

Elektromágneses törvényrendszerek

Az elektromágneses mennyiségek között hét alapfogalmat találunk. Elektromágneses alapfogalomnak azt a hetet tekinthetjük, melyek a Maxwell-törvényekben szerepelnek. Két alapfogalom — a hosszúság és idő — egyszerű mechanikai alapfogalom is ; önálló elektromágneses alapfogalom pedig a következő öt (szokásos jelölésükkel együtt) :

mágneses térerő	H
áramsűrűség	i
elektromos eltolás	D
elektromos térerő	E
mágneses indukció	B

A többi elektromágneses mennyiséget már definíciós egyenletek értelmezik, például :

elektromos feszültség	$U = \int E \, dl$
elektromos áram	$I = \int i \, df$
permittivitás*	$\epsilon = D/E$
permeabilitás	$\mu = B/H$

és így tovább.

Válasszunk most képzeletben minden elektromágneses alapfogalom mérésére független egységet és jelzőt. A származtatott mennyiségek egysége és jelzője a definíciós egyenlet révén adódik ; tehát a törvények mennyiség-definícióra való felhasználása nélkül az elektromágneses jelzőrendszer hétdimenziós lenne.

Az elektromágneses törvények közül a Maxwell-törvényeket tekinthetjük alaptörvényeknek, mert — mint Maxwell kimutatta — belőlük az összes többi elektromágneses törvény levezethető. A két Maxwell-törvényben összesen hár om törvényállandót találunk, ugyanis az alapfogalmak egységeinek független megválasztása miatt a Maxwell-törvényeket a következőképp kell írunk :

$$c_1 \operatorname{rot} H = k i + \frac{dD}{dt}$$

* A dielektromos állandó helyett a permittivitás kifejezést fogjuk használni.

$$c_2 \operatorname{rot} E = -\frac{dB}{dt}.$$

(A vektorjeleket eddig is hallgatólag elhagytuk — a továbbiakban is mellőzni fogjuk.)

A három törvényállandó — c_1 , c_2 és k — elhelyezése természetesen önkényes, azt kellett csupán szem előtt tartanunk, hogy mindkét egyenletben csak egy-egy tag szerepelhet arányossági tényező nélkül. A törvényállandók fenti megválasztása a CGS-törvényrendszerek áttekintésénél lesz kedvező.

A fentiekből máris megállapítható az elektromágneses jelzőrendszerek természetes dimenziója: ha mind a három törvényállandót elimináljuk, akkor az alapfogalmak számának megfelelő hétdimenziós jelzőrendszerből négydimenziós lesz.

Abból indultunk ki, hogy az alapfogalmak mérésére független egységeket választottunk — legalább is képzeletben. Így a Maxwell-törvényekben szereplő állandókat már empirikusan kell meghatároznunk, és azokra általános algebrai mennyiségeket kapunk — hasonlóképpen, mint a Newton-állandóra. A valóságban a mennyiségek értelmezése nem történhet egymástól függetlenül és a közöttük fennálló fizikai összefüggések — a törvények — figyelembevétele nélkül. A tényleges út éppen fordított: először a törvényállandók értékét rögzítjük, s az így formailag is határozottá váló törvényeket új mennyiségek értelmezésére használjuk fel. Így a definíciós egyenleteket definíciós törvényekkel egészítjük ki, és az alapfogalmak helyett csak az alapmennyiségeket kell ezután önálló egységgel mérnünk.

A törvényállandók értékének rögzítése rendszerint közvetett úton történik. Ugyanis a legtöbb törvényrendszer nem közvetlenül a Maxwell-állandókat rögzíti, hanem származtatott törvényekben fellépő állandót. A származtatott törvények állandói természetesen adódnak az alaptörvényből való levezetés során. A származtatott elektromágneses törvények állandói tehát a Maxwell-állandókkal fejezhetők ki. Így egy származtatott törvény állandójának rögzítése a Maxwell-állandók között egy kötést jelent.

Aszerint, hogy a törvényállandókat hogyan rögzítjük, változnak formailag — tehát csupán arányossági tényezőben — a mennyiségeket értelmező definíciós törvények. A definíciós törvények állandóinak megválasztása jellemzi a törvényrendszert, mely tehát a mennyiségek felépítését szabja meg.

A gyakorlatban kialakult törvényrendszerekhez a szokás alapján egy-egy mértékrendszer tapad, és így nem merült fel e két fogalom szétválasztásának szükségessége. Pedig az elektromágneses »mértékrendszerek« áttekinthetlensége nagyrészt ennek a keveredésnek tulajdonítható.

A gyakorlatban meghonosodott törvényrendszerek a következők:

1. az elektromos rendszer, melyhez a klasszikus CGS mértékrendszer tapadt s így az »elektrosztatikus CGS-rendszer« nevet kapta;

2. a mágneses rendszer, melyhez már kétféle mértékrendszer használnak : CGS-egységekkel kapcsolva »elektromágneses CGS-rendszernek« nevezik; ha pedig ugyanezeket a mennyiségeket »praktikus« egységekben — volt, amper, cm, sec — adjuk meg, akkor »internacionális rendszer« a neve ;

3. a Gauss-rendszer, melyhez a CGS-egységek kapcsolódtak, ezért »szimmetrikus CGS-rendszernek« is nevezik, és végül

4. a természetes rendszer, melyhez a Giorgi-egységek tapadtak, és így Giorgi-rendszernek nevezik.

Elvileg vala mennyi felsorolt törvényrendszer még kétféle lehet : racionalizált és nem-racionalizált. A gyakorlatban az első hárcm nem-racionalizált formájában terjedt el, csak a negyediknél kell majd beszélnünk e két változatról.

Mielőtt a rendszereket sorravesszük, állítsuk össze azokat a Maxwell-törvényekből levezethető származtatott törvényeket, melyek a fenti törvényrendszerek értelmezésénél szerepet játszanak.

Írjuk fel még egyszer az alaptörvényeket :

$$\begin{aligned} \text{Maxwell—I.} \quad & \dots\dots\dots c_1 \operatorname{rot} H = k i + \frac{dD}{dt} \\ \text{Maxwell—II.} \quad & \dots\dots\dots c_2 \operatorname{rot} E = -\frac{dB}{dt}. \end{aligned}$$

Ezekből az elektromos Coulomb-törvény közvetlenül, a mágneses pedig az energiasűrűség közvetítésével vezethető le :

$$\begin{aligned} \text{el.-Coulomb} \quad & \dots\dots\dots P = \frac{k}{4\pi} \frac{e_1 e_2}{\varepsilon r^2} \\ \text{mágn.-Coulomb} \quad & \dots\dots\dots P = \frac{k c_2}{4\pi c_1} \frac{m_1 m_2}{\mu r^2}. \end{aligned}$$

E törvényekben P az ε permittivitású, illetve a μ permeabilitású közegben ható erő az r távolságban elhelyezett e_1 és e_2 elektromos, illetve m_1 és m_2 mágneses töltések között.

Szerepet játszik még a közvetlenül levezethető

$$v_2 = \frac{c_1 c_2}{\varepsilon \mu}$$

törvény, mely az elektromágneses hullámok terjedési sebességét adja meg egy ε permittivitású és μ permeabilitású közegben.

1. Az elektromos törvényrendszer úgy keletkezik, hogy a vákuumban érvényes elektromos Coulomb-törvényből indulunk ki. E törvény állandóját 1-nek vesszük, s így a harmadik Maxwell-állandóra adódik:

$$k = 4\pi.$$

Egyenlő nagyságú $e_1 = e_2 = e$ töltésekre a vákuumban ható erő ezután:

$$P = \frac{e^2}{\varepsilon_0 \cdot r^2},$$

hol ε_0 a vákuum permittivitása. E relációban két definiálatlan mennyiség szerepel: az elektromos töltés és a vákuum permittivitása. Az egyiket tehát, mint önálló elektromos alapmennyiséget, axiomatikusan kellene felvenni. Látzólag elkerüljük ezt azzal, hogy a vákuum permittivitását 1-nek vesszük:

$$\varepsilon_{e0} = 1.$$

Lényegében azonban a permittivitás fogalmát vezettük ezzel be axiomatikusan, és mindjárt — természetes egységet találva mérésére — jelzőjét elimináltuk. Ennek következménye természetesen az, hogy a permittivitást az elektromos rendszerben relatívvá tettük, és ennek megfelelően a relatív permittivitásra épített mennyiségeket eleve redukáltuk. Az így redukált mennyiségeket jelöljük »e« indexszel annak megfelelően, hogy ezek az elektromos törvényrendszer mennyiségei.

Így az elektromos töltést az elektromos törvényrendszerben a következő reláció értelmezi:

$$e_e = \sqrt{P} \cdot r,$$

és egyben jelzőt rendel hozzá. Az erőt, mely az r távolságban levő egyenlő nagyságú töltésekre hat, és a távolságot még akármilyen egységekben mérhetjük: ettől függően adódik az elektromos töltés jelzője. A permittivátsjelző eliminálása mindenesetre azt eredményezi, hogy az elektromos töltés jelzője *mechanikus jelzőkből építhető fel*.

Az elektromos töltésnek és a permittivitásnak, mint definiált elektromos mennyiségeknek birtokában a definíciós egyenletek rendre a többi elektromos mennyiség értelmezésére vezetnek.

Az elektromos törvényrendszerben a mágneses mennyiségekre a Maxwell-törvényeken keresztül jutunk. Az első Maxwell-törvényt használjuk a mágneses térerő, a másodikat pedig a mágneses indukció értelmezésére. Hogy a Maxwell-törvények definíciós törvénné váljanak, mindenesetre rögzítenünk kell a törvényállandókat. A harmadik Maxwell-állandót, a k -t már 4π -nek választottuk; válasszuk most a másik kettőt 1-nek:

$$c_1 = c_2 = 1.$$

Így a Maxwell-törvények az elektromos törvényrendszerben a következő alakot öltik :

$$\operatorname{rot} H_e = 4\pi i_e + \frac{d}{dt} D_e$$

$$\operatorname{rot} E_e = -\frac{d}{dt} B_e.$$

Ezekkel az egyenletekkel definiáljuk a mágneses térerőt és indukciót : a többi mágneses mennyiség értelmezésére — tehát a permeabilitásra is! — a definíciós egyenletek vezetnek. A permeabilitás definíciójára legvilágosabban a terjedési sebesség törvénye mutat rá. A két Maxwell-állandót, mely az általános terjedési sebesség-formulában szerepel, 1-nek választottuk, tehát :

$$v^2 = \frac{1}{\epsilon_e \mu_e}$$

és így egy közeg permeabilitása kifejezhető, ha ismerjük permittivitását és e közegben az elektromágneses hullámok terjedési sebességét :

$$\mu_e = \frac{1}{v^2 \cdot \epsilon_e}.$$

Így a vákuum permeabilitása az elektromos törvényrendszerben :

$$\mu_{e0} = \frac{1}{v_0^2},$$

hol v_0 az elektromágneses hullámok terjedési sebessége vákuumban.

2. A mágneses törvényrendszer úgy keletkezik, hogy a vákuumban érvényes mágneses Coulomb-törvényből indulunk ki. E törvény állandóját 1-nek vesszük :

$$\frac{k c_2}{4\pi c_1} = 1$$

és most a permeabilitásjelzőt elimináljuk azzal, hogy a vákuum permeabilitását 1-nek vesszük. Így a vákuumban r távolságban levő és egymást P erővel taszító egyenlő m mágneses töltésekre a mágneses rendszerben adódik :

$$m_m = \sqrt{P} \cdot r.$$

Az így definiált mágneses töltés és permeabilitás a definíciós egyenletek révén a többi mágneses mennyiség értelmezésére vezet. Ezután a Maxwell-törvényekben keresztül definiáljuk az elektromos mennyiségeket: az első Maxwell-törvény lesz az elektromos áramsűrűség és elektromos eltolás definíciós törvénye, a második pedig az elektromos térerő. A Maxwell-állandókat ugyanúgy választjuk, mint az elektromos rendszerben. Ha a mágneses Coulomb-törvény állandójának eliminálásából adódó kötést még kiegészítjük a

$$c_1 = c_2 = 1$$

kötéssel, akkor a Maxwell-törvények alakja ugyanaz lesz, mint az elektromos rendszerben:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} H_m &= 4\pi i_m + \frac{d}{dt} D_m \\ \operatorname{rot} E_m &= -\frac{d}{dt} B_m. \end{aligned}$$

Itt a mágneses törvényrendszer mennyiségeit, melyek a permeabilitásjelző eliminálásával nyert redukált mennyiségek, m indexszel jelöltük.

A Maxwell-törvényekkel definiált áramsűrűség, elektromos eltolás és elektromos térerő birtokában a többi elektromos mennyiségre a definíciós egyenletek vezetnek. A permittivitás definíciójára itt is a terjedési sebesség formulája mutat rá:

$$\epsilon_m = \frac{1}{v^2 \cdot \mu_m}$$

és a vákuumban, ahol $\mu_{m0} = 1$;

$$\epsilon_{m0} = \frac{1}{v_0^2}.$$

Az elektromos és mágneses törvényrendszerben a törvények alakjai teljesen azonosak; nem ugyanazok azonban a törvényekben szereplő mennyiségek. Például:

$$H_e \neq H_m.$$

A definíciós egyenletek összevetéséből azt kapjuk, hogy a Maxwell-törvényekben szereplő mennyiségek a következőképp transzformálódnak:

$$\begin{aligned} H_e &= v_0 H_m; \quad i_e = v_0 i_m; \quad D_e = v_0 D_m \\ E_m &= v_0 E_e; \quad B_m = v_0 B_e. \end{aligned}$$

Tehát az első és második Maxwell-törvényben szereplő mennyiségek éppen fordítva transzformálódnak, a transzformáció állandója pedig a fénysebesség vákuumban.

Az elektromos és mágneses törvényrendszerek mennyiségei három-dimenziós jelzőrendszert igényelnek. Mindkét törvényrendszerben ugyanis elimináltuk az összes törvényállandót. Ez a lépés a kiindulásunkat képező hét-dimenziós jelzőrendszert négy-dimenziósra változtatja. Ezenkívül az elektromos rendszerben a permittivitás, mágneses rendszerben pedig a permeabilitás jelzőjének eliminálásával mindkét rendszerben még eggyel csökkentettük a jelzőrendszer dimenzióját, és így jutottunk a klasszikus — mechanikából átvett — három-dimenziós jelzőrendszerre.

E jelzőrendszer alapjelzőinek megválasztásában még szabad kezünk van. Induljunk ki a CGS-egységrendszerből, melynek alapegységei cm, g, sec. Ezekre az alapegységekre utaló jelzőkkel is kifejezhetők az elektromos és mágneses törvényrendszerek mennyiségeinek jelzői, de így kényelmetlen törtekitevőkre jutunk. Ezek elkerülésére célszerű bevezetni a gramm helyett egy származtatott jelzőt, a »gammát«:

$$\text{gamma} = \sqrt{\text{dyn/cm}} = \text{cm}^{-1/2} \text{ g}^{1/2} \text{ sec}^{-1}$$

és az elektromos és mágneses mennyiségek egységeire utaló jelzőket cm-gamma-sec jelzőrendszerrel adni meg. Így a Maxwell-törvényekben szereplő mennyiségek jelzői az elektromos és mágneses törvényrendszerben:

$H_e \dots \text{cm} \cdot \text{ga} \cdot \text{sec}^{-1}$	$H_m \dots \text{ga}$
$i_e \dots \text{ga} \cdot \text{sec}^{-1}$	$i_m \dots \text{cm}^{-1} \cdot \text{ga}$
$D_e \dots \text{ga}$	$D_m \dots \text{cm}^{-1} \cdot \text{ga} \cdot \text{sec}$
$E_e \dots \text{ga}$	$E_m \dots \text{cm} \cdot \text{ga} \cdot \text{sec}^{-1}$
$B_e \dots \text{cm}^{-1} \cdot \text{ga} \cdot \text{sec}$	$B_m \dots \text{ga}$

(E kifejezésekben »ga« gammát jelenti.)

E mennyiségek jelzőinek ismeretében a többi elektromágneses mennyiség jelzője a definíciók egyenletek révén algebrailag adódik.

3. A Gauss-törvényrendszer úgy keletkezik, hogy szimmetrikusan indulunk ki az elektromos és mágneses Coulomb-törvényekből. Ezek állandóit egynek vesszük és így a Maxwell-állandókra a következő két kötés adódik:

$$k = 4\pi, \text{ és}$$

$$c_1 = c_2 = c.$$

Ezenkívül szimultán elimináljuk a vákuum permittivitásának és permeabilitásának egyé-tételével e mennyiségek jelzőit. Tehát — a Gauss-rendszer mennyiségeit g indexszel jelölve:

$$\varepsilon_{g0} = 1 \quad \text{és} \quad \mu_{g0} = 1.$$

Így a terjedési sebesség formulája a következő alakot ölti :

$$v^2 = \frac{c^2}{\varepsilon_g \mu_g}$$

és vákuumban :

$$v_0 = c.$$

Tehát a Gauss-rendszerben már nem eliminálhatjuk az összes Maxwell-állandót, mert akkor mechanikai jelzõt, a sebesség jelzõt eliminálnánk és relatív sebességet vezetnénk be. Márpedig a Gauss-rendszer célja az is, hogy az elektromágneses jelzõket mechanikai jelzõkre vezesse vissza és nem célja a mechanika háromdimenziós jelzõrendszerét két-dimenziósra redukálni.

Vagyis egy Maxwell-állandót meg kell tartanunk, s így a Maxwell-törvények alakja a Gauss-rendszerben :

$$\text{rot } H_g \Leftarrow \frac{4\pi}{c} i_g + \frac{1}{c} \frac{d}{dt} D_g$$

$$\text{rot } E_g = -\frac{1}{c} \frac{d}{dt} B_g.$$

Míg az elektromos és mágneses törvényrendszerek valamennyi Maxwell-állandót eliminálják, és egy relatív mennyiséget vezetnek be — tehát háromra redukált négy-dimenziós rendszernek tekinthetõk, addig a Gauss-rendszer csak két törvényállandót eliminál és két relatív mennyiséget vezet be — tehát háromra redukált öt-dimenziós rendszer tulajdonképpen. Megállapíthatjuk, hogy egyik sem »természetes« rendszer, mert az elektromágneses jelzõrendszert a mechanika természetes három-dimenziós jelzõrendszerének mintájára törekszik felépíteni.

4. Természetes rendszerre akkor jutunk, ha minden törvényállandót eliminálunk, de nem vezetünk be relatív mennyiségeket. Kétfajta természetes rendszer van : racionalizált és nem-racionalizált. Tekintettel arra, hogy az eddigi rendszerek mind »nem-racionalizáltak« voltak ; a nem-racionalizált természetes rendszerrel kezdjük.

A mennyiségek értelmezését ugyanazon az úton végezhetjük, mint az eddigi rendszerek tették ; tehát a Coulomb-törvénybõl indulhatunk ki. Itt mindegy, hogy az elektromos, vagy a mágneses Coulomb-törvényt vesszük alapul, vagy akár szimultán mind a kettõt — éppen ez a rendszer természetes-géne egy döntõ ismérve.

Induljunk ki például az elektromos Coulomb-törvénybõl. Itt két definiálat-

lan mennyiség szerepel: az elektromos töltés és a permittivitás. Ebből azt a következtetést kell levonnunk, hogy az elektromágneses mennyiségek nem vezethetők vissza természetes módon a mechanikus mennyiségekre. Axiomatikusan kell tehát bevezetnünk egy önálló elektromos mennyiséget, például — mint ahogyan burkoltan az elektromos és Gauss-rendszerek is teszik — a permittivitást.

Ha a mágneses Coulomb-törvényből indulunk ki, akkor axiomatikusan a permeabilitást vezethetjük be. Ezt teszi burkoltan a mágneses rendszer és az ezzel lényegében azonos internacionális rendszer.

Ha szimultán indulunk ki a két Coulomb-törvényből, akkor formailag két mennyiséget vezetünk be axiomatikusan és — akár utólag is — megállapítjuk, hogy e két mennyiség — egy közeg permittivitása és permeabilitása — nem függetlenek, mert kapcsolatot teremt közöttük a terjedési sebesség törvénye.

Értelmezzük axiomatikusan a permeabilitást, válasszunk mérésre független egységet és erre utaló jelzőt. Ez tulajdonképpen 1930-ban meg is történt, amikor az I. E. C. (International Electrotechnical Commission) a következő határozatot hozta:

A vákuum permeabilitása és az abszolút permeabilitás ($\mu = B/H$) nem tekinthető tiszta számnak. Így a mágneses térerő CGS-egysége az örsted, és a mágneses indukció CGS-egysége a gauss legyen.

Ezeknek az egységeknek nyilván azért adtak eltérő nevet, mert nem tekinthetők egymással egyenlőknek; ezzel szemben a gyakorlat — elfogadta ugyan a gauss és örsted egységeket — továbbra is tiszta számnak tekintette a permeabilitást, és így a gauss lényegében egyenlővé vált az örsteddel. Pedig ezzel az impulzussal elindulhatott volna a természetes CGS-rendszer kialakulása a cm-g-sec- μ_0 alapegységekkel és a cm-sec-gauss-örsted jelzőrendszerrel. Ezután ugyanis a vákuum permeabilitását — az I. E. C. határozat helyes értelmezésével — így kellett volna felírni:

$$\mu_{no} = 1 G/\ddot{O}$$

(az n index a nem-racionalizált természetes mennyiségekre utal). Itt G a gauss, \ddot{O} pedig az örsted rövidítését jelenti.

A gaussnak és az örstednek a szorzata energiasűrűség-egységet kell, hogy adjon — lévén a mágneses energiasűrűség

$$\delta_m = \frac{1}{8\pi} H_n B_n.$$

Felírható tehát — CGS-egységekről lévén szó — az alábbi jelzőreláció:

$$1 G \cdot \ddot{O} = 1 \text{ erg/cm}^3 = 1 \text{ dyn/cm}^2$$

tehát

$$1 \text{ dyn} = 1 G \cdot \ddot{O} \cdot \text{cm}^2$$

Írjuk fel a permeabilitás axiomatikus értelmezése után a mágneses töltés definíciós egyenletét, mely a mágneses Coulomb-törvényből származik. A nem-racionalizált természetes rendszerben Coulomb törvényének állandója 1, tehát :

$$P = \frac{m_{n1} m_{n2}}{\mu_n r^2}$$

és így a harmadik Maxwell-állandó 4π -nek adódik. A másik két Maxwell-állandót válasszuk 1-nek ; így a nem-racionalizált természetes törvényrendszert jellemzi :

$$k = 4\pi, \quad c_1 = c_2 = 1.$$

A mágneses Coulomb-törvény ezekután felhasználható a mágneses töltés definíciós törvényének :

$$m_n = \sqrt{\mu_n P \cdot r}$$

és így a mágneses töltés jelzője a cm-sec-G- \ddot{O} jelzőrendszerben adódik a jobb-oldali mennyiségek jelzőiből :

$$\begin{array}{l} \mu_n \dots G/\ddot{O} \\ P \dots G \cdot \ddot{O} \cdot \text{cm}^2 \\ r \dots \text{cm} \\ \hline m_n \dots G \cdot \text{cm}^2 \end{array}$$

Innen aztán ugyanúgy megyünk tovább, mint a mágneses törvényrendszerben tettük ; a mágneses töltés és permeabilitás birtokában rendre adódnak a definíciós egyenleteken keresztül a mágneses mennyiségek és jelzőik. Ezután a Maxwell-törvényeket használjuk fel az elektromos mennyiségek értelmezésére. A Maxwell-törvényekben szereplő mennyiségek jelzői most így adódnak :

$$\begin{array}{l} H_n \dots \ddot{O} \\ i_n \dots \ddot{O} \cdot \text{cm}^{-1} \\ D_n \dots \ddot{O} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{sec} \\ E_n \dots G \cdot \text{cm} \cdot \text{sec}^{-1} \\ B_n \dots G \end{array}$$

Innen a definíciós egyenletek közvetlenül adják a többi elektromágneses mennyiség jelzőjét.

Érdemes még a vákuum permittivitását kiszámítani ebben a nem-racionalizált természetes rendszerben. A legegyszerűbb módon erre a terjedési sebesség formulájából jutunk. A terjedési sebesség a vákuumban :

$$v_0 = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_{n_0} \mu_{n_0}}}$$

és innen

$$\varepsilon_{n_0} = \frac{1}{v_0^2 \cdot \mu_{n_0}}$$

A terjedési sebesség értéke a vákuumban :

$$v_0 = h \cdot 10^{10} \text{ cm/sec,}$$

hol h egy tiszta szám :

$$h = 2,998 \dots$$

tehát majdnem három. Így a vákuum permittivitása :

$$\varepsilon_{n_0} = \frac{10}{h^2} \cdot 10^{-21} \text{ Ö} \cdot \text{sec}^2 / G \cdot \text{cm}^2.$$

Végül figyeljük meg a nem-racionalizált törvényrendszerben a Maxwell-törvényeket :

$$\text{rot } H_n = 4\pi i_n + \frac{d}{dt} D_n$$

$$\text{rot } E_n = -\frac{d}{dt} B_n,$$

melyek ugyanolyan alakúak, mint az elektromos és mágneses törvényrendszerben voltak. A racionalizálás gondolata abból a felismerésből származik, hogy a 4π faktornak a szerepe a Maxwell-törvényekben teljesen indokolatlan, »nem racionális«. Ha e faktort el akarjuk tüntetni, vagyis a k Maxwell-állandó értékét nem 4π -nek, hanem 1-nek akarjuk választani, akkor persze az első Maxwell-törvényben szereplő mennyiségeknek meg kell változniuk. Az áramsűrűséget nem akarjuk megváltoztatni, s így a mágneses térerőt és az elektromos eltolást kell megváltoztatnunk. Írjuk fel az első Maxwell-törvényt nem-racionalizált mennyiségekkel és 4π -vel átosztva :

$$\text{rot} \left(\frac{H_n}{4\pi} \right) = i_n + \frac{d}{dt} \left(\frac{D_n}{4\pi} \right).$$

Racionalizált mennyiségekkel az első Maxwell-törvényt így akarjuk írni :

$$\operatorname{rot} H = i + \frac{d}{dt} D$$

(a racionalizált mennyiségeket jelöljük index nélkül). Egybevetve ezt az előzőleg felírt egyenlettel azt találjuk, hogy a racionalizált és nem-racionalizált természetes mennyiségek között a következő kapcsolat áll fenn :

$$H_n = 4\pi H, \quad i_n = i, \quad D_n = 4\pi D.$$

A második Maxwell-törvény mennyiségei változatlanok maradnak :

$$E_n = E, \quad B_n = B.$$

A többi racionalizált és nem-racionalizált mennyiség között a kapcsolatot a fentiek alapján a definíciós egyenletek adják. Például a permittivitásnál és a permeabilitásnál az alábbi kapcsolatok adódnak :

$$\varepsilon_n = 4\pi \varepsilon \quad \text{és} \quad \mu_n = \frac{1}{4\pi} \mu.$$

Így a vákuum permittivitása és permeabilitása a racionalizált rendszerben :

$$\varepsilon_0 = \frac{1000}{4 h^2 \pi} 10^{-23} \text{ Ö} \cdot \text{sec}^2 / G \cdot \text{cm}^2$$

$$\mu_0 = 4\pi G/\text{Ö}.$$

A racionalizált és nem-racionalizált mennyiségek jelzői természetesen megegyeznek ; csupán számértékük csökken vagy növekszik 4π -szeresére.

A természetes törvényrendszerhez nem a fenti CGS mértékrendszer kapcsolódott, hanem a Giorgi—Kalantaroff mértékrendszer, mely finom eltérésektől eltekintve a praktikus egységeket használja. Az eltérés az, hogy Giorgi a praktikus egységek — volt és amper — kapcsolatát az abszolút CGS-egységekkel visszaállítja az eredeti definíció szerint. A természetes mennyiségek fenti CGS, vagy a Giorgi-féle MKS-egységekben való mérése már valóban egyszerű mértékrendszeri kérdés ; ugyanis a cm-sec-gauss-örsted jelzőrendszer és a méter-sec-volt-amper jelzőrendszer között Giorgi a következő exakt kapcsolatokat állította vissza :

$$(1 \text{ m} = 100 \text{ cm})$$

$$(1 \text{ sec} = 1 \text{ sec})$$

(e két zárójelbe tett reláció triviális)

$$\begin{aligned} 1 \text{ V} &= 10^8 \text{ G} \cdot \text{cm}^2/\text{sec} \\ 1 \text{ A} &= 10^{-1} \text{ Ö} \cdot \text{cm} \end{aligned}$$

A racionalizált és nem-racionalizált természetes mennyiségek átírása az egyik mértékrendszerből a másikba egyszerűen úgy történik, hogy a fenti jelzőrelációk felhasználásával a különböző mértékrendszerhez tartozó jelzőket algebrailag behelyettesítjük. Így például kapjuk a vákuum permittivitására és permeabilitására :

$$\epsilon_0 = \frac{1000}{4 h^2 \pi} 10^{-12} \text{ A} \cdot \text{sec} / \text{V} \cdot \text{m}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ V} \cdot \text{sec} / \text{A} \cdot \text{m}$$

Átszámítások

Befejezésül — felmerül a kérdés, hogyan lehet a négy-dimenziós természetes mennyiségeket a három-dimenziós elektromos vagy mágneses mennyiségekbe átszámolni? Itt is megállapíthatnánk transzformációs formulákat, melyekben a vákuum permittivitása és permeabilitása szerepelne transzformációs állandóként. Van azonban egy egyszerűbb és könnyebben megjegyezhető út.

A CGS-rendszerek mennyiségeit a nem-racionalizált természetes mennyiségekből redukcióval származtathatjuk ; a CGS-rendszerek mennyiségei ugyanis redukált mennyiségek.

Az elektromos rendszerre úgy jutunk, hogy a vákuum permittivitását egygé tesszük. Így a természetes mennyiségek az elektromos rendszer mennyiségeibe redukálódnak.

A mágneses rendszerre pedig úgy jutunk, hogy a vákuum permeabilitását tesszük egygé. Így a nem-racionalizált természetes mennyiségek a mágneses rendszer mennyiségeibe mennek át.

Végül a Gauss-rendszer mennyiségeire úgy jutunk, hogy aszerint redukálunk a permittivitás, illetve permeabilitás jelzőjének eliminálásával, hogy elektromos vagy mágneses mennyiségről van szó. A Gauss-rendszert ezért nevezik kevert rendszernek is, mert elektromos mennyiségei az elektromos rendszer mennyiségeivel, mágneses mennyiségei pedig a mágneses rendszer mennyiségeivel egyeznek. Így a továbbiakban elegendő az elektromos és mágneses rendszerekre szorítkozni.

A fentebb elmondottak értelmében felírhatjuk a következő feltételes egyenlőségeket :

ha $\varepsilon_{no}(=) 1$, akkor $M_n(=) M_e$,

és ha $\mu_{no}(=) 1$, akkor $M_n(=) M_m$.

Ezekben a kifejezésekben M egy tetszőszerinti mennyiséget jelöl az indexszel megadott törvényrendszerben.

Ha a természetes mennyiségek Giorgi-mértékrendszerben vannak megadva, akkor a jelzőrelációk ismeretében áttérhetünk CGS-mértékrendszerre. Hasonlóképpen a racionalizált mennyiségekről egyszerűen térhetünk át a nem-racionalizáltakra. Szorítkozhatunk tehát arra az esetre, amikor egy nem-racionalizált és CGS-mértékrendszerben adott természetes mennyiséget kell átszámítanunk elektromos vagy mágneses rendszerre.

A vákuum permittivitása nem-racionalizált természetes rendszerben :

$$\varepsilon_{no} = \frac{1000}{h^2} 10^{-23} \text{ Ö} \cdot \text{sec}^2 / G \cdot \text{cm}^2.$$

Ha ezt feltételesen eggyel tesszük egyenlővé, akkor ebből a következő feltételes jelzőreláció adódik :

$$1 \text{ Ö}(=) h^2 10^{20} G \cdot \text{cm}^2 / \text{sec}^2.$$

Ha még ehhez hozzávesszük a következő feltétlen jelzőrelációt :

$$1 G \cdot \text{Ö} = 1 \text{ dyn/cm}^2 = 1 \text{ ga}^2,$$

akkor a következő — feltételes — három-dimenziós kifejezéseket találjuk a gauss és örstedre :

$$1 G(=) \frac{1}{h} 10^{-10} \text{ ga} \cdot \text{sec} / \text{cm},$$

$$1 \text{ Ö}(=) h 10^{10} \text{ ga} \cdot \text{cm} / \text{sec}.$$

És most a természetes mennyiség átalakítása elektromos rendszerbeli mennyiséggé vissza van vezetve mértékrendszeri problémára ; a természetes mennyiség jelzőjét ugyanis a fenti feltételes relációk értelmében — algebrai behelyettesítéssel — át kell alakítani.

Hasonlóképpen kapjuk a mágneses rendszerbe való átszámításhoz a következő feltételes jelzőrelációt :

$$\mu_{no} = 1 G/\text{Ö}(=) 1$$

és ehhez hozzávéve az $1 G \cdot \text{Ö} = 1 \text{ ga}^2$ relációt, az adódik, hogy a fenti feltételes reláció következménye :

1 G (=) 1 ga és

1 Ö (=) 1 ga.

Azt az — első pillanatra talán meglepő — relációt kapjuk, hogy a természetes rendszerről a mágnesesre való áttérés nem változtatja a mennyiség mérőszámát, csupán jelzőjét módosítja. Éspedig a gauss és örstedet egyaránt $\sqrt{\text{dyn/cm}} = \text{ga}$ -vá változtatja.

Ugyanezeket a relációkat elektromos és mágneses rendszerbeli mennyiségek természetes mennyiségekké való visszazámolására is felhasználhatjuk: csupán a kérdéses mennyiség természetes jelzőjét kell ismernünk.

Összefoglalás

A szerző a mértékrendszeri problémák jobb áttekintése céljából e problémákat két részre osztja: valóban mértékrendszeri problémák azok, melyek az egységválasztás önkényessége következtében lépnek fel, »törvényrendszeri« problémáknak nevezi a mennyiségfelépítés különbözőségéből származókat. Végül a feltételes egység-relációk bevezetésével a törvényrendszeri problémákat mértékrendszeri problémára vezeti vissza.

HOZZÁSZÓLÁSOK :

URBANEK JÁNOS

Mindenekelőtt örömmel üdvözlöm a MTA-nak azt az elhatározását, hogy ezévi nagygyűlése keretében a mértékrendszerkérdést is szerepeltetni kívánta E kérdésnek — mely végig kísérte a villamosságban fejlődéstörténetét — különös aktualitást ad az a körülmény, hogy 50 évig tartó alapos tanulmányozás és kritikai vizsgálat után a Commission Internationale Electrotechnique (CIE) és az Union Internationale de Physique Pure et Appliquée gondos előkészítő munkája után a CIE 1935-ben tartott ülészakán — melyen a Szovjetunió képviselői is részt vettek — egyhangú döntéssel a *Giorgi*-rendszer bevezetését határozta el. Ez az ülés még két fontos részletkérdést nyitva hagyott. Nevezetesen nem döntött a MKS-rendszer negyedik alapegységének a kérdésében, valamint az ú. n. racionalizálás kérdésében. 1950-ben e kérdések is döntésre kerültek. Éspedig: negyedik alapegységnek az ú. n. abszolút Ampert jelölték ki és a racionalizált írásmód mellett döntöttek.

Egy másik — a *Giorgi*-rendszer bevezetésétől független — szempont, mely a mértékrendszerkérdést aktuálissá teszi, az ú. n. abszolút egységeknek a bevezetése az eddig használt ú. n. nemzetközi egységek helyett. Az erre való áttérést a Nemzetközi Mértékügyi Hivatal 1948. I. 1-ben jelölte meg. A tényleges áttérést azonban a méterkonvencióhoz csatlakozott országok egy része még nem hajtotta végre, ami nyilvánvalóan csak technikai, ill. törvényalkotási késést jelent, mert az alapmértékek központi hitelesítése már csak az új egységekben történhet. Az egységek értékében való eltérésnek egyébként csak bizonyos nagyobb pontosságú mérések esetében van gyakorlati jelentősége, miután a legnagyobb eltérések is 0,5‰ alatt maradnak a régi értékekhez képest.

Mindezek alapján érthető, hogy mind a mértékrendszerekkel foglalkozó szakirodalmat, mind a szabványalkotást, de még a jogalkotást is újabban szélesebb körben foglalkoztatják, ill. érintik a mértékrendszerkérdések, mint az említett nemzetközi határozatokat megelőző időszakban, amikor többnyire csak specialisták tárgyaltak időnként elvi kérdéseket vagy egy-egy újonnan javasolt — éspedig elég nagy számban javasolt — újabb mértékrendszert, melyeknek egy része mindenesetre *Giorgi*-variánsnak volt tekinthető.

Sok kiemelkedő művelője volt és van e kérdéseknek. Így napjainkban a legelső között *Kalantaroff* kiváló szovjet tudós. Érthető tehát, hogy az elvi kérdések lényegi része ma már tisztázottnak tekinthető. Erre vonatkozóan *Cornelius* a következőkben foglalta össze a helyzetet: »Ez a vita ma már lényegében lezáródott ; a *Giorgi*-rendszert még olyanok is elfogadták, akik régi ellenzői voltak annak, olyan fizikusok is, akik az E—B analógia hívei ; éspedig nemcsak gyakorlati használhatósága miatt, de azért is, mert nyíltan beismerték, hogy a *Giorgi*-rendszer tudományos szigorúság tekintetében nem marad a CGS-rendszerek alatt, gyakorlati és tudományos érték tekintetében pedig felette áll azoknak« (és itt *Cornelius* példaképpen nem kisebb fizikusra, mint *A. Sommerfeldre* hivatkozik).

Bármennyire is így áll a dolog és bármennyire is terjed mind szovjet, mind egyéb viszonylatban a *Giorgi*-típusú rendszerekben megírt szakkönyvek száma, bizonyos elvi viták fel-fel merülnek, és pedig elsősorban a *Giorgi*-rendszernek az egyes országokban történt vagy történő bevezetésével kapcsolatos viták keretében, ill. az azokat kísérő irodalmi megnyilatkozásokban.

E kérdés nálunk is 1935 óta, ha szűkebb körben is, de napirenden van. *Hennyey* dolgozatát is ide sorolhatjuk és azzal ilyen értelemben, tehát az egész kérdéskomplexum szempontjából kívánok foglalkozni anélkül, hogy annak részleteivel behatóbban foglalkoznék.

Hennyey a fizika alapegyenleteinek arányossági tényezőivel, a mértékrendszerek szempontjából tehát a mértékrendszerek paramétereivel foglalkozik, és tárgyalja a fizikai mennyiségek relatív mennyiségekként való szerepeltetésének lehetőségeit, valamint az arányossági tényezők részbeni »kiküszöbölésének« a kérdését is.

Ez utóbbi pont az, amivel részletesebben kívánok foglalkozni, mert az alkalmat nyújt egy általános elvi kérdés megvilágítására, mely — úgy gondolom — a kérdés mai hazai állása mellett hasznosnak mutatkozhat.

Mindjárt a kérdés lényegére térve: *Hennyey* az el. sztat. és el. mágn. CGS-rendszerek, valamint a *Gauss*-rendszer és a *Giorgi*-rendszer tárgyalása kapcsán megállapítja, hogy »Természetes rendszerre akkor jutunk, ha minden törvényállandót (értsd: arányossági tényezőt) eliminálunk, de nem vezetünk be relatív mennyiségeket. Így jutunk a négy-dimenziós *Giorgi*-rendszerre.«

Ezzel *Hennyey* a *Giorgi*-rendszerre nézve nézetem szerint túl kedvező álláspontot foglal el, és pedig éppen olyant, amilyent némileg más, de lényegében hasonló okoskodás alapján a *Gauss*-rendszer mellett is fel lehet hozni, anélkül, hogy az akár az egyik, akár a másik esetben szigorúan véve indokolt volna.

A kérdést *Karapetoff* parameter-analízise alapján kívánom megvilágítani, melynek értelmében a villamosságtan alapegyenleteiben felléptethető összes paraméterek explicite való kiírása esetében a *Maxwell*-egyenletekből az elektromágneses sugárzásoknak a vákuumban való terjedési sebességére vonatkozóan a következő összefüggés adódik:

$$k c = \sqrt{\frac{n p}{\epsilon_0 \mu_0}}$$

ahol ϵ_0 és μ_0 a vákuum dielektromos állandója, ill. permeabilitása, n és p értéke 1 vagy 4π aszerint, hogy a teljes térszöghöz vagy a térszögegységhez rendelünk-e egységnyi erővonalszámot, k pedig a villamos és mágneses mennyiségek között felléptethető arányossági tényező.

A kérdés lényege már most a következő. E paraméterek, és pedig elsősorban ϵ_0 , μ_0 és k mint *paraméterek* — tehát egyéb szempontokat nem tekintve — teljesen egyenértékűek egymással (n és p azért nem jönnek szempontunkból tekintetbe, mert azok lényegében geometriai és nem fizikai természetű arányossági tényezők).

Hennyey — aki egyébként más 5 paramétert alkalmaz, ami természetesen szabadságában áll — hallgatólág előre állást foglal ϵ_0 és μ_0 tekintetében, amennyi-

ben azokat a priori teljes értékű fizikai mennyiségnek tekinti. E felfogás mellett viszont természetes, hogy a *Giorgi*-rendszer adódik »természetes« rendszerként.

Ugyanilyen alapon a k arányossági tényező is a priori teljes értékű fizikai mennyiségnek tekinthető, ami viszont azt jelentené, hogy a Gauss-rendszer a »természetes« rendszer. Ezzel az állásponttal gyakran találkozhatunk is.

Hennyey írása tehát alkalmat ad arra, hogy rámutassunk egy olyan vitapontra, melynek kellően megindokolt alapja nincs. Ezt a körülményt a Gauss-rendszerrel kapcsolatban kívánom bemutatni. A Gauss-rendszerrel kapcsolatban ugyanis a kérdés azért pregnánsabb, mert a k paraméter révén ez esetben látszólag valóban egy univerzális állandó: a c fénysebesség kerül bele, a villamoságtan alapegyenleteibe és a *Hennyey*éhez hasonló álláspont ez esetben a *Giorgi*-rendszer ellen szólna, amennyiben helytálló volna. A helyzet ezzel szemben a valóságban igen egyszerű, és pedig a következő. Ha Gauss-rendszerben számolunk, a c fénysebesség két egymástól alapvetően eltérő módon kerül bele az egyenletekbe. És pedig vagy úgy, hogy azt a fizikai összefüggések megkövetelik (tehát mindazokon a helyeken, ahol c a *Giorgi*-rendszerben is szerepel), vagy úgy, hogy az egyszerűen a Gauss-rendszerre érvényes

$$kc = \sqrt{(4\pi)^2}$$

Karapetoff-féle paraméterösszefüggésből adódik, melyből

$$k = \frac{4\pi}{c},$$

tehát végeredményben úgy, hogy pusztán paraméterként kerül bele az egyenletekbe.

c -nek ez utóbbi helyeken semmiféle különleges fizikai jelentése nincs. Az e helyeken fellépő $k = 4\pi/c$ -nek jellege és szerepe ugyanaz mint pl. a *Giorgi*-rendszerben a helyette álló egységnek: egyszerű paraméterről van szó. A *Giorgi*-rendszernek éppen egyik előnye a Gauss-rendszerrel szemben, hogy nem szerepelteti a fénysebességet olyan helyeken, ahol az a kérdés természetéből nem folyik.

Tisztán elvi szempontból ϵ_0 és μ_0 szerepe is hasonló, ha azokat mint egységrendszer-paramétereket tekintjük.

A fentiekben vázolt állásfoglalások tehát nem döntik el a mértékrendszerkérdést, amit úgy is kifejezhetünk, hogy ilyen értelemben vett *egyetlen* »természetes« rendszer nincs. Mint ahogy — hasonló okok miatt — egyetlen ú. n. mértékfüggetlen írásmód sincs. A rendszerek mellett vagy ellen való állásfoglalás több tényezőtől tevődik össze.

A Gauss-rendszer esetében például sokan előnynek tekintik a vélt nagyobb szimmetriafokot (ami egyébként más módon is elérhető) és azt, hogy e rendszerben ϵ_0 és μ_0 dimenzió nélküli mennyiségek. A *Giorgi*-rendszer esetében előnyök: a — *Heaviside*-féle — legegyszerűbb írásmód, mely egyúttal mértékfüggetlennek is tekinthető; az, hogy a rendszer négydimenziós, ami szükséges és elegendő és nem ötdimenziós, mint a Gauss-rendszer, ami felesleges, vagy ál-háromdimenziós, mint az el. stat. és el. mágn. CGS-rendszerek; és az elektrotechnikusok szerint az is, hogy e rendszerben ϵ_0 és μ_0 dimenziós mennyiségek. Egyik rendszer mellett vagy ellen sem szolgálhat azonban érvként az, hogy az ú. n. fizikai arányossági tényezőket hol szerepeltetjük. Ezt az is alátámasztja,

hogymint már említettem, ú. n. mértékfüggetlen írásmód is többféle állítható elő, melyekben e tényezők más és más helyen lépnek fel (ilyenek pl. az *Emde* és *Fischer*-féle mértékfüggetlen írásmódok).

A *Giorgi*-rendszer további előnye még, hogy ez az egyetlen gyakorlatilag használható, felépítés szempontjából is kifogástalan rendszer, mely az összes legális egységeket zárt rendszerre egészíti ki. Mennyiségegyenletei és egységegyenletei azonos felépítésűek, ami didaktikailag óriási előny és a gyakorlati számolás szempontjából sem elhanyagolható szempont.

A *Giorgi*-rendszer végül célszerű variánsokat enged meg (pl. *Kalantaroff*-rendszer, *MSVA*-rendszer) anélkül, hogy ez a legkisebb zavart is okozná. Miután pedig e rendszernek megfelelő írásmód a *Heaviside*-féle írásmód, az egyszer így megtanult írásmód mértékfüggetlen lévén, tetszőleges egységek egyidejű alkalmazására is alkalmas.

Fentiek alapján a Magyar Szabványügyi Hivatal egyetemi tanárokból és más szakértőkből álló előkészítő bizottsága hosszantartó, alapos munkával elkészítette »jelölések és egységek« szabványtervezetét, amely a közeljövőben kerül tárgyalásra. E tervezet a *Giorgi*-rendszer mellett egyéb rendszereket is tartalmaz.

Részben ennek előkészítését is szolgálta »A villamosságban egyenleteinek írásmódjai és mértékrendszer kérdései« c. munkám, amely a Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó Vállalat kiadásában ez évben jelent meg.

Hennyey dolgozatával kapcsolatban azért is felemlítem e munkámat, mert az többek között rövid magyarnyelvű összefoglalását adja egy, a Francia Tudományos Akadémia előtt 1935-ben bemutatott és egy ugyanabban az évben a *Journal de Physique*-ben megjelent cikkemnek, amelyben a tömegnek és az energiának a relativitás elméletből folyó egyenértékűsége alapján egy elvi szempontból rendkívül egyszerű felépítésű rendszer lehetőségére mutattam rá, amely rendszerben bizonyos mennyiségek, így különösen ϵ és μ is automatikusan relatív mennyiségekként adódnak és melynek egységei egyetlen tetszőlegesen választott energiakvantum meghatározó adatai alapján rögzíthetők.

E rendszer a fentebb tárgyalt rendszerekhez képest más szempontból tűnhet »természetesebbnek«, de nyilvánvaló, hogy ez sem kitüntetett ilyen tekintetben a többi rendszerhez képest.

Nagyon hasznosnak tartom, hogy *Hennyey* dolgozata kapcsán e kérdések az Akadémia Nagygyűlése keretében tárgyalásra kerültek és örülök, hogy — ha némileg más szempontok alapján is — de egyetérthetek *Hennyey* kártyával a *Giorgi*-rendszer nyilvánvaló előnyei tekintetében.

SIMONYI KÁROLY

Mind az előadás, mind pedig az előbb elhangzott hozzászólás az elektrotechnika mértékrendszereinek kérdését felülről és önmagában vizsgálja. Ez alatt azt értem, hogy egyrészt ismertnek veszi a kérdés tárgyalásánál az elektrodinamika összes törvényeit, másrészt nem tekinti a makro- és mikrofizika kapcsolatát. Az ilyenfajta vizsgálatokra természetesen nagy szükség van. Alkalmask arra, hogy az egyes használatos rendszerek logikai felépítését egységes nézőpontból elénk tárják és ennek megfelelően azok önként adódó, vagy önkényes voltát megmutassák és az egymásba való átszámítást megkönnyítsék, mint azt a most megismert elmélet is olyan szépen teszi.

Ezek a vizsgálatok már rendszerint értékítéletet is tartalmaznak valamilyen formában az egyes mértékrendszerek gyakorlati használhatóságáról. Ezen utóbbi kérdés eldöntéséhez szeretnék két olyan szempontot kidomborítani, amelyek éppen úgy adódnak, hogy elejtjük a kérdés felülről és önmagában való vizsgálatát. Az első és eléggé súlyosan latba eső újabb szempont akkor merül fel, amidőn nem tesszük fel az elektrodinamika összes törvényeinek ismeretét, hanem éppen logikus egymásutánban felépítjük azt, mégpedig a pedagógia szempontjainak megfelelően. A kérdés más megfogalmazásban úgy hangzik, hogy mit szól az egyes mértékrendszerekhez a pedagógus, aki az elektrotechnikát különböző nivóban tanítja. Ilyen szempontból kérdéses, hogy melyik mértékrendszer érdemi meg a természetes jelzőt? A jó rendszer az lesz, amelyik egy pszichológiailag alapvetőbb fogalmat hoz kapcsolatba az érzésünkhöz közelálló mechanikai mennyiségekhez és az összekapcsoló egyenlet alakja az elképzelhető legegyszerűbb. Pillanatnyilag úgy látszik, hogy az elektromos töltés az alapvető fogalom és ezen keresztül célszerű kapcsolódni a mechanikai mennyiségekhez. A fejlődés útja minden valószínűség szerint az lesz, hogy a villamos energia széleskörű elterjedésével a feszültség és áram fogalma annyira kézenfekvő és megszokott lesz, hogy az elektrotechnika törvény- és mértékrendszere pedagógiailag is a feszültség és áram fogalmán épülhet fel.

A másik szempont abból adódik, hogy megnézzük, hogy az anyag felépítésére vonatkozó elképzelésünkből hogyan adódnak ki a makroszkópikus Maxwell-egyenletek. A mikrofizika szerint az elektromos és mágneses térerősség mindig a vákuumban van és az anyag jelenlétét a vákuumban elhelyezett töltött részecskék elektromos és mágneses tere mutatja meg. Ebben a felfogásban tehát mind az elektromos, mind a mágneses tér külön-külön egyetlenegy mennyiséggel jellemezhető: az elektromos és mágneses térerősséggel. Természetesen itt is definiálhatnánk az elektromos eltolás és mágneses indukció fogalmát, ez azonban semmiféle előnnyel nem járna és csak feleslegesen bonyolítaná a dolgot. Ebből a szempontból természetesnek éppen azt a rendszert lehet nevezni, amelyik eleve számol ezzel a ténnyel és a makroszkópikus, vákuumra felírt egyenletek alakja megegyezik a mikrofizika alapegyenleteivel, amely egyenletekben tehát az E és D mennyiségek azonosak. Ezzel magyarázható a fizikusoknak az előszeretete a Gauss-rendszer iránt, amelyik ebből a szempontból »természetes«.

Ennyiben kívántam nem annyira magát az itt megismert átfogó elméletet, mint inkább a belőle a gyakorlati használhatóságra vonatkozóan levonható következtetést néhány szemponttal kiegészíteni.

TARJÁN REZSŐ

Hennyey Zoltán előadása a fizikai mennyiségek dimenzióinak rendszerével foglalkozik. Minthogy tárgyánál fogva *nem* a híradástechnika, hanem a fizika területéhez tartozik, elsősorban a fizikus álláspontjáról kívánok hozzászólni. A fizikai mértékrendszerek kérdése azonban közvetlenül és szoros kapcsolatban van a bennük szereplő fizikai mennyiségek természetéről alkotott nézetekkel is, amelyek körül már kialakulásuk óta, napjainkban pedig ismét rendkívül élesen folyik a dialektikus materializmus és az idealizmus harca; a tudományos nézeteket így, ebből a szempontból is bírálni kell.

Az előadás szövege szerint a kitűzött feladat: »a mértékrendszerek utólagos elméleti megalapozásávaláttekinthetővé tenni azokat«. Véleményem szerint azonban a szerző ezt a célt — noha az előadás logikai felépítése, legalább is a formális matematikai részt illetően — kitűnő, mégsem éri el, a következő okokból:

1. A mértékrendszerek kérdését lényegében formálisan tárgyalja. A mértékrendszerek kérdése azonban nem csupán formális kérdés: a formalizmus mögött a fizika — és hozzátehetjük: az ismeretelmélet — legsúlyosabb kérdései vannak elrejtve. Ezekre a szempontokra a szerző nem tér ki; így az elérni kívánt áttekinthetőség is csak a felületen marad.

2. A formális tárgyalás kedvéért a mechanikában csak a mozgásegyenletet veszi figyelembe — így ellentétbe jut a gravitációs törvénnyel.

3. Az előbbieik miatt — elsősorban a mechanikával kapcsolatos fejtegetéseiben — tág teret nyit annak, hogy megállapításaihoz olyan idealista nézetek kapcsolódjanak, amelyet Lenin már 1908-ban, a maga korában pedig már Engels is megcáfolt. Világos, hogy napjainkban, amikor a burzsoázia minden eszközzel, nem utolsó sorban a tudományos nézetek félremagyarázásának az eszközeivel is igyekszik hozzánk behatolni, nem mehetünk el mellettük szó nélkül.

Vegyük sorra ezeket a szempontokat.

I.

Miben nyilvánul meg a szerző formalizmusa? Abban, amiben minden formalizmus: a mértékrendszereket kizárólag alakjukban, nem pedig fizikai tartalmukban ragadja meg. Emiatt mindjárt az elején megállapítja, hogy a mechanikában »mértékrendszer probléma nincs, ugyanez az elektromosságban nem áll«. Ez az állítás formálisan igaz, a valóságban azonban nem ilyen egyszerű a helyzet.

A szerző megállapítja, hogy az elektrosztatikus és az elektromágneses rendszerben kifejezett töltések nem egyenlők egymással: a dimenziók között a transzformációs koefficiens a fénysebesség — és hozzáteszi, hogy egyenlőség csak akkor állana fenn, ha a fénysebesség a vácuumban egyenlő lenne 1 -gyel. Ez az érvelés azonban nem teljesen helytálló. A transzformációs koefficiens nem egyszerűen csak egy numerikus faktor; t. i. vagy $3 \cdot 10^{10}$, vagy 1 . Ha ez volna a helyzet, akkor csak az egység önkényes megválasztásáról, tehát végeredményben normálási kérdésről volna szó. A kétféle rendszer között azonban nem egyszerűen csak ez a különbség, hanem az is, hogy az egyikben szerepel a töltés definíciójában a cm/sec . mérték, a másikban pedig nem. Ez viszont

— Jánossy professzor egy megjegyzése szerint — azt a fizikai különbséget tükrözi, hogy egy elektron töltését elvileg kétféleképpen lehet mérni: vagy a *nyugvó* elektron töltését mérjük az általa létesített sztatikus erőter útján (elektrosztatikus mértékrendszer) vagy pedig a *mozgó* elektron töltését mérjük; ekkor a töltés mértéke a mozgó elektron által létrehozott mágneses tér, amely ismert módon a fénysebességgel terjed. Erre a különbségre azonban a szerző

•a tisztán formális tárgyalás miatt nem mutat rá.

A helyzet egyébként a mechanikában sem olyan egyszerű, mint ahogy azt a szerző látja és kijelentései csak a klasszikus mechanikára igazak. A relativitás-elmélet szerint azonban nemcsak az elektromágneses hatások, hanem a gravitációs hatás is véges sebességgel terjed, nevezetesen itt is a fény sebessége

lép föl. Ha tehát a mechanikában is konzekvensen akarnók felépíteni a mértékrendszereket, akkor a gravitációs hatás terjedési sebességét itt is figyelembe kellene venni; ez a mechanikában is szükségessé tenné pl. a retardált gravitációs potenciál bevezetését, tehát behozná a kétféle mértékrendszert és a fénysebességet, mint a transzformációs koefficiensét.

A dolognak részben fizikai, részben történelmi gyökerei vannak. A fizikai különbség a mechanikai mértékrendszer és az elektromos mértékrendszer között elsősorban az, hogy a mechanikában a gyakorlatban előforduló sebességek a fénysebességhez képest kivétel nélkül elhanyagolhatók. Így Newton — a maga korának fizikai eredményeire támaszkodva — teljes joggal fogalmazhatta meg három törvényét az ismeretes formában. Ezzel szemben az elektromosságnak kétféle megjelenési formája van: *a sztatikus töltések mindig valamilyen materiális testhez kapcsolódva jelentkeznek.* A Coulomb-törvény tehát, amely történelmileg a Newton-féle gravitációs törvény mintájára készült (ez a kérdés történelmi oldala) lényegében véve nem azt feltételezi, hogy a töltés nyugszik, hanem azt, hogy a töltést hordozó materiális test nyugalomban van. (Pontosabban a töltés mérése a töltést hordozó testtel együttmozgó koordináta-rendszerben történik.) Izolált, materiális hordozó testtől független töltéseket, tehát elektronokat, nyugalomban nem lehet megfigyelni, de nem is lehet elképzelni. A mozgás az elektronok sajátos létezési módja; a mozgó töltések mérésére pedig az elektromágneses rendszer a logikus.

A szerző a nagyobb szigorúság kedvéért a mértékrendszereket láthatóan axiomatizálni akarja, mint Newton a mechanikát. Nem szabad megfeledkezni azonban arról, hogy *minden axiomatikus rendszer alapja a közvetlen tapasztalat*, amely éppen az axiomákban van lefektetve. Ez így van Euklidesnél, így van Newtonnál, vagy a termodinamika Caratheodory-féle axiomatikus felépítésénél. Newton maga, a Principia nem egy helyén beszél erről. Így pl. a Principia XI. részében a következőket írja*:

»Matematikai kutatás tárgyai lehetnek az erők nagysága és azok az összefüggések, amelyek az önkényesen szabott feltételekből következnek. *Majd a fizikához folyamodva ezeket a következtetéseket össze kell vetnünk a végbemenő jelenségekkel, hogy felismerhessük, mely feltételek teljesülnek az erőket illetően a testek vonzóképeségének egyes fajtái esetében.*«

Összefoglalva ezt a részt: Henyey formalizmusát legjobban azzal jellemezhetjük, hogy megállt a fenti Newton-idézet első mondatánál és elhanyagolja a további részt, amely a fizikai összefüggések gondos vizsgálatát és elemzését követeli meg.

Az előzőkben kimutatott formalizmus odavezet, hogy kénytelen a Newton második törvényét kifejező mozgásegyenletet »módosítani«: a tömeg és a gyorsulás szorzata *nem egyenlő, hanem csak arányos* az erővel.

$$m a = c P$$

ahol a a gyorsulás, P az erő, m a tömeg, c pedig egy új állandó. Ebből persze formálisan ki lehet számítani az állandó értéket:

$$c = \frac{m a}{P}$$

*Idézve: Kudrjavcev: A fizika története. Akad. Kiadó 1951. 262. old. Kiemelés tőlem. T. R.

és a szerző le is vonja a következtetést, hogy »az a , m és P összetartozó hármásának fenti kifejezése olyan állandó, amely semmiféle fizikai körülménytől nem függ«.

Mármost az ellentmondás a fizikai tapasztalattal nyilvánvaló : a fizikában ismerünk egy sor univerzális állandót, amelyek az anyag alapvető tulajdonságaira jellemzők, pl. a fény sebessége, a Planck-féle állandó, vagy, hogy a mechanikánál maradjunk, a gravitációs állandó. De ezeket *kivétel nélkül* az jellemzi, hogy *függetlenek* a fizikai körülményektől, a gravitációs állandó pl. a föld gravitációs terétől, hiszen éppen ezért lehetséges *mérni* őket. Másrészt : hogyan lehet mérni egy olyan állandót, amely »semmiféle fizikai körülménytől nem függ«? Világos, hogy sehogyan. Bármely fizikai mérés lényege elvileg a fizikai mennyiségek észlelése. *Ha azonban egy állandó, semmiféle fizikai körülménytől nem függ, akkor nem mérhető, tehát egyszerűen nem létezik.*

Hogyan vezet felre Henneyt ebben az esetben a saját formalizmusa? Úgy, hogy nem veszi észre, hogy Newton második törvényében, a mozgás egyenletében a *tehetetlen* tömeg szerepel ; a *súlyos* tömeget Newton gravitációs törvénye tartalmazza :

$$P = \frac{k m_1 m_2}{r^2}.$$

Ebben valóban szerepel egy univerzális állandó, nevezetesen a gravitációs állandó. Éppen a mi Eötvös Lórándunk történelmi érdeme, hogy ennek az állandónak az értékét szinte fantasztikus, 10^{-9} -es pontossággal meghatározta. Ezzel kísérletileg bebizonyította azt, amit Newton még csak feltételezett, hogy t. i. a *tehetetlen és a súlyos tömeg egymással egyenlő*.

A mozgás egyenlete és a gravitációs törvény szorosan összetartoznak : egy egyenlet két oldaláról van szó. A kettő közül az egyikben feltétlenül kell egy univerzális állandó, amely az arányosságot egyenlőséggé teszi. Az, hogy hol használjuk ezt az állandót, bizonyos fokig tényleg választás — de nem önkényes. hanem célszerűségi szempontok által meghatározott választás — kérdése, Mindenképpen azonban *mérhető* állandóról van szó. Newton óta megszoktuk, hogy ezt az univerzális állandót a gravitációs állandó formájában használjuk, mert a mérése így könnyebb. *A mozgásegyenletbe csak úgy helyezhetjük át, ha ugyanakkor a gravitációs törvényből elhagyjuk.* Henney viszont, éppen mert a dolgokat tisztán formálisan kezeli, nem veszi figyelembe, hogy a mozgásegyenlet és a gravitációs törvény szorosan összetartoznak, és csak a mozgásegyenlettel foglalkozik. Így a mozgásegyenletbe bevezeti ezt az új állandót, de ugyanakkor *nem* hagyja el a gravitációs törvényből.

Egyébként a javasolt erőegység, a *Pond technikai egység*. A gyakorlatban azért nem használható jól, mert megfelelő etalonok a földön nem vihetők át egyik helyről a másikra. Értékük ugyanis a gravitációs állandó értékének változásával megváltozik, így az egy *Pond* erő a póluson nem ugyanazt jelenti, mint az egyenlítőn. (L. pl. Sommerfeld *Mechanikáját*.)

II.

Vizsgáljuk meg végül, hogy mivel nyit kaput Henney annak, hogy nézeteihez idealista álláspontok kapcsolódhassanak. Legfőképpen azzal, hogy határozottan állást foglal amellett, hogy a mechanikában négy alapfogalomra (hosszúság, idő, tömeg és erő) és ennek következtében négy alaplmenyiségre van szük-

ség. Ez azonban elvi oknál fogva helytelen és veszedelmes. Az erő fogalma ugyanis közvetlenül alkalmas arra, hogy az idealista nézeteket — az első erő, a végsők, stb. — rövid úton becsempésszék a fizikába. A mechanikában három alapmennyiség elegendő (CGS-rendszer), a negyedik az első hátróból meghatározható. Az erőre, mint független alapmennyiségre nincsen szükség, mint ahogy a relativitás elméletében nem is szerepel: ott az erőt, mint a mozgás-okát az a természeti törvény váltja fel, hogy a térben, amelynek metrikáját az ottlevő tömegek határozzák meg, e tömegek mozgása geodetikusan alakul mentén történik. Ebből az egész relativisztikus mechanika levezethető.

Nem szabad megfeledkezni arról, hogy az erő fogalma történelmi kategória: akkor keletkezett, amikor a tudósok ismeretei a természetről még igen korlátozottak voltak; nem ismerték még fel, hogy *a mozgás az anyag létezési módja*. Így az erő fogalmára szükség volt, mint a mozgás okára. *Newton mozgásegyenletének ideológiai jelentősége éppen abban van, hogy az erő fogalmát megfosztja misztikus, természetfölötti jellegétől: a mozgásegyenlet meghatározza az erő dimenzióját (MLT^{-2}) és ezzel — az anyag segítségével — térben és időben meghatározott, a mozgásra visszavezetett fizikai segédfogalommá teszi. Ezzel szemben: az erőt a fizikában negyedik alapmennyiségként használni legalábbis azt jelenti, hogy az erőt tértől, időtől anyagtól független léttel ruházzuk fel és ezt látszólag »tudományos« érvekkel támasztjuk alá. Ez azonban pontosan az idealizmus és a teológia álláspontja, ami ellen nekünk harcolni kell.*

HOFFMAN TIBOR

Az Eötvös Lóránd Fizikai Társulat nevében a mértékrendszerek oktatásával kapcsolatban a következő javaslatot teszem. Az oktatás alapfokán továbbra is a CGS-rendszerrel kell kezdeni, azonban mihelyt lehetséges, be kell vezetni az MKSAV-rendszert is. A kétféle mértékrendszert egyelőre meg kell tartanunk és sok átszámítási problémával kell begyakoroltatnunk. Az, hogy hol lehet bevezetni a Giorgi-rendszert, esetenként más és más. Így pl. ahol az elektromosságtant a Coulomb-törvénnyel vezetik be — (alapfokon), csakis a CGS-rendszerrel lehet kezdeni az oktatást, míg ahol a Maxwell-egyenletekkel (felsőbb fok) vezetik be, a Giorgi-rendszerrel. Mai tudományos életünk és a szakirodalom azt követeli meg, hogy mindkét rendszert egyelőre párhuzamosan oktassuk, de a szakképzésnél a megfelelő egységrendszerre legyen helyezve a főszúly.

A kg-súlyt mint alapegységet ne vezessük be, de mint leszármaztatott egységet tanítsuk az oktatás minden fokán. Hívjuk fel a tanulók figyelmét arra, hogy a műszaki irodalom nagy részében eddig helytelenül kilogrammmal jeleztek a kg-súlyt. Ez utóbbi jelölést helyes lenne konzekvensen végigvinni.

Az előadáshoz még azt a megjegyzést szeretném hozzáfűzni, hogy az alapegységek számának a meghatározását nem szabad mereven rögzítettnek tekinteni, ez nagyon függ az egész fizikai kutatás pillanatnyi állásától. Éppen a fizikai tartalom adja meg, hogy hány alapegységre van szükség. Így pl. amíg az elektromos és mágneses jelenségeket különállónak tekintették, öt alapegységre lett volna szükség. Az elektromágneses elméletben ezek összekapcsolódásával ez négyre redukálódott. Az újabb fizikai kutatások lehetőséget adhatnak az alapegységek számának a módosítására is. Így pl. Sommerfeld felveti annak lehetőségét, hogy amennyiben a neutron mágneses momentuma az elektromos tulajdonságoktól függetlennek fog mutatkozni (ez a kérdés ma még teljesen

elöntetlen) az alapegységek számának ötre való felemelésének kérdése újból napirendre kerülhet.

GYULAI ZOLTÁN*

A kérdésnek pszichológiai kapcsolatai is vannak. A távolság, a tér, az idő és a tömeg érzéleteinkre hatnak és kézzelfogható realitást jelentenek. Az elektromos mennyiségekről is be kell bizonyítani, hogy nem misztikusak. Ez nevelés kérdése. A töltés, illetve az áram vagy feszültség mérésében gyakorlatunk van, ezek lassan szemléletessé lesznek.

A fizika fejlődésével kapcsolatban kialakult régebbi méréseket alkalmazni kell, hiszen a mai mérnöknek nagyon sokáig lesz szüksége a régi irodalomra. A fizikusok, a mérnök szempontjából legegyszerűbb mértékrendszert csak a tanulás folyamán lehet kialakítani. Nem célszerű döntést hozni e téren, amíg nemzetközi megállapodás nincs.

MARX GYÖRGY

Helyes az előadónak az a megállapítása, hogy az elektrodinamikában az »abszolút« CGS- vagy a »természetes« Giorgi-rendszer használata nem csupán a mértékegység megválasztásának kérdése, hanem a törvényrendszert kell úgy megválasztanunk, hogy az alapegységekben szereplő fizikai állandók számát a minimumra csökkentsük. Ennek a végrehajtásában azonban nem érthetünk egyet az előadóval.

Az előadó szerint abban rejlik a Giorgi-féle rendszer nagy előnye, hogy a dielektrikumokra felírt Maxwell-egyenletekben univerzális fizikai állandó nem szerepel, ezzel szemben a Gauss-féle CGS-rendszer használata esetén megjelenik a vákuumbeli c fénysebesség. A vákuum-fénysebességnek mint fizikai állandónak a kiküszöbölése így csak látszólagosan sikerül: a makroszkópikus elektrodinamika Maxwell-egyenleteiben ugyan nem szerepel, ellenben továbbra is benne marad igen sok alapvető fizikai törvényben, így az energia és tömeg egyenértékűségét, a relativisztikus tömegnövekedést kifejező összefüggésekben. Ezek pedig nemcsak az elméleti fizikus számára fontosak, hanem az atomfizika eredményeinek fokozódó gyakorlati felhasználása következtében a technikába is bevonultak. (A relativitáselmélet megmutatta, hogy c fellépte nem az elektromágneses térerősségek definíciójával kapcsolatos, hanem annak következménye, hogy a hosszúság és idő egységét egymástól függetlenül választottuk meg.)

A c lokális, tehát látszólagos kiküszöbölésével szemben a Giorgi-féle rendszer bevezeti az ϵ_0 és μ_0 új univerzális állandókat. Ezek valóban univerzális állandók. Egyes jelenségek dielektrikumban (tehát nem vákuumban) való leírásánál — pl. a realizisztikus elektrodinamika egyenleteiben, vagy a magnetostatikus tér energiájának és feszültségeinek Sommerfeld által használt alakjában — szükségképpen fellép a dielektrikumra jellemző ϵ és μ állandók mellett az ϵ_0 és μ_0 is, noha ϵ és μ alatt nem az ú. n. »relatív állandók« értendők. Ebből nyilvánvaló, hogy ϵ_0 és μ_0 nem »közegállandók«. Hozzájárul ehhez, hogy a relatív dielektromos állandót és permeabilitást az anyagszerkezet jellemző mennyiségeiből ki tudjuk számítani, míg ϵ_0 és μ_0 más mennyiségekre vissza nem vezethetők. Ezért idegenkednek a fizikusok $\epsilon_0 \neq 1$ és $\mu_0 \neq 1$ bevezetésétől. Példa erre egy test mozgásegyenletében a közeg belső súrlódási együtthatója. Ezt természete-

*A hozzászólás rövidített kivonata

sen a mozgó test és a közeg atomjai közt ható erőkkel magyarázzuk és számértékét ezen az alapon ki is tudjuk számítani. Ellenben egészen idegenszerű volna a vákuumban érvényes mozgásegyenletben esetleg fellépő állandót a »vákuum belső sűrűlási együtthatójának« nevezni, arról mint »közegállandóról« és nem mint univerzális állandóról beszélni.

A Giorgi-rendszer előnyös lehet a makroszkópikus elektrodinamikában, ha ott a mechanikával, az anyagszerkezettel, a relativitáselmélettel összefüggő kérdéseket nem érintünk. De ezt az előnyt — mint Sommerfeld is elismeri — más területeken, így az elméleti fizikában, atomfizikában fellépő bonyodalmak erősen lerontják. Ezért nem fogadható el fenntartás nélkül az előadónak az a véleménye, hogy a Giorgi-rendszer a fizikában — az egészet nézve — használhatóbb mint a Gauss-féle abszolút rendszer, sőt azt hiszem, hogy ennek az ellenkezője áll fenn.

RADVÁNYI LÁSZLÓ*

Ideológiai szempontból bírálni kell, hogy az előadó kidolgozott egy elméletet és azután csak összehangolásra igyekezett, áttekintést adott, de nem vont le következtetést. Politikai kérdésekben ezt opportunistusnak nevezik.

Az irodalom szempontjából természetesen nem kell könyvégetést rendeznünk egy új rendszer bevezetésekor. De a mérnök és a pedagógus után most a diák szemszögéből nézve is úgy látom, hogy a fizikát nem úgy kell felépítenünk, ahogy az történelmileg felépült. A hallgatónak nem kell ismernie régen megcáfolt dolgokat. Felső fokon sem helyes, hogy a hallgató újabb problémák elé kerül.

KORODI ALBERT

Amikor mértékrendszerekről ítéletet akarunk alkotni, abból kell kiindulnunk, hogy milyen célból van szükség a mértékegységek rendszerbefoglalására. Ha a fizikai mennyiségeknek egymástól függetlenül, külön-külön megválasztjuk az egységeit, akkor is számmal fejeztünk ki minden mennyiséget s így a természeti törvényeket egyenletek alakjában matematikailag meg tudjuk fogalmazni. Az egyenletekben szerepelnek az illető fizikai mennyiségek mérőszámai és bizonyos állandók. Az így felállított egyenletek minden gyakorlati célra használhatók, amint hogy a műszaki életben találkozunk is »rendszerbe« nem illesztett mértékegységekkel (pl. lóerő), amelyekkel — ha igen kényelmetlenül is — de hiba nélkül számolni lehet.

Mértékrendszer akkor válik szükségessé, amikor természeti törvények matematikai kifejezésére vonatkozóan felállítjuk az *invariancia* követelményét olyan értelemben, hogy bizonyos fizikai mennyiségek egységeinek változtatásakor valamely törvény matematikai kifejezése változatlan maradjon. Például Newton első törvényének esetében az invariancia-követelmény azt az előírást vonja maga után, hogy a hosszúságegységnek r -szeresére és az időegységnek q -szorosára való változtatásakor az erő egységet is meg kell változtatni $r^2 q^{-1}$ -szeresére. A mértékrendszerek dimenzióképletei nem mások, mint ilyen előírások és a dimenzióképleteknek ezen kívül semmi más fizikai tartalmuk nincs. Ha az előírásnak megfelelően járunk el, akkor nemcsak a Newton-törvény

* A hozzászólás rövidített kivonata.

$$P = K \cdot a \cdot m$$

képletének alakja, hanem a benne szereplő K állandó is invariáns marad. Ennél a törvénynél az invariancia követelményén kívül azt is elő szokták írni, hogy a K állandó értéke 1 legyen és ezzel már nemcsak az erőegység változtatási előírását szabják meg, hanem nagyságát is meghatározzák.

Felmerül a kérdés, lehet-e az előírásoknak olyan rendszerét felállítani, amely *valamennyi* természeti törvény matematikai kifejezését invariánssá teszi? Könnyen belátható, hogy ez nem lehetséges, még a mechanika területére sem, annál kevésbé az egész fizikára.

A törvények száma ugyanis olyan nagy, hogy az előírásokat »túlhatározza« vagyis ellentmondásokra vezet. Lássuk ezt az erő példáján. Erők sokféle vonat, közásban lépnek fel és ezek különféle törvényekben nyernek kifejezést. Az erő egységére Newton első törvénye alapján felállított fenti előírás például már nem engedi meg, hogy a gravitáció törvényének, vagy Hooke törvényének matematikai kifejezése a fent megadott értelmezésben invariáns maradjon.

Ezt a nehézséget olyan módon hidalják át, hogy az invariancia követelményét tágabb értelemben fogalmazzák meg. Megengedik, hogy a matematikai kifejezések változatlan alakja mellett a bennük szereplő állandók az egységek változtatásakor általában megváltozzanak, és csak egyes, kevésszámú természet-törvény esetében (mint pl. Newton első törvényénél) ragaszkodnak a szűkebb értelemben vett invarianciához. A mértékrendszer-elmélet feladata ezeknek a különleges törvényeknek és a szabadon választható egységeknek a kijelölése gyakorlati szempontok szerint és ellentmondásmentesen. További feladata az elméletnek: rendszerbe foglalni a nem szabadon választható egységeknek és az egyenletek állandóinak a változtatási előírásait, vagyis a dimenzió-képleteket.

A feladat nem egyértelmű, hanem sokféle megoldása lehetséges, még a mechanika területén is. Lehetne például az erő dimenzióját Newton első törvénye helyett a gravitáció törvényének az invarianciája alapján ($M^2 L^{-2}$) alakjában megállapítani. Így a gravitáció állandója nem függne a mértékegységektől, viszont a Newton első törvényében szereplő K állandó nem volna invariáns. Megint más dimenziót kellene az erőnek tulajdonítani, ha Hook törvényét választanók alapul. Ez esetben azonban a törvényben szereplő állandó az anyagtól is függene. Egyébként Newton első törvényét is gyakran úgy alkalmazzuk, hogy a térfogattal számolunk; ilyenkor a sűrűség lép fel, mint anyagtól függő állandó.

Összefoglalva: A mértékrendszer megválasztása attól függ, hogy mely természettörvények matematikai kifejezését kívánjuk szűkebb értelemben invariánssá tenni és melyekét tágabb értelemben, továbbá, hogy mely mértékegységeket kívánunk függetlenül megválasztani. A választásra maguk a természeti törvények adnak bizonyos korlátozásokat, melyeknek kikutatásából áll a mértékrendszer-elmélet alapvető feladata. Az általánosan alkalmazandó mértékrendszer felépítésénél a gyakorlati szempontokon kívül figyelembe kell vennünk a történelmi szempontokat is. A Giorgi—Kalantarov-féle rendszer ilyen tekintetben jó kompromisszumnak mutatkozik.

HENNYEY ZOLTÁN válasza

Urbanek professzor hozzászólásának első részében a történelmi vonatkozásokat foglalta össze. Előadásomnak ezért az értékes kiegészítéséért köszönetet

mondok. A második részben annak a véleményének adott kifejezést, hogy a *Giorgi*-rendszerre nézve túl kedvező álláspontot foglalok el. Ennek kapcsán szeretném kifejezni nézetemet.

Karapetoff paraméter-analízise lényegében úgy indul, hogy a homogén közegben ($\varepsilon = \text{konst.}$ és $\mu = \text{konst.}$) érvényes *Maxwell*-egyenletekben a következő arányossági tényezőket lépteti fel:

$$\text{rot } \bar{H} = k \left(\tau + \frac{\varepsilon}{n} \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \right)$$

és

$$\text{rot } \bar{E} = k \left(- \frac{\mu}{p} \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \right)$$

Ha történetesen a szóbanforgó közeg a vákuum, akkor ε és μ helyébe ε_0 és μ_0 lép. Ebben a homogén közegben az elektromágneses hullámok (v) terjedési sebességére a fenti egyenletekből a következő adódik.

$$kv = \sqrt{\frac{n \cdot p}{\varepsilon \cdot \mu}}$$

vagy speciálisan vákuumban, ha a itt a terjedési sebességet c -vel jelöljük:

$$kc = \sqrt{\frac{n \cdot p}{\varepsilon \mu_0}}$$

A vákuumban érvényes *Maxwell*-egyenletek *Karapetoff* felírásában öt együtthatást tartalmaznak; ezek k , ε_0 , μ_0 , n és p . Kivéve n -et és p -t, ezek a paraméterek (k , ε_0 és μ_0) — *Urbanek* professzor véleménye szerint — teljesen egyenértékűek egymással. Az egyenértékűség feltételezése alapján valóban az adódik ki, hogy a négydimenziós elektromos rendszerek és a háromdimenziósak közül önkénytől mentesen nem lehet választani. Meggondolásom éppen abból indult ki, hogy ezek a paraméterek *nem tekinthetők egymással egyenértékűnek*. A k arányossági tényező minden közegben ugyanaz a mennyiség, a *Gauss*-rendszerben $k = 4\pi/c$ a közeztől függetlenül, a nemracionalizált természetes rendszerekben $k = 4\pi$, a racionalizált természetes rendszerben pedig $k = 1$. Nem közeztől függetlenek viszont az ε és μ , ezek tehát közegjellemzők. Ezeket teljes értékű fizikai mennyiségnek tekinteni kézenfekvő; a k paramétert ugyanilyen alapon nyilván nem tekinthetjük teljes értékű fizikai mennyiségnek. Ebből következik, hogy a *Gauss*-rendszer nem tekinthető ugyanilyen alapon »természetesnek«, ha ez a jelző »kézenfekvőt, önkénytől menteset« jelent. A »természetes« jelzőt persze felhasználhatjuk annak a vélt előnynek a kidomborítására is, hogy $\varepsilon_0 = 1$ és $\mu_0 = 1$; ezzel a konvencióval természetesen a *Gauss*-rendszer is tekinthető »természetes«-nek.

Egyébként pedig *Urbanek* professzornak igen sok megjegyzése azon a félreértésen alapszik, aminek helytelen szóhasználatommal nyitottam lehetőséget. A »természetes törvényrendszer« terminológia helyett használtam a »*Giorgi*-rendszer« kifejezést is. A »*Giorgi*-rendszer« alatt pedig általában mértékrendszert — egységek rendszerét — értünk, és nem a mennyiségfelépítés módjára utaló »törvényrendszert«.

Természetes mértékrendszer nemcsak egy van: általában minden négydimenziós mértékrendszer természetesnek tekinthető. Egy ilyen rendszer például

a *Giorgi*-rendszer. A természetes mértékrendszerek közötti választás szempontjait — amelyek a *Giorgi*-rendszert tüntetik ki — *Urbanek* professzor világosan és tömören foglalta össze: ezekkel a szempontokkal teljes mértékben egyetértek.

Simonyi professzor felveti azt a kérdést, hogy vajjon a pedagógus szempontjából melyik rendszer érdemli meg a »természetes« jelzőt. A másik szempont pedig a makro- és mikrofizika kapcsolatainak szem előtt tartásával vizsgálja a mennyiségfelépítés kérdéseit. Ez a két szempont az általam felvetett kérdések olyan új nézőpontból való szemléletét jelentik, amelyre nagyon hasznos volt felhívni a figyelmet.

Azt az álláspontot, mely szerint az elektromos és mágneses mennyiségek felépítésénél pedagógiailag legkedvezőbb a mechanikai mennyiségekre való visszavezetés klasszikus útja, konzervatívnak tartom. Véleményem szerint a mennyiségfelépítésnek az az útja, melyet előadásomban vázoltam — tehát az ϵ és μ mennyiségek axiomatikus bevezetése — az oktatás legelső fokán is járható út.

A másik szempont szerint *Simonyi* professzor arra hívta fel a figyelmet, hogy a mikrofizikában az elektromos és mágneses terek leírásához elegendő \vec{E} -nek és \vec{H} -nak megadása, tehát ebből a szempontból »természetes« rendszer a *Gauss*-rendszer. Itt nézetem szerint terminológiai kérdéstről van szó, amit részletesebben *Urbanek* professzornak adott válaszomban már kifejtettem.

Egyébként pedig legyen szabad *Simonyi* professzor figyelmét *Bodea* 1949-ben megjelent könyvére felhívnom, melynek címe: »Giorgis rationales MKS-Mass-System mit Dimensionskohärenz«. Ebben a könyvben *Bodea* kimutatja, hogy milyen nagyjelentőségű és heurisztikus erejű az atomfizikában is bevezetni a négydimenziós rendszert, és ϵ_0 -át és μ_0 -át nem tiszta számnak tekinteni. Ez a mikrofizika egy nagyszerű tárgyalásmódjának veti meg alapját és többek között a vákuum szemléletét szükségszerűen megváltoztatja: a vákuum helyett az elvetett áther-fogalmat hozza vissza. Ebben a felfogásban a vákuum úgy szerepel a mikrofizikában, mint *szerkezettel bíró*, súlytalan, elektromosan és mágnesesen semleges anyag, melynek természetesen *közeg-jellemzői* vannak. Így *Bodea* a »kvantált áther« fogalmához jut, mely szerinte a mikrofizika sok látószólagos ellentmondására derít fényt.

Tarján kartárs véleménye szerint célkitűzésemet nem értem el és a mértékrendszeri problémákat előadásom nem tette áttekinthetővé. Lehetséges, hogy ebben igaza van. Azok az érvek viszont, melyekkel ezt a véleményt alátámasztotta, vitathatók.

1. A mértékrendszerek és a fogalomalkotás általam tárgyalt kérdései *tisztán formálisak*, és ezek mögött az ismeretelmélet »legsúlyosabb« kérdéseit keresni — misztikusnak tűnik előttem.

2. Kétségtelenül csak a $P = m \cdot a$ mozgásegyenletet vettem figyelembe. Az általános gravitáció törvényét nem kellett bevonnom a felvetett kérdések megvilágítására — ez csak zavarossá tette volna a képet. Felírhattam volna az általános gravitáció törvényét, amely a Coulomb-törvények mintája szerint racionalizált alakban:

$$P = \frac{m_1 m_2}{4\pi \gamma_0 r^2}$$

hol γ_0 a gravitációs állandó a vákuumban és hozzá tehettem volna a félreértések elkerülésére, hogy a γ_0 gravitációs állandó az egységválasztásoktól függő univer-

zális állandó, melyet a mechanika háromdimenziós jelzőrendszerének kétdimenziósra való csökkentésére választhatnák 1-nek. Ez teljes analógiája lenne az $\epsilon_0 = 1$, illetve a $\mu_0 = 1$ választásnak. Kiemelhettem volna még, hogy a mozgás-egyenletben szerepeltethető arányossági tényező és a gravitációs törvényben szereplő γ_0 állandó egymástól teljesen függetlenek, hiszen nem egy egyenlet két oldaláról van szó.

3. Ezután sorra veszi azokat a szempontokat, melyek szerint — nagyon helyesen — egy tudományos munkát mindig át kellett vizsgálni. Azonban ezek szerint a nagyon helyes szempontok szerint — maga az érvelés vitatható.

Formalizmusom egyik megnyilvánulása *Tarján* szerint az, hogy a helyzet nem olyan egyszerű, mint ahogyan beállítottam. Azt állítottam, hogy az elektromos és mágneses rendszerekben pl. az elektromos töltések nem egyenlő mennyiségek; csak akkor lennének azok, ha a fénysebesség a vákuumban 1-gyel lenne egyenlő. Ez a megállapításom szerinte azért nem helytálló, mert az átszámítási tényező nem egyszerűen egy tiszta szám, hiszen a két mennyiség dimenzióban is különbözik. Nem látom azt, hogy ez a megállapítás — melyet különben én is leszögeztem — miért lenne ellentmondásban azzal a kijelentéssel: »egyenlők lennének, ha a fénysebesség egyenlő lenne 1-gyel«. *Tarján* kartárs talán a fénysebességet tiszta szám-nak értelmezte, holott ez dimenziós mennyiség.

Az a megjegyzés, hogy kijelentéseim csak a klasszikus mechanikára igazak, nyilván arra vonatkozik, hogy a relativisztikus mechanikában új törvényrendszeri problémák léphetnek fel pl. a retardált gravitációs potenciál bevezetésével. Azt ugyan nem értem, hogy ez miért hozna be új mértékrendszeri, illetve törvényrendszeri problémákat, de ettől függetlenül — a problémák megvilágítására elegendő volt a klasszikus mechanikát elővennem.

A törvényrendszerek különbözőségét a történelmi fejlődés szinte szükségszerűen hozta magával — ezt elismerem. De nem látom be, hogy az álló töltések és a mozgó töltések mérésére különböző mértékrendszerek (értsd törvényrendszerek) lennének logikusak.

Az axiomatikus rendszer alapja nem közvetlen tapasztalat. Az axiomatikus rendszer a tapasztalattal persze összefüggésben van, de másként. Egy axiomatikus rendszer használhatóságát a belőle levont következtetések tapasztalattal való egyezése biztosítja.

Tarján kartárs véleménye az, hogy a második *Newton*-törvényt módosítottam. *Newton* így fogalmazta törvényét:

»Lex II. Mutationem motus proportionalem esse vi motrici impressae, et fieri secundum lineam rectam qua vis illa imprimitur«.

(*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* II. kötet 14. oldal).

vagy betűkben:

$$\frac{d}{dt}(m\bar{v}) = m\bar{a} = c \cdot \bar{P}$$

tehát az arányossági tényező, mely nyilván az egységválasztástól függ: az eredeti newtoni fogalmazásban is szerepel. Ez a c egyébként fizikai körülményektől nem függhet.

Tarján kartárs véleménye szerint viszont olyan állandó nem existálhat, mely fizikai körülményektől nem függ; ebben az esetben ugyanis nem lehetne mérni. Itt félreértésről lehet szó, hiszen a fénysebesség a vákuumban a fizika szerint egy univerzális — tehát fizikai körülménytől független — állandó és mégis meg tudták mérni.

A tehetetlen és súlycs tömegek megkülönböztetésének szükségességét nem látom be. Eötvös ugyanis — és ezt *Tarján* kartárs idézi — kimutatta, hogy e kettő egymással egyenlő: miért kell hát mégis megkülönböztetni őket?

Tarján kartárs véleménye szerint a mozgásegyenlet és a gravitációs törvény szorcsan összetartoznak és a kettő közül az egyikben — és csakis az egyikben — feltétlenül kell egy állandót szerepeltetni. Amint ezt már kifejtettem válaszom első részében, ez a két reláció egymástól teljesen függetlenül kezelhető, és így teljesen függetlenül szerepeltethető arányossági tényező mindkét egyenletben, csak az egyikben, vagy egyikben sem. Ha mindkét egyenletben szerepeltetünk arányossági tényezőt, akkor négydimenziós jelzőrendszerre jutunk; ha csak az egyikben, akkor a jelzőrendszer háromdimenziós lesz: ha pedig egyikben sem, akkor jelzőrendszerünk kétdimenzióssá válik.

Tarján kartárs figyelmét elkerülte az, hogy mit neveztem alapfogalomnak és alapmennyiségnek. Azt állítottam, hogy a mechanika fogalmai négy alapfogalomra építhetők fel és ennek következtében négy alapmennyiségre lenne szükség, ha Newton törvényét definíciós törvénynek *nem használnánk fel*. Ha felhasználjuk, akkor a mechanikában csak három alapmennyiség marad — de ez ugyanúgy lehet a hossz-dő-tömeg hármass, mint a hossz-idő-erő hármass. (Ez éppen a technikai mértékrendszer választása.)

Hoffmann kartárs — az Eötvös Lóránd Fizikai Társulat nevében — annak a véleményének adott kifejezést, hogy alsó oktatásra csak a CGS-rendszer (a *Gauss*-rendszer) alkalmas. Hogy valóban alkalmasabbnak látszik, az annak következménye, hogy a klasszikus rendszerek — és így a *Gauss*-rendszer is — az elektromos és mágneses fogalmakat mechanikusra igyekeznek visszavezetni. Erről a kérdéssel nézetemet *Simonyi* professzornak adott válaszomban fejtettem ki.

A kg-súlyra vonatkozó megjegyzését fontosnak tartom: nem tartom azonban szerencsésnek a »kg-súly« elnevezés megtartására* vonatkozó javaslatot. Véleményem szerint szerencsésebb *Bodea* javaslata, és a kg-súly elnevezés helyett konzekvensen a »kilopond« nevet és a »kp« jelölést kellene használni.

További megjegyzéseiben azt a véleményét juttatta kifejezésre, hogy az alapegységek száma a fizika fejlődésétől függ és így nem rögzíthető. Ez természetesen így van: ha a fizika egyes részei túlhaladottá válnak, akkor a belépő új elmélet esetleg új törvényrendszeri megfontolásokat tesz szükségessé. Ezt azonban nem látom túl valószínűnek.

Gyulay professzor megjegyzéseivel egyetértek és ezekhez hozzátenni való nincs.

Marx kartárs véleménye szerint a természetes törvényrendszerben felírt *Maxwell*-egyenletekből a *c* fénysebesség csak látszólagosan tűnik el, mert megmarad egy csomó fizikai törvényben. A természetes rendszereknek nem is lehet célja ilyen értelemben a *c* eltüntetése, csupán azt kívánják elérni, hogy a *c* fénysebesség eltűnjék mindazokról a helyekről, ahol nincs fizikai értelme — ahol van, ott szükségszerűen szerepelnie kell.

További megjegyzéseiben az ϵ_0 -át és μ_0 -át univerzális állandóknak nevezi, melyeket pl. a *Giorgi*-rendszer bevezet. *Giorgi* a *c*-t kidobja ugyan, de helyette visszajön ϵ_0 és μ_0 . Itt megegyezően hangsúlyozom, hogy a természetes rendszerek nem ϵ_0 -át és μ_0 -át vezetik be, hanem ϵ -t és μ -t, *egy közeg két jellemzőjét*. A vákuum — mint ezt *Simonyi* professzornak adott válaszomban kifejtettem — atomfizikai szempontból közegnek tekinthető, melynek jellemzői — ϵ_0 és μ_0 — tehát nem tekinthetők univerzális állandóknak. Ha egyes dielektrikumokban

Iefolyó jelenségek leírásánál szükségképpen fellép a dielektrikum ϵ állandója mellett a vákuum ϵ_0 állandója is, úgy ebből az következik, hogy itt *mint közeg* a vákuum is fizikai szerepet játszik.

Megemlíti, hogy a fizikusok azért idegenkednek $\epsilon_0 \neq 1$ és $\mu_0 \neq 1$ bevezetésétől, mert ezek más mennyiségre vissza nem vezethetők. Vajjon a mechanikában nem éppen ilyen esetben kellett axiomatikusan alaplmennyiséget bevezetni? Ebből a megállapításból éppen az ellenkező konklúzió indokolt: ϵ_0 és μ_0 nem vezethető vissza más mennyiségekre, tehát önálló alaplmennyiségként kell az egyiket bevezetni (a másik már a terjedési törvényen keresztül erre visszavezethető). Itt jelenkezik éppen a negyedik dimenzió bevezetésének szükségessége.

Egyébként pedig a precizitás kedvéért megjegyzem, hogy mindazokon a helyeken, ahol a c fénysebessége fizikai tartalom nélkül szerepel, ott szigorúan véve nem is a fénysebesség az arányossági tényező, hanem :

$$c = v_0 \sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$$

Ha a vákuum ϵ_0 és μ_0 paramétereit 1-nek választjuk, akkor a c vákuumbeli fénysebességre *redukálódik* — tehát az előadás terminológiáját használva, csupán *feltételesen egyenlő vele*.

Utolsó megjegyzése arra vonatkozott, hogy a *Giorgi*-rendszer előnyös lehet a makrofizikában, de ezeket az előnyöket a mikrofizikában nagyrészt elveszti. Ha a *Giorgi*-rendszer alatt egységrendszert értett, akkor igaza volt; ezek a makrofizikai egységek nyilván kényelmetlenek az atomfizikában. De ha négydimenziós természetes rendszerre gondolt — és előadásomban én erre gondoltam — akkor nézetét nem oszthatom.

Simonyi professzornak adott válaszomban kitértem a négydimenziós atomfizikai rendszer jelentőségére és itt újra csak *Bodea* könyvére hivatnom fel *Marx* kartárs figyelmét.

Radványi László megjegyzései túl radikálisak. Alsó fokon taníthatunk egy rendszert, de felső fokon az összes rendszereket meg kell tanulni.

Korodi kartárs hozzászólásával kapcsolatban elsősorban azt kívánom megjegyezni, hogy az nem kapcsolódik szorosan az előadás témájához. Az előadás mennyiségfelépítési problémákkal foglalkozott, melyeket »törvényrendszeri« problémáknak neveztem. A hozzászólás pedig egységválasztási és dimenzióelméleti megjegyzéseket tartalmaz. Ezekkel kapcsolatban az alábbi megjegyzéseket kívánom tenni.

A mértékrendszer-elmélet feladatának egyrészt az alaptörvények és alaplmennyiségek kijelölését látja, másrészt a származtatott mennyiségek rendszerbe foglalását. Hozzáteszi, hogy a feladat nem egyértelmű és így sok megoldása van. Valóban nagyon sok megoldása van e feladatnak, de hozzáteszem, hogy csak *egy természetes*. Az általa felhozott példánál, az erő fogalmánál maradvá: nem jutnánk természetes erőfogalomra, ha azt az általános gravitáció állandójának eliminálásával építenők fel. (Ez ugyanis nem törvényállandó, hanem a vákuumnak ugyanolyan jellemzője, mint ϵ_0 és μ_0). Az pedig, hogy a *Hooke*-törvény állandójának eliminálása még inkább önkényes lenne, világossá válik, ha arra gondolunk: így nem is egy kítüntetett közegnek — a vákuumnak — egy állandóját eliminálnánk, hanem *valamilyen anyagét*, melynek kítüntetése természetellenes lenne. Ezzel szemben *Newton* mozgástörvényének állandóját eliminálni kézenfekvő és természetes gondolat, s így az erő fogalomnak is *természetes felépítéséhez jutunk*.

TARTALOMJEGYZÉK

a) ENERGETIKA

<i>Kovács K. Pál</i> lev. tag: A földvezetékes energiaszolgáltatási rendszer	1
Hozzászólások: Ignác Pál	47
Eisler János	59
Pázmándy László	62
Kaiser József	65
Gányi Zoltán	69
Jedovszky Jenő	71
Vigváry László	74
Pauspertl — Lénárd	78
<i>Forgó László</i> : Az apróbordás hőkicserélő rendszer elméleti alapjai	79
Hozzászólások: Gruber József	112
Koncz István	114
Lévai András	116
Fonó Albert	117
Weltzl Károly	117

b) HIRADÁSTECHNIKA

<i>Istvánffy Edvin</i> : Porvasmagok előállításának időszerű kérdései	119
Hozzászólások: Dénes Péter	132
Peres Tibor	135
Lengyel Béla	137
Pomikacsek Leó	137
<i>Szigeti György</i> : Félvezető anyagoknak a híradás- és fénytechnika szempontjából érdekes tulajdonságai	139
Hozzászólások: Bodó Zalán	151
Hoffmann Tibor	156
Somos István	156
Boros János	158
Valkó Iván Péter	159
Szigeti György válasza	160
<i>Hennyey Zoltán</i> : Mértékrendszerek	161
Hozzászólások: Urbanek János	184
Simonyi Károly	187
Tarján Rezső	188
Hoffmann Tibor	192
Gyulai Zoltán	193
Marx György	193
Radványi László	194
Korodi Albert	194
Hennyey Zoltán válasza	195



Ára: 24.— Ft

Akadémiai Kiadó (Budapest, V., Alkotmány-u. 21.) Felelős: Mestyán János

Akadémiai nyomda, Gerléczy-utca 2. — 16985/52 — Felelős vezető: ifj. Puskás Ferenc