

A MAGYAR  
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
GELEJI SÁNDOR

XXV. KÖTET

1—4. SZÁM



1960

VI. OSZT. KÖZL.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
GELEJI SÁNDOR

XXV. KÖTET 1—4. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST V. NÁDOR UTCA 7.  
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.

A kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia  
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei  
Budapest V. Nádor utca 7.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

Megjelent munkájáért minden szerzőt száz különnyomat illet meg. 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 40 forint, külföldi címre 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest V. Alkotmány u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámúszám: 05-915-111-46), külföldi megrendelések a „Kultúra” Könyv és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest VI. Népköztársaság útja 21., Magyar Nemzeti Bank egyszámúszám: 43-790-057-181) útján eszközölhetők.

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának kiadványa az

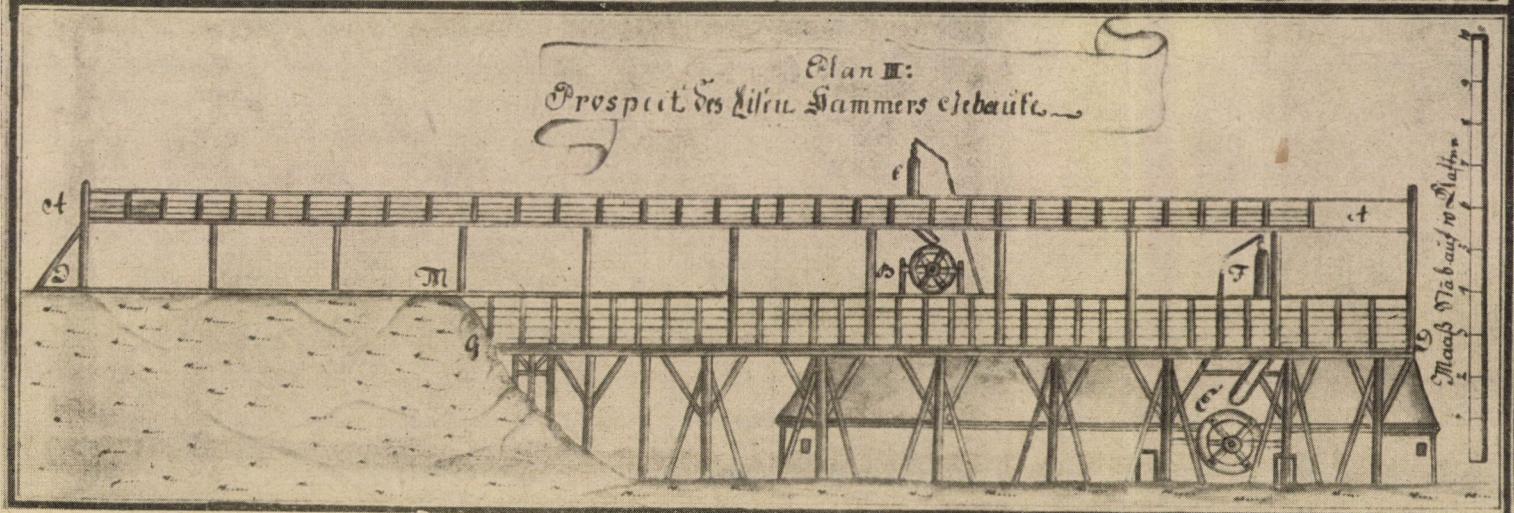
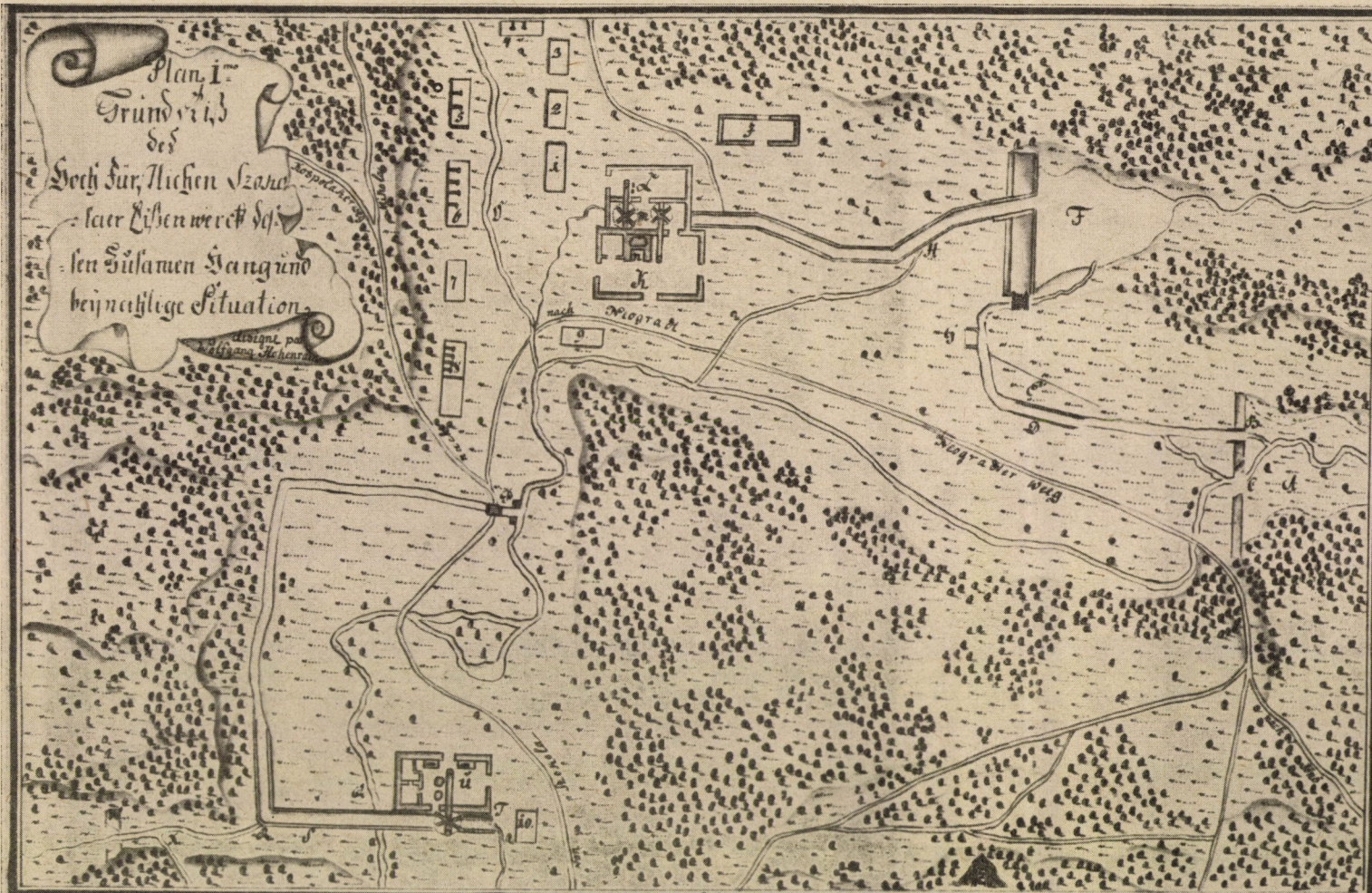
**Acta Technica**

című idegen nyelvű folyóirat.

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

Acta Technica szerkesztősége, Budapest V. Nádor utca 7.









A MAGYAR  
TUDOMÁNYOS AKADÉMIA  
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK  
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI  
GELEJI SÁNDOR

XXV. KÖTET



1960

VI. OSZT. KÖZL.





# A KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNY, A KÖZLEKEDÉSPOLITIKA ÉS A GYAKORLATI KÖZLEKEDÉS ÖSSZEFÜGGÉSEI A SZOCIALISTA ÉS A TÓKÉS TÁRSADALMI-GAZDASÁGI RENDSZERBEN\*

CSANÁDI GYÖRGY

LEV. TAG

Hazánkban a felszabadulás óta eltelt mintegy másfél évtized alatt a közlekedés problémái több ízben kerültek az érdeklődés homlokterébe. Először közvetlenül a második világháború befejezése után, amikor az ország gazdasági vérkeringésének helyreállítása, a forgalom megindítása elemi erejű követelményként jelentkezett, és így a párt és a kormányzat első számú újjáépítési programpontjaként szerepelt. Ezt követően a szocializmus építésének megkezdésével, az első öt éves terv nagyszabású célkitűzései kapcsán kapott kiemelkedő jelentőséget a közlekedés, minthogy az országban a szállítási feladatok a háború előttinek a többszörösére növekedtek; ebben a helyzetben a szállítóeszközök, a közlekedési ágazatok szükséges teljesítőképességének biztosításán, ezzel kapcsolatban a belső tartalékok feltárásán, a fejlettebb üzemi munkamódszerek meghonosításán volt a hangsúly, amelyek segítségével a közlekedés, elsősorban a vasút kapacitása a megvalósult beruházásoknál sokkal nagyobb arányban volt növelhető. Ez a két szakasz: az újjáépítés és a rohamosan növekvő szállítások lebonyolításának biztosítása, olyan időszak volt a magyar közlekedés újabb fejlődésének, amelyben a fokozott gazdaságosságra való törekvés, a korszerűsítés, a közlekedéstechnika világszerte bekövetkezett rohamos fejlődése eredményeinek hazai hasznosítása, a közlekedési ágazatok komplex távlati fejlesztése, feladatainak a fejlődés diktálta elvek szerinti újabb megállapítása és munkájuk tudományos elveken alapuló koordinációja még nem juthatott elég nagy jelentőséghez. Csak a legutóbbi években — nem kis részben éppen a hazai közlekedéstudomány felfejlődése nyomán — kerültek ezek a problémák oly mértékben felszínre, hogy ma új közlekedéspolitikai irányok kibontakozásáról beszélhetünk.

A felszabadulás utáni fejlődés e harmadik szakaszában — éppen az e téren elért eredmények természetes velejárójaként — vetődtek fel olyan elméleti problémák és viták, amelyek a közlekedéstudomány jellegével és szerepével, a többi tudományokhoz való viszonyával, az önálló közlekedéspolitika fogalmával, a szocialista viszonyok közötti létjogosultságával és

\* A Magyar Tudományos Akadémián 1959. június hó 5-én tartott székfoglaló előadás.

tartalmával, valamint a közlekedéstudomány, a közlekedéspolitika és a gyakorlati közlekedés viszonyával kapcsolatosak. Ezek a kérdések az első pillanatra túlságosan elvontaknak, egyesek szemében talán a gyakorlati közlekedési feladatoktól nagyon is messzeállóknak tűnnek. Ha meggondoljuk azonban, hogy ma, a XX. század közepén a közlekedés új, forradalmi korszakát éli, amikor hazánkban is évszázados történelmi örökséget kell ezen a téren felszámolnunk, és új utakon elindulnunk, amivel hosszú időre kijelöljük a magyar közlekedés jövő fejlődését, akkor nyilvánvaló, hogy ezek az elméleti problémák alapvető fontosságúakká nőnek számunkra. Hogy elismerjük-e egy önálló közlekedéstudomány létezését, és megteremtjük-e a további lendületes fejlődésének hazai feltételeit, hogy a közlekedés irányításában, a közlekedéspolitikában támaszkodunk-e erre a közlekedéstudományra, és végül, hogy a közlekedés mindennapi gyakorlati munkája kap-e széles, tudományos alapokon nyugvó, nagyszabású közlekedéspolitikai koncepción alapuló perspektívát — ez vitathatatlanul élő és döntő problémája ma a magyar közlekedésnek, sőt — talán túlzás nélkül mondhatjuk — az egész népgazdaságnak. Ez az oka annak, hogy székfoglaló előadásom témájául a *közlekedéstudomány, a közlekedéspolitika és a gyakorlati közlekedés összefüggéseinek* kifejtését választottam.

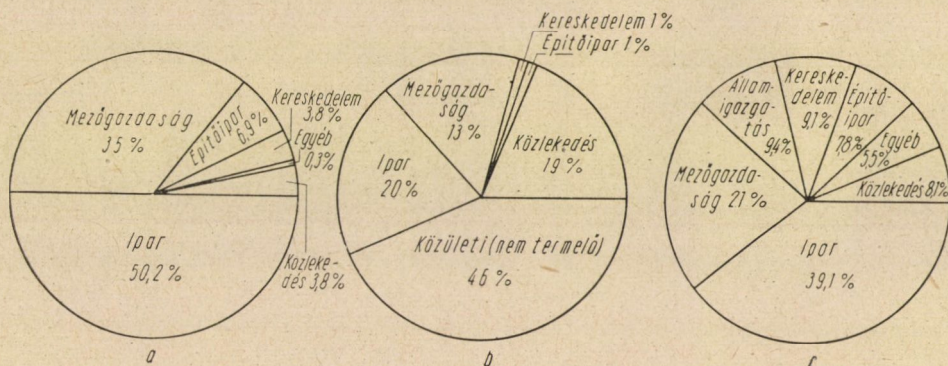
A közlekedést, a szállítást némelykor még ma is úgy kezelik, mint valami „szükséges rosszat”, ami ugyan nem nélkülözhető, de alapjában improduktív tevékenység, minthogy nem termel új, kézzelfogható termékeket, közvetlenül nem növeli a társadalom rendelkezésére álló javak mennyiségét. E tekintetben egyesek talán csak a személyszállítás terén hajlandók némi engedelményre, különösen, ha saját utazási kényelmük tekintetében is érintve vannak. A közlekedés egészét, annak fejlesztési igényeit tekintve azonban szívesen hivatkoznak MARX közismert megállapítására, hogy ti. a kapitalizmusban — minthogy a termékek egyre nagyobb része válik áruvá, és azokat egyre távolabbi piacokra viszik — növekszik a szállításra eső társadalmi munkaráfordítás részaránya, és ebből olyan következtetést vonnak le, hogy a szocialista gazdaságban a fordított jelenségnek kell megmutatkoznia, nevezetesen : a szállításokra fordított társadalmi munka részarányának csökkennie kell. *A minimális társadalmi munkaráfordítás szemlélete* azután olyan következményekhez vezethet, amelyek a közlekedés fejlesztésének szűklátókörű megítélésében, a közlekedés népgazdasági arányainak eltorzulásában és minőségi színvonalának romlásában, végső soron abban mutatkozhatnak meg, hogy a közlekedés nem elősegítőjévé, hanem fékjévé válik a népgazdaság általános előrehaladásának.

Kétségtelen, hogy ebben a felfogásban van bizonyos igazság. A fokozott ütemű iparosítás mellett a közlekedésre fordított társadalmi munka részaránya valóban bizonyos fokig csökkenhet. Az sem vitás, hogy a szocialista népgazdaságban — éppen a tervgazdálkodás lehetőségeinek felhasználásával — sokkal ésszerűbben lehet a szállításokat megszervezni, mint tőkés körülmé-



nyek közt, és hogy ez jelentős volumenű, úgynevezett ésszerűtlen szállítások kiküszöbölését teszi lehetővé, ami a közlekedési szükséglet relatív csökkenésében is kifejezésre jut.

Súlyos hiba lenne azonban a népgazdaság valamennyi területén kötelező messzemenő takarékoságon túlmenően a közlekedést olyan ágazatként kezelni, ahol a minimális társadalmi munkaráfordítás az egyetlen és kizárólagos alapelv. Egyáltalán: hibás minden olyan szemlélet, amely a közlekedést a népgazdaság egészéből kiszakítva kívánja értékelni. Éppen MARX — akire az előbb vázolt nézetek hívei hivatkoznak — volt az, akinek ismert klasszikus megállapításai feltárták a közlekedés valódi, sokrétű funkcióját a gazdasági életben. Az a megállapítás, hogy a közlekedés — a bányászat, a feldolgozóipar és a mezőgazdaság mellett — a termelés negyedik ága, és hogy a közlekedés tulajdonképpen a termelés, illetőleg az újratermelés folytatása a forgalom szférájában, továbbá, hogy a közlekedés éppúgy értéktermelő folyamat, mint a termelés többi területein a kézzelfogható termékeket létrehozó munkafolyamatok, — ma a szocialista társadalmi-gazdasági viszonyok közt is teljes mértékben érvényes, minthogy a közlekedésnek ez az alapvető szerepe nem függ a társadalmi rendszertől. MARX tanításait a szocialista építés gyakorlata is igazolta, elsősorban a Szovjetunióban: LENIN számos megnyilatkozása a közlekedésnek a szocialista népgazdaság építésében betöltött alapvető szerepét emeli ki.

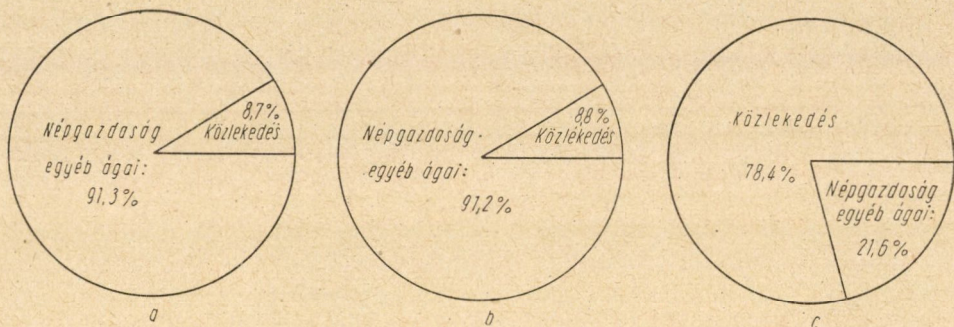


1. ábra

Ha a közlekedést mint népgazdasági ágazatot önmagában vizsgáljuk, akkor azt találjuk, hogy hazánkban — az 1956. évi adatok alapján — a szállítások lebonyolítása 10,4 milliárd forint ráfordítást kívánt évente, amiből csak az áruszállítás — értéknövelő hatása folytán — a nemzeti jövedelemnek 3,8%-át szolgáltatotta, — miként az az 1. ábra első körgrafikonján látható. Igen tekintélyes számokat kapunk, ha a közlekedés állóalapjainak arányát



nézzük a nemzeti vagyóban, az 1. ábra második körgrafikonja szerint: a közlekedési állóalapot értéke 37,8 milliárd forint volt, ami a népgazdaság összes állóalapjainak 19%-a. Hasonlóan rámutatnak a közlekedés népgazdasági súlyára azok a számok is, amelyek az ország népességének a közlekedésben foglalkoztatott hányadát tüntetik fel: mint az 1. ábra harmadik körgrafikonja tanúsítja, az összes foglalkoztatottak között a közlekedési dolgozók 8,1%-kal szerepelnek. A 2. ábrán a magyar közlekedés 1957. évi részesedését mutatom be egyes főbb anyagfajták fogyasztásában, amiből kitűnik, hogy a népgazdaság rendelkezésére álló szénből 8,7%-ot, a hengerelt acélból 8,8%-ot, az építési kőanyagból 78,4%-ot a közlekedés használt fel.



2. ábra

Ezek és a különböző országokra vonatkozó hasonló adatok azonban korántsem fejezik ki a közlekedés valódi súlyát a társadalmi-gazdasági életben. Éppen amiatt, mert a közlekedés a termelési, illetőleg az újratermelési folyamat szerves része, annak folytatója a forgalom szférájában, a közlekedés igazi gazdasági jelentősége csak a bányászat, az ipar és a mezőgazdaság termelési számaival és a termelőerők földrajzi elhelyezkedésével szoros összefüggésben értékelhető. Ebből az is nyilvánvaló, hogy a közlekedés fejlesztésének nem valami előre meghatározott, merev arány szerint kell alakulnia, még kevésbé a közlekedésnek a népgazdaságban már elért ilyen vagy olyan arányszámából kell következnie, hanem a népgazdaság egésze részéről támasztott indokolt közlekedési szükségletek maradéktalan kielégítését kell biztosítani, ami az egymást követő népgazdasági tervidőszakokban más és más arányokban jelentkezhetik.

A népgazdaság minimális közlekedési ráfordításának elvét tehát határozottan el kell vetnünk, és helyette a közlekedés vonatkozásában is csak az össztársadalmi munkaráfordítás maximális megtakarításának elvét fogadhatjuk el. Ez azt jelenti, hogy nem kiszakítottan, csak a közlekedés ráfordításait kell nézünk, hanem a termelés és a közlekedés együttes minimális ráfordítását kell megvalósítanunk, amiből az is következik, hogy adott esetekben a szállítási

ráfördítések aránya esetleg növekedhetik is, ha egyébként az ilyen szállítás-igényes variánsok adják az összes népgazdasági ráfordítások minimumát.

Mindezekon túlmenően azonban a *jól funkcionáló közlekedési rendszer hatékonysága nem merül ki a termelési számokban és a kimutatható megtakarításokban*. A közlekedés mint az újratermelési folyamat szerves része, feltárója lehet új és új területeknek, kezdeményezője és elindítója lehet új termelési ágazatok, üzemek létesítésének, ezen keresztül a civilizáció és a kultúra terjesztésének, kiszélesítésének, amire napjainkban talán éppen a Szovjetunió népgazdasága mutatja a legjobb példát, főként a szibériai területek gazdasági feltárásával, de amire — persze jóval kisebb dimenziókban — még a sűrűbb közlekedési hálózattal rendelkező országokban, így hazánkban is széles lehetőség van. Ezenfelül a közlekedés intenzitásának és színvonalának növelése még a legkulturáltabb területeken is serkenti a további fejlődést, meggyorsítja a társadalmi tevékenység ritmusát, emeli az életszínvonalat, fejleszti a nemzetközi kapcsolatokat és a külkereskedelmet, erősíti az ország honvédelmét.

A közlekedés számszerűen értékelhető és számokban nem kifejezhető gazdasági és társadalmi jelentősége indokolja elsősorban, hogy az általános emberi haladás során, a technikának és a tudományoknak főleg az eltelt évszázad alatt bekövetkezett óriási fejlődése nyomán új tudomány alakult ki, amelyet ma *közlekedéstudománynak* nevezünk. Ez a tudomány — noha egyes elemeit tekintve igen régi —, abban a szintetizált, komplex formájában, ahogyan egyre inkább műveljük, és ahogyan a gyakorlatnak szüksége van rá, új hajtása az egyetemes emberi tudománynak. Egyes diszciplínáit illetően igen szerteágazó, a régi, klasszikus tudományok igen sok ágával kapcsolatot, sőt genetikai rokonságot mutató tudomány, amely ebben a vonatkozásában is egyre jobban tükrözi a valóságot, nevezetesen: a közlekedés és a társadalmi-gazdasági élet sokrétű, bonyolult kapcsolatait. Fő karaktere azonban műszaki-gazdasági, lévén a komplex közlekedéstudomány főként e két tudománycsoport differenciálódásának egyik, a tudományos fejlődés mai szakaszára nagyon jellemző eredménye.

A közlekedéstudomány eddigi sorsa és fejlődése nagyon sok rokonságot mutat más, olyan új tudományok sorsával és fejlődésével, amelyeket a tudomány és a gyakorlat új szükségletei hívtak létre, a régebbi tudományok határterületein, két vagy több tudomány összeműködésének eredményeként. Ez a közös sors — többek között — ezeknek az új tudományoknak elismertetése, a velük kapcsolatban megmutatkozó nézetek tekintetében is fennáll.

Mindaddig, amíg a közlekedés tudományos témái a régi, klasszikus tudományok, főként a közgazdaságtan keretében kaptak egyre több helyet, továbbá a technikában szélesült a területük, tudományos, de legalábbis felsőoktatási szintű elismertetésük nem okozott komolyabb problémákat; ezek a tudományos elemek szinte észrevétlenül fejlődtek, és erősödtek.



A tudományos elismertetés kérdése akkor vetődött fel alapvetően, amikor a gyakorlat igényei nyomán, az általuk meghatározott mértékben és területeken megindult a közlekedésre vonatkozó tudományos elemek önállósulása, majd integrálódása egy új, önálló alkalmazott tudományban: a *komplex közlekedéstudományban*. Sajátságos, hogy a közlekedés tudományos témái közül nem egynek a tudományos színvonalát mindaddig nem vitatták, amíg az pl. a polgári közgazdaságtan egyik fejezeteként jelentkezett. Ugyanez a téma később, mint az egységes közlekedéstudomány témája, bíráló megjegyzéseket váltott ki, és kételyeket támasztottak vele szemben tudományos súlya, vagy egyáltalán: tudománymivolta tekintetében. Ugyanez számos közlekedéstechnikai témáról is elmondható. Még inkább jelentkezett azután a tudományos opposzició azzal a gondolattal szemben, hogy ez a tudományág a maga termelési tárgya: a közlekedés szempontjai szerint kerüljön kialakításra és művelésre, függetlenül attól, hogy egyes tudományos elemei mely alap- vagy elméleti tudományok talaján fejlődtek ki. Egyesek ebben feloldhatatlan ellentétet látnak, a régi tudomány-kategóriák megóvása és kiszélesítése, a praktikus és tudományos ismeretek egyébként szükséges megkülönböztetése tekintetében.

Ám a *közlekedéstudomány fejlődése* rácsófol ezekre a kétkedésekre. Abból, hogy a műszaki és gazdasági tudományok szoros kapcsolatba kerültek a komplex közlekedéstudományban, olyan új eredmények születtek, amelyek napjaink legégetőbb közlekedési kérdéseiben adnak egyre megbízhatóbb, korábban nem is remélt egzakt válaszokat. Az a körülmény pl., hogy a közlekedésgazdaságtan témái közel kerültek a műszaki tudományokhoz, hatalmas fejlődést indított el a közlekedés gazdasági problémáinak matematikai megoldásában, szoros kapcsolatban a közlekedéstechnika alapjaival. De a közlekedéstechnika is sokat nyert a közgazdaságtannal való szorosabb kapcsolatából: egyre inkább megszűnik a műszaki öncélúság egyoldalú és lényegében meddő szemlélete, a közlekedési mérnöki alkotások, a járműkonstrukciók mindjobban a gazdasági, társadalmi célok kiszolgálói.

Az a további tény pedig, hogy a komplex közlekedéstudomány mint alkalmazott tudomány, közvetlenül a maga termelési tárgyát: a közlekedést szolgálja és ennek révén számos olyan jelenségre terjesztette ki a tudományos kutatást, a megfigyelést és a kísérletezést, amelyet korábban erre nem tekintettek alkalmasnak és méltónak, a közlekedéstudomány területének rohamos kiszélesedésére vezetett, ami ennek a tudománynak egyáltalán nem ártott, viszont a gyakorlatnak hatalmas hasznára van. Mindezek a jelenségek egyre jobban megmutatkoznak a felsőoktatásban, a káderek kiképzésében, az új-típusú, a közlekedés problémáival komplex módon foglalkozni képes szakemberek fejlődésében.

Napjainkban már igen sok országban — elsősorban a szocialista országokban — nem is az a kérdés, hogy a közlekedés egyes témái alkalmasak-e

a tudományos művelésre, sőt az a gondolat is egyre nagyobb mértékben győz, hogy létezik önálló közlekedéstudomány; ma a vita — így nálunk is, ahol a közlekedéstudomány kifejlesztésében a legutolsó 6—7 évben igen jelentős eredményeket értünk el — már inkább e tudomány hovatarozandósága, más tudományokhoz való viszonya és egyáltalán: *tudományrendszertani kezelése*, belső felosztása és kapcsolatai tekintetében áll fenn.

Ez alkalommal nem céлом, hogy a közlekedéstudomány rendszertani problémáival részletesebben foglalkozzam, hiszen ez egy külön terjedelmes előadást kívánna. Itt csak utalok arra, hogy az Akadémia Műszaki Tudományok Osztálya keretében működő *Közlekedéstudományi Főbizottság* már évekkel ezelőtt felismerte a rendszertani problémák megoldásának fontosságát és nagy jelentőségét a tudományszervezés gyakorlatában, ezért céltudatosan törekedett problémáit ezen a területen is tisztázni. Ebben a munkában felhasználtuk és értékesítettük a nemrég elhunyt FOGARASI BÉLA akadémikus ismeretelméleti munkásságának fontos eredményeit is. Noha nem állíthatjuk, hogy sikerült volna minden tekintetben kielégítő és főleg a fennálló vitás kérdéseket egyértelműen eldöntő rendszerezést kialakítanunk, úgy vélem, hogy a lényeges kérdéseket illetően: a közlekedéstudomány tárgyára, feladataira, szerepére vonatkozóan sikerült olyan irányelveket kijelölni, amelyek összhangban vannak a tudomány sajátos és a népgazdaság egyetemes érdekeivel. A legutóbbi évek hazai és külföldi fejlődése sok tekintetben erősítette és alátámasztotta azokat a nézeteket, amelyeket a komplex közlekedéstudományról vallunk.

Úgy vélem, hogy a közlekedéstudományban mutatkozó fejlődés e tekintetben nem egyedülálló, és hasonló jelenségek észlelhetők általában a műszaki tudományok és a gazdasági tudományok relációjában, ami szükségessé teszi e két nagy tudományágazat viszonyának felülvizsgálását, a rendszertani problémáknak széles területeken való tisztázását is.

Az a körülmény, hogy a közlekedéstudomány egyre jobban polgárjogot kap tudományos életünkben, és főleg hogy a gyakorlati közlekedés bonyolult problémáinak megoldásában szükségképpen egyre nagyobb mértékben a tudományos kutató munkától kell a válaszokat várni, — elsősorban az olyan alapvető kérdésekben, mint a közlekedési ágazatok komplex fejlesztése, az egyre differenciáltabban jelentkező közlekedési szükségletek kielégítésére az ugyancsak egyre nagyobb változatosságban rendelkezésünkre álló technikai eszközök mikénti felhasználása, a közlekedési ágazatok koordinációja, a nagyvárosi közlekedés nem egy helyen csóddal fenyegető közlekedési nehézségeinek megoldása stb. — felvet egy másik fontos problémát, mégpedig a *közlekedéspolitika* problémáját.

Ezt a problémát röviden a következő kérdésekben lehetne összegezni: Mi a közlekedéspolitika fogalma és tartalma: tudomány-e az, vagy gyakorlati tevékenység? Ha a közlekedéspolitika nem tudomány, hogyan viszonyul

az új, komplex közlekedéstudományhoz? Van-e létjogosultsága annak, hogy a szocialista tervgazdálkodás viszonyai közt önálló közlekedéspolitikáról beszéljünk, és ha igen, mi a döntő különbség a tőkés és a szocialista közlekedéspolitikák között? Engedjék meg, hogy a következőkben ezekkel a kérdésekkel kissé részletesebben foglalkozzam.

A „közlekedéspolitiká” kifejezést nálunk, a tőkés viszonyok között kétféle értelemben is széleskörűen használták.

Az egyik értelme e szónak a közösségi, *állami vezetés* sajátos területének felelt meg, csakúgy, mint az „iparpolitika”, az „agrárpolitika”, — vagy akár a sokkal szélesebb körű „gazdaságpolitika” kifejezés. Lényegében tehát a közlekedésügy állami irányításának, befolyásolásának tevékenységét foglalták össze ebben a szóban, s ilyen értelemben a közlekedéspolitiká magas színvonalú, nagy fontosságú, de lényegében gyakorlati tevékenységet jelentett.

A „közlekedéspolitiká” kifejezés másik értelme ezzel szemben *tudományos területet* kívánt jelölni, és nagyjából a közösségi, elsősorban állami beavatkozás, irányítás valamiféle tanát jelentette a közlekedés területén. Az ezzel a névvel jelölt tudományos terület azonban korántsem volt egyértelmű. Egyes szerzők — hazánkban is — leszűkítették azt a közlekedéspolitikát gyakorló szervekkel, a vonatkozó jogi, valamint köz- és magángazdasági eszközökkel foglalkozó, túlnyomóan adminisztratív, közigazgatási karakterű, nem valami nagy terjedelmű diszciplínára. Más szerzők viszont, jóval szélesebb megfogalmazásban, gyűjtőfogalomként használták a közlekedéspolitiká elnevezést, értve ezen egy sor közlekedésgazdaságtani és egyéb közlekedési, de nem műszaki jellegű tudományos ismeretet. Ezek között olyan témákkal is foglalkoztak — gyakran túlzott buzgalommal és meddő aprólékosággal —, mint a közlekedés, a helyváltoztatás definitív kérdései, továbbá a tér, idő és sebesség problematikája, a közlekedés eszközeinek, ágazatainak, rendszereinek, formáinak vizsgálata, a közlekedés társadalmi, kulturális, politikai és honvédelmi jelentősége, a közlekedés fejlődésének történeti és földrajzi tárgyalása stb. Nem nehéz belátni, hogy ezek az általános jellegű elméleti kérdések — amelyeket ma egyesek, eléggé logikusan, egy külön „közlekedéstan” vagy hasonló elnevezésű diszciplínában kívánnak összefogni — nem gazdasági, vagy legalábbis nem kizárólag gazdasági jellegűek. Ezt nyilvánvalóan azok a szerzők is érezték, akik ezeket a témákat a közlekedés közgazdasági kérdéseivel együtt tárgyalták, jórészt a felsőoktatás gyakorlati igényei szerint. Ezért műveiknek — noha azok túlnyomóan közlekedés-gazdaságtani munkák — a „közlekedéspolitiká” elnevezést adták. Ez azután oda vezetett, hogy a közlekedéspolitiká és a közlekedés közgazdaságtana meglehetősen egymásbefolyó és zavaros fogalmakká váltak, a közlekedéspolitiká elnevezés gyakran helyettesítette a közlekedésgazdaságtan — véleményem szerint — helyes elnevezését.

Nem csoda, ha ilyen körülmények közt a közlekedéspolitikát mint tudományos tárgykört, bizonyos misztikum övezte és övezi ma is a nyugati álla-



mokban: a közlekedés objektív törvényszerűségei és a tőkés viszonyok közt érvényes gazdasági törvényeknek a közlekedésben való érvényesülését tárgyaló doktrinák keverednek benne az államok közlekedéspolitikai gyakorlatát leíró, ismertető adatokkal és tényekkel, s ez nagyon alkalmas keretnek bizonyul arra, hogy egyes szerzők a tőkés államhatalomnak a közlekedésügy területén követett ilyen vagy olyan nézeteit és elveit objektív törvényszerűségként próbálják bizonygatni.

Érthető, hogy nálunk a felszabadulás után, a kiépülő szocialista tervgazdálkodás viszonyai között, a polgári közgazdaságtan talaján kifejlődött, jórészt spekulatív, a való élet jelenségei által nem igazolt elemeket is bőven tartalmazó közlekedéspolitika mint tudományos tárgykör, hitelét veszítette, és maga a „közlekedéspolitika” fogalma is bizonyos fokig kompromittálttá vált. Hazai szerzőink, a szocialista tervgazdálkodás talaján újjáéledő közlekedéstudomány művelői, hosszabb ideig idegenkedtek még a „közlekedéspolitika” kifejezés használatától is, mert annak régi tanításai sehogy sem illettek a magyar közlekedés megváltozott viszonyaira, a közlekedés állami irányításában érvényesülő új elvekre és módszerekre. Ugyanakkor a hazai közlekedési szakemberek figyelme — jórészt a Szovjetunió ez irányú tudományos eredményeinek öszlönző hatására — olyan új tárgykörök felé fordult, mint a reális, a valóságos közlekedés jelenségeit tükröző közlekedési üzemtan, a közlekedés gazdasági tervezése és más hasonlók, amelyek a közlekedéstechnikával szoros kapcsolatban, az előttiünk álló gyakorlati feladatok megoldásához adtak konkrét segítséget.

A tőkés viszonyok között kitermelt közlekedéspolitikával mint tudománnyal való egészséges szembefordulás és a hazai szocialista közlekedéstudomány megalkotásán való munkálkodás nyomán azonban nemcsak pozitív jelenségek mutatkoztak. Sokan a közlekedéspolitika másik, gyakorlati jelentésével is szembefordultak, azt vélvén, hogy a szocialista tervgazdálkodás viszonyai között értelmetlen dolog közlekedéspolitikáról beszélni, hiszen a termelési eszközök — köztük a közlekedési eszközök is — egészben vagy döntően közösségi tulajdonban vannak, amelyekkel az államhatalom közvetlenül rendelkezik, a beavatkozás és irányítás doktrinái, illetőleg módszerei tehát jelentőségüket elveszítették. Ezért — úgymond — külön közlekedéspolitikára nincs szükség, hiszen a közlekedés munkáját és fejlesztését az állami terv szabja meg.

Ez a szemlélet — amely a problémák túlságos egyszerűsítését, a mindennapi gyakorlati feladatokban való elmerülést, a tervmethodika és a mutatószámok nem kis mérvű fetisizálását és ilyen értelemben a cél és a módszer fogalmainak összekeverését tükrözi — jó néhány évig befolyást gyakorolt a közlekedésügy hazai irányításának módszereire. Ez a Közlekedés- és Postaügyi Minisztérium szakterületének szervezeti megoldásaiban éppúgy megmutatkozott, mint a közlekedés népgazdasági súlyának elismertetésében,

ráfordításainak kevésbé kielégítő arányaiban, a távlati feladatok lazább kezelésében.

Mindezek miatt a viszonylag önálló közlekedéspolitika iránti ellenérvzés kérdését napirendre kellett tűzni, ami egyértelmű a közlekedéspolitikának a szocialista viszonyok közötti feladata tisztázásával.

Véleményem szerint a kérdés helyes megítéléséhez abból kell kiindulni, hogy a politika elsősorban gyakorlati tevékenység: az emberi közösségek, főképpen az államok vezetésének tevékenysége. Bármilyen magasrendű és a társadalom érdekei szempontjából alapvető fontosságú is ez a tevékenység, és bármilyen nagy mértékben szükséges is, hogy a tudomány eredményeire támaszkodják, önmaga nem tudomány, nem tudományos, hanem gyakorlati tevékenység. Az állam vezetésének pl. egyik döntően fontos területe a gazdaságpolitika, amely azonban maga nem tudomány, de a politikai gazdaságtanra mint tudományra kell hogy támaszkodjék. Ugyanígy a közlekedéspolitikus sem tudományos munkát végez, amikor a közlekedésügyet irányítja, hanem gyakorlati állami funkciót tölt be, amin nem változtat az a körülmény, hogy ebben a tevékenységében a tudomány eredményeire kell — minél nagyobb mértékben — támaszkodnia.

Ha ezt a tételt elfogadjuk, akkor nyilvánvaló, hogy a közlekedéspolitika — mint a közösségi, állami irányítás egyik területe — mind a tőkés, mind pedig a szocialista viszonyok között létezik, de persze éles határvonalat kell húznunk a tőkés közlekedéspolitika és a szocialista közlekedéspolitika között.

A *tőkés közlekedéspolitika* céljait, lehetőségeit és módszereit a tőkés társadalmi-gazdasági rendszerben érvényesülő törvényszerűségek determinálják, összefüggésben az adott ország természeti adottságaival, gazdaság- és közlekedéscélrajzi helyzetével, iparának és mezőgazdaságának fejlettségével, kultúrájával, az általános életszínvonalal és nem kis mértékben a múltból örökölt közlekedési rendszerével. Az egyes tőkés országok fejlettségéből, társadalmi berendezkedésük bizonyos sajátosságaiból adódóan egyik helyen a közlekedés mint profitszerző, szabad gazdasági tevékenység uralkodó, a másik helyen a közlekedés közszolgáltatás-jellege domborodik ki; a közlekedés egész területét, annak minden ágazatát tekintve azonban minden tőkés országban mind a kétféle jelleg megtalálható. Akár az egyik, akár a másik forma az uralkodó, a tőkés gazdaság alapvető jellemvonásai: a piacra való termelés, a gazdasági verseny, az üzemen kívüli anarchia, a gazdasági válságoktól való függés, a dolgozók kizsákmányolása a közlekedésben is érvényesülnek, következőképpen az ezekből adódó ellentmondások határt szabnak a központi, egységes állami közlekedéspolitika érvényesítésének. A tőkés országokban a közlekedéspolitika — csakúgy, mint az egész gazdaságpolitika — viszonylag szűk határok közt érvényesülhet, minthogy szemben áll a konkurrenciagazdaság sokrétű magángazdasági törekvéseivel. Ezért a tőkés közlekedéspolitika nem a teljesskörű és hatékony állami irányítás, hanem csak egy bizonyos fokú

állami befolyásolás, amely a lényegében spontán működő közlekedésbe ugyan kisebb vagy nagyobb mértékben beavatkozik, de a fejlődés alapvető irányának és mértékének kialakításában nincs döntő szerepe.

Mindez természetesen korántsem jelenti azt, hogy a tőkés országokban a közlekedés nem fejlődne, illetőleg adott, fejlett tőkés országokban a közlekedés nem állna magas színvonalon, de jelenti azt, hogy ez a fejlődés a tőkés gazdaság ellentmondásai közepette, igen sok veszteség, a nemzetgazdaság károsodása mellett, túlnyomóan spontán módon megy végbe, és hogy ebben a közlekedéspolitikai irányításnak alárendelt szerepe van.

Itt van pl. korunk egyik döntő közlekedési problémája: a vasút és a gépjármű közötti forgalommegosztás és általában a szállítási feladatok újrafelosztása a közlekedési ágazatok közt, egyfelől a modern közlekedési eszközök tulajdonságai, előnyei és hátrányai, másfelől a szállítási szükségletek mennyisége és minősége, időbeli és térbeli jelentkezése szerint. Ez a folyamat a tőkés országokban a közlekedési verseny hihetetlen kiélesedéséhez vezetett, s a gazdasági helyzet és az erőviszonyok alakulása szerint megy végbe, nem pedig az objektív tudományos vizsgálatok, a nemzetgazdasági szinten végzett gazdaságossági számítások alapján. A közlekedéspolitikai irányítás többnyire teljesen tehetetlen ezzel a problémával szemben. Így pl. *Franciaországban*, ahol lényegében államvasúti rendszer van, de a teherautófuvarozás magán-gazdasági tevékenység, képtelenek megóvni a vasutakat azoktól a veszteségektől, amelyek a nemzetgazdasági szinten indokolatlanul a közútra terelődött küldemények elvándorlásából származnak, minthogy a közterhekkal jóval kevésbé terhelt és nagy befolyással rendelkező autófuvarozó vállalatok versenyét nem tudják megfékezni. A közlekedési verseny következményei azok a több országban megmutatkozó jelenségek is, hogy a gépkocsi versenyétől féltő vasutak néhol elhanyagolják a berendezéseik fejlesztését, karbantartását, ami a vasúti közlekedés biztonságának romlásában is kifejezésre jut, máshol pedig — a jövő fejlődést tekintve — indokolatlanul nagy beruházásokat hajtanak végre, a forgalom pillanatnyi megtartása vagy visszaszerzése érdekében.

Egy további példa: Ismeretes, hogy a gőzüzemű vasút korszaka világszerte lejáróban van, és hogy a gőzvontatást mindenütt egyre nagyobb mértékben felváltja a villamos- és a dieselvontatás. E kétféle vontatási mód gazdaságossága nem egyforma: a legsűrűbb forgalmú fővonalakon a villamos vontatás általában jóval nagyobb megtakarításokat tesz lehetővé, mint a diesel-üzem, — emellett természetesen a gazdaságosság alakulása az egyes országokban eltérő lehet. Mégis feltűnő az *Amerikai Egyesült Államokban* a dieselesítés nagyfokú előretörése: ma a vasúti vontatási teljesítményeknek kb. 85%-át diesel-járművek teljesítik. Ennek a nagy és nemzetgazdasági szempontból nagy valószínűséggel nem indokolható arálynak egyik fő oka abban van, hogy az amerikai vasutak hálózatának igen sok vonalán — főleg

amiatt, hogy ugyanabban a viszonylatban több vasút és egyéb közlekedő út van — csekély a forgalomsűrűség és így a villamosítás nem fizetődne ki, ugyanakkor a vasúttársaságok sem akarnak függő helyzetbe kerülni a villamos energiát termelő monopóliumoktól. Nyilvánvaló, hogy amikor ilyen szempontok döntően hatnak a fejlődésre, nem alakulhat ki a helyes arány az új vasúti vontatási nemek között anélkül, hogy súlyos veszteségeket ne okozna a nemzetgazdaságoknak.

Az ilyenféle példákat hosszasan lehetne sorolni, de talán ezekből is levonható az a következtetés, hogy a *szocialista közlekedéspolitikának* egészen más a feladata, minthogy lehetőségeit a társadalmi-gazdasági rendszer ellentmondásai nem korlátozzák.

A szocialista tervgazdaságban nincs ellentmondás sem a közlekedést lebonyolító vállalatok, sem ügyfelek alapvető érdekei között, következésképpen a szocialista viszonyok közt a közlekedéspolitikai nem valami nagyon kétes hatékonyságú befolyásoló tevékenység, hanem aktív, teljes értékű és hatásos állami irányítás lehet.

A szocialista közlekedésben nemcsak az üzemen belül, de az üzemen kívül is rend lehet. A szállítási feladatok felmérhetők, tervezhetők, következésképpen a közlekedés fejlesztése is optimálisan oldható meg, a spontán fejlődéssel elkerülhetetlenül együttjáró veszteségek nélkül. A szocialista tervgazdaság lehetőséget ad arra, hogy a közlekedés a népgazdaság többi ágazataival szerves egységben, arányosan fejlődjen, az objektív közlekedési szükségletek, az ország sajátosságai és a közlekedéstechnika fejlődésével kialakuló új és új korszerű közlekedési eszközök alkalmazásának legjobb összehangolásával. Végül soron a szocialista közlekedés fölény a kapitalista közlekedés felett — csakúgy, mint az egész szocialista gazdasági rendszer fölénye a kapitalista rendszer felett — abban domborodik ki, hogy szüntelenül növekszik a munka termelékenysége, ami rövidebb-hosszabb idő után a közlekedés társadalmi munkaráfördítésainak olyan fajlagos csökkenésére vezet, ami túlhaladja még a legfejlettebb tőkés országok közlekedésének termelékenységét is.

Mindez könnyen érthetővé teszi, hogy miért változik meg alapvetően a *közlekedéspolitikai és a tudomány viszonya* a tőkés rendszerről a szocialista rendszerre történő áttéréssel.

A szocialista tervgazdaság ugyanis lényegében a lehetőséget teremti meg a közlekedés leghatékonyabb fejlesztéséhez, de ez nem önmagától, automatikusan következik be. A spontán fejlődés a közlekedés döntően nagy területein megszűnve, helyet ad a tervszerű fejlesztésnek, aminek kereteit azonban a vezetésnek, a közlekedés vonatkozásában a legfelsőbb fokon a közlekedéspolitikának kell kijelölnie. Ez természetesen nem történhetik öncélúan, hanem csak szerves egységben a népgazdaság igényeivel, fejlesztési célkitűzéseivel, — aminek alapelveit már előadásom elején vázoltam.

Amidőn a közlekedéspolitika a legfőbb célt : a népgazdaság valamennyi indokolt és állandóan növekvő közlekedési szükségletének leghatékonyabb kielégítését kívánja szolgálni, számos, egymással bonyolult kölcsönhatásban levő tényezőt kell feltárnia és összhangba hoznia. Ez a meglévő és a jövőben támadó indokolt szállítási szükségletek, a közlekedéstechnika fejlődése során nyújtott új és új lehetőségek, a hazai viszonyok közt optimális belső közlekedési arányok, a meglévő közlekedési apparátus olyan mélyreható, sokoldalú vizsgálatát kívánja meg, amire a tőkés közlekedéspolitikának jórészt nincs is szüksége, minthogy az ezekből adódó megállapítások és következtetések hasznosítására alig is lenne lehetősége.

Hogy ez valóban így van, csak azoknak az amerikai közgazdászoknak példájára hivatkozom, akik feltárták az ésszerűtlen szállítási jelenségeket az Amerikai Egyesült Államokban, bemutatva, hogy az áru a termelőtől a fogyasztóig vezető útján mennyi felesleges, nemzetgazdaságilag pazarlást jelentő mozgatásnak van kitéve. Ennek mértékét egyesek kb. 30%-ra becsülik. Ám ez a jelenség a tőkés gazdasági viszonyok közt kiküszöbölhetetlen, éppen ezért az ilyenfajta tudományos vizsgálódások is jórészt céltalanok.

Egészen más a helyzet a szocialista tervgazdaságban, ahol a közlekedéspolitika nemcsak felhasználja, de messzemenően kívánja a közlekedés problémáinak tudományos vizsgálatát, minthogy megbízható, tudományosan igazolt ismeretekre van szüksége ahhoz, hogy ne intuitív alapon, de a szocialista társadalom valódi érdekei szerint dönthessen. Ez az igény a tudományos munka iránt a közlekedéspolitika részéről annál nagyobb, minél jobban előrehaladunk a szocializmus építésének útján. Innen van az, hogy a közlekedéspolitika és a közlekedéstudomány a szocialista viszonyok közt soha nem képzelt, szoros kapcsolatba kerülnek egymással, olyan közelségbe, amilyenre a tőkés körülmények közt dolgozó tudósok nem is gondolhatnak, minthogy ott a közlekedéstudománytól elsősorban a közlekedési vállalatokat közvetlenül érdeklő, az üzleti prosperitást elősegítő eredményeket várnak, technikai és gazdasági vonatkozásban egyaránt. A szocializmusban a közlekedéspolitika és a közlekedéstudomány ezen ellentmondása is megszűnik és helyét e kettő egyre nagyobb harmóniája váltja fel.

Természetesen ma még nem állíthatjuk azt, hogy a közlekedéstudomány minden olyan kérdésre egzakt választ tud adni, ami a közlekedéspolitika számára fontos lenne. Különösen áll ez a közlekedés olyan társadalmi vonatkozásaira, amelyek számszerűen nem értékelhetők, viszont a közlekedéspolitikának a maga döntéseiben ezeket is mérlegelnie kell. Az ilyen, jórészt a tapasztalatokra bízott kérdések köre azonban egyre szűkül, párhuzamosan a közlekedéstudomány fejlődésével, illetőleg e tudomány eredményeinek felhasználásával, minthogy e kettő nem szükségképpen esik egybe. A mi viszonyaink közt is előfordulhat és elő is fordul, hogy a tudomány eredményeit nem, vagy csak megkésve értékesítjük. Ezért a közlekedéspolitikai vezetés egyik fontos

feladata elősegíteni a közlekedéstudomány fejlődését, illetőleg eredményeinek széleskörű felhasználását, amivel saját munkáját segíti, a vezetés színvonalát emeli. Ugyanakkor a közlekedéstudománynak is elsőrendű kötelessége, hogy figyelmét és erőfeszítéseit olyan kérdésekre összpontosítsa, amelyek a népgazdaság szempontjából döntő fontosságúak, beleértve a közlekedés fejlesztésének, a népgazdasági tervekben foglalt feladatoknak tudományos megalapozását is.

Milyen tudományra támaszkodik a szocialista közlekedéspolitika a maga irányító, vezető munkájában? Nem valami külön, a közlekedés vezetését tanító „közlekedéspolitikára” — mint ahogyan azt a tőkés közlekedéstudomány tükrözi —, hanem a közlekedéstudomány egészére, annak minden diszciplínájára: a „közlekedéstan” általános elveire és törvényszerűségeire éppúgy, mint a közlekedésgazdaságtanra, a közlekedési üzemtanra, a közlekedéstechnikára, valamint a közlekedéstudomány, sőt más tudományok egyéb elemeire és eredményeire is.

Mindez természetesen nem jelenti azt, hogy valamely ország közlekedéspolitikája, a különféle közlekedési intézkedések, a közlekedéspolitika eszközei és módszerei, eredményei és fogyatékosságai ne képezhetnék tudományos igényű vizsgálatok tárgyát, és hogy az ilyen művek nem léphetnének fel a tudomány igényével. Sőt: az ilyenfajta tudományos elemző munkára nagy szükség van, minthogy ez elősegíti a helyes közlekedéspolitikai koncepció és az ezek felhasználásával kidolgozandó konkrét távlati tervek kialakítását. Ilyen értelemben azonban a „közlekedéspolitika” nem maga a tudomány, hanem csak a tudományos munka tárgya; az erre vonatkozó tudományos eredmények részci a komplex közlekedéstudomány széles területének.

A közlekedéspolitika és a közlekedéstudomány alapvetően megváltozott viszonyát, az e téren elért eredményeket általánosságban elsősorban a Szovjetunió, de a népi demokráciák közlekedésének fejlődése is igazolja, minthogy a felvázolt vonások nagyjából egyformán jellemzők a szocialista tábor országaira.

Felvetődhetik azonban a kérdés: ha a szocializmus gazdasági törvényei egyaránt hatnak a szocialista országokban és a közlekedéspolitika, valamint a közlekedéstudomány jellemző vonásai is hasonlóak, vajjon ebből következik-e az, hogy a közlekedéspolitika konkrét célkitűzéseinek és a gyakorlati közlekedés feladatainak is azonosnak kell lenniök? De felvetődik a másik kérdés is: minthogy a tőkés államok társadalmi-gazdasági rendszere a mienktől különböző, ez a tény kizárja-e a közlekedés fejlődésében érvényesülő tendenciáknak, a konkrét közlekedési feladatoknak esetenkénti hasonlóságát vagy azonosságát?

Kétségtelen, hogy a szocialista tábor társadalmi-gazdasági célkitűzései azonosak, és hogy népgazdaságukat egyformán a marxista—leninista eszmék, a szocialista politikai gazdaságtan alapján fejlesztik. Mindebből azonban nem

következik, hogy a termelés különböző területein a konkrét célkitűzéseik egyformák, lévén ezen országok gazdasági erőforrásaiban és egyéb sajátosságai-ban lényeges különbségek. Ezek a különbségek a közlekedés adottságai, illetőleg feladatai tekintetében is nagymértékben fennállhatnak és fenn is állnak.

Miként az előzőekben már röviden érintettem, a közlekedés fejlesztési célkitűzéseinek konkrét kialakításában vannak olyan tényezők — mint amilyen a közlekedés funkciójának azonossága, a népgazdaság állandóan növekvő közlekedési szükségleteinek maradéktalan, de leghatékonyabb kielégítése, beleértve a legkorszerűbb közlekedéstechnika alkalmazását és a közlekedési munka termelékenységének szüntelen növekedését —, amelyek sok közös vonásra vezetnek a szocialista tábor országainak közlekedéspolitikájában és konkrét közlekedésfejlesztési feladataiban. Ugyanakkor azonban az egyes szocialista országok népgazdaságának szerkezete, fejlettsége, gazdaság-és közlekedésföldrajzi adottságaik, valamint meglevő, a történelmi fejlődés során kialakult közlekedési hálózatuk és rendszerük jelentős különbségeket mutatnak. Ezek a tényezők olyan alap-adottságok, amelyek még azonos célok esetében is különböző konkrét feladatokhoz, közlekedéspolitikai célkitűzésekhez vezethetnek.

Ami pedig a nyugati országok közlekedésével történő összehasonlítást illeti, a társadalmi-gazdasági rendszer különbözősége ellenére is vannak a lényegében spontán módra fejlődő közlekedésüknek olyan tendenciái, sőt esetleg többé-kevésbé érvényesülő hivatalos közlekedéspolitikai célkitűzéseik is, amelyek a mieinkhez hasonlóak vagy éppen velük azonosak, minthogy különösen a közlekedéstechnika világszínvonala, a közlekedési üzemek szervezése és technikai módszereinek kialakítása a közlekedésfejlesztési feladatok egyik meghatározó tényezője. A fejlett tőkés országok közlekedéstechnikája ezért sok hasznos tanulsággal szolgálhat a mi számunkra, amelyeket nem szabad figyelmen kívül hagynunk.

Az elmondottakból nyilvánvaló, hogy a mi konkrét közlekedéspolitikai célkitűzéseink, valamint gyakorlati közlekedési feladataink tekintetében a szocialista országok vonatkozásában is vannak lényegesen eltérő vonások, ugyanakkor vannak nálunk olyan jelenségek és célkitűzések is, amelyek a tőkés országokkal mutatnak hasonlóságot vagy azonosságot.

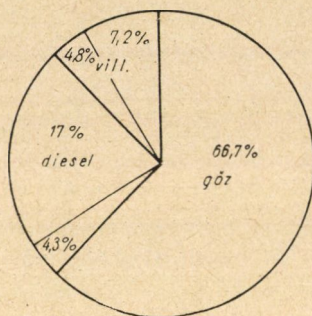
Ennek illusztrálására legyen szabad a *magyar közlekedéspolitika* néhány konkrét célkitűzésére utalnom, összefüggésben a közlekedés világszerte megmutatózó fejlődési irányjaival, anélkül azonban, hogy a fejlesztési kérdések részleteivel foglalkoznék. Ezt ezúttal annál is inkább mellőzhetőnek tartom, mivel az elmúlt év őszi, az akadémiai nagygyűlés alkalmával tartott előadásomban a magyar közlekedés fejlesztési irányait részletesebben tárgyaltam.\*

\* L. az MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei XXIII. köt. (1959) 327–363. l.



A közlekedéspolitikai célkitűzések sorában első helyen a *vasút fejlesztését* említem, minthogy ma a vasút nemcsak az ország közlekedési rendszerének gerince, de korszerűsített, újjászületett formájában belátható ideig az is marad.

A vasút korszerűsítésének egyik alapvető módja az egész világon az elavult gőzvontatás lecserélése a korszerű vontatási eszközökkel: a *villamos és a diesel-járművekkel*. A 3. ábrán bemutatom a világ vontatójárműveinek 1956. évi megoszlását, amiből kitűnik, hogy mintegy fél évszázad alatt az egyeduralkodó gőzmozdonyt 21,3%-ban diesel-, 12%-ban pedig villamos járművek váltották fel, s így a gőzmozdony ma már csak mintegy kétharmadát képezi a világ vasúti vontatójármű-parkjának. Ezen belül természetesen az



3. ábra

egyes országok vasutainál nagy különbségek mutatkoznak, nemcsak a gőzvontatás lecserélésének eddig megvalósított mértéke, de a villamos és a dieselvontatás arányai tekintetében is, ami az illető országok gazdasági adottságai-val és fejlődési sajátosságaival függ össze. Így pl. az Amerikai Egyesült Államokban a villamosmozdonyok aránya 1955-ben mindössze 2%-os volt a 79% diesel-jármű és a 19% gőzmozdony mellett, aminek okait már az előzőekben érintettem. Svájcban viszont a villamos vontatás ma már gyakorlatilag 100%-os, csak néhány darab gőzmozdonyt és diesel-járművet tartanak üzemben tolatási célra és áramszolgáltatási zavarok esetére. A Szovjetunióban 1958-ban a vasúti teherforgalom 26%-át bonyolították le villamos és diesel-járművek; ez az arány az 1959/1965. évi hétéves terv végére 85—87%-ra fog emelkedni. Mindezek az adatok teljesen világosan igazolják azt, hogy a gőzüzem lecserélése a közlekedéstechnika fejlődésének következménye és a társadalmi rendszertől függetlenül érvényesülő fejlesztési tendencia, amelynek módjait és ütemét azonban az egyes országok társadalmi rendszerének sajátosságai, gazdaságának adottságai, teherbíróképessége, műszaki színvonala és a forgalom jellege erősen befolyásolják. A vasút dieselésítése és villamosítása a magyar közlekedéspolitikának is egyik döntően fontos célkitűzése, de a megvalósítás

módja és üteme saját lehetőségeink, adottságaink szerint alakul, amiből nemcsak a tőkés országokban, de a szocialista tábor országaiban megmutatkozó fejlődéshez képest is adódnak igen jelentős különbségek.

Egy másik alapvető probléma — világszerte — a vasutak helyzete a rohamosan fejlődő közúti közlekedéshez viszonyítva, illetőleg egészen általánosan: a forgalom mikénti megosztása a közlekedési ágazatok közt.

## 1. táblázat

## Gépjárműellátottság az egyes országokban

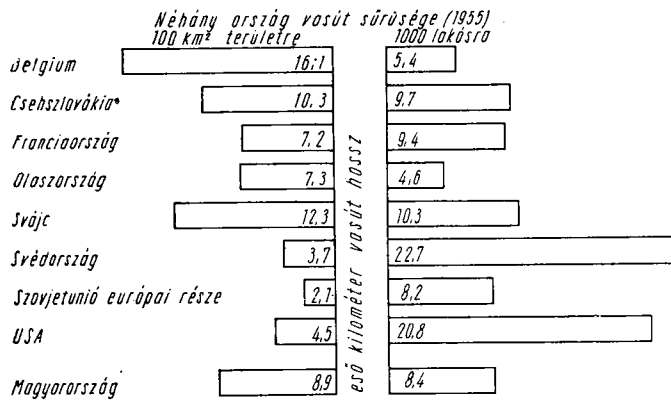
Megnevezés	Egy autóra eső lakosság, fő		
	1938	1955 (1957)	index
Anglia .....	18	10	1,8
Belgium .....	35	14	2,5
Bulgária .....	1343	442	3,0
Csehszlovákia .....	134	69	1,9
Dánia .....	24	7	3,4
Franciaország .....	19	11	1,7
Görögország .....	501	137	3,6
Jugoszlávia .....	829	490	1,7
Lengyelország .....	765	305	2,5
Olaszország .....	93	34	2,7
Románia .....	721	700	1,03
Spanyolország .....	177	124	1,4
Svédország .....	29	10	2,9
Szovjetunió .....	253	70	3,6
Törökország .....	1457	359	4,0
Magyarország .....	375	273	1,4
Európai átlag .....	—	32	—
Afrikai átlag .....	—	114	—
Ázsiai átlag .....	—	644	—
Dél-afrikai átlag .....	—	66	—
Egyesült Államok átlaga .....	4,3	2,6	1,6
Észak-amerikai átlag .....	—	3,5	—
Óceániai átlag .....	—	5	—
Világátlag USA nélkül .....	154	78	2,0
Világátlag USA-val .....	49	27	1,8

Abban a fejlődési folyamatban, amely évszázadunk közepén a szállítási feladatok újra-felosztásához vezet a közlekedés korszerű eszközei közt, kétségtelenül a gépjárműközlekedés kialakulása a legdinamikusabb és a legnagyobb hatású tényező. A világ gépjármű-állományának növekedése ma már túlhaladta a 100 millió darabot; a gépjárművek száma a legutóbbi 20 év alatt több mint háromszorosára növekedett. Egyébként a gépjárműellátottságot az 1. táblázatban mutatom be, amelyen egyes országok adatai mellett az európai-

és a világtárlag számai is szerepelnek. Látható, hogy az egy gépjárműre eső lakosság száma hazánkban az európai átlagot jelző 32-vel és a világtárlagot jelző 27-tel szemben 1957-ben 273 volt, míg ugyanez az érték pl. a Szovjetunióban 70, Csehszlovákiában 69. Ezek az adatok jelzik a közúti közlekedés nagy előnyeit más közlekedési eszközökkel, elsősorban persze a fogatolt közlekedéssel, de nem kis mértékben a vasúttal szemben is. Ez ismét olyan fejlődési tendencia, amely a közlekedéstechnika által nyújtott új lehetőségből következik és nagy általánosságban az egész világon elemi erővel érvényesül.

Itt azonban egészen másfajta problémával van dolgunk, mint a vasútnál a gőzvontatási mód lecserélése esetében. A gépjármű igen sok előnye mellett sem lehet a szárazföldi közlekedés kizárólagos lebonyolításának eszköze, nemesak azért, mert az évszázados multú vasutak megvannak, de azért sem, mert a vasút előnyei a szállítások nagy volumenei tekintetében a gépjárművel szemben is vitathatatlanok. Hogy milyen arány alakul ki a vasút és a gépjármű foglalkoztatása közt, azt igen nagy mértékben az egyes országok sajátosságai döntenek el, amellett hogy a gépjárműközlekedés részesedésének növekedése ma világszerte általános tendencia. Ebben a tekintetben azonban nagyon jelentős különbségek adódnak az egyes országok közlekedésének fejlődésében.

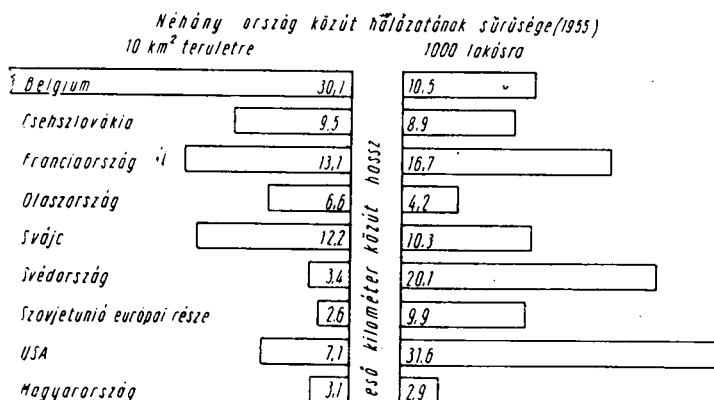
2. táblázat



A 2. táblázatban bemutatom néhány ország vasútsűrűségét az ország területére és lakosságának számára vonatkoztatva. A különbségek jól megmutatkoznak, és indokolják azt, hogy a vasúttal gyérebbeu ellátott, nagykiterjedésű országokban a távolfekvő természeti kincsek feltárása, új termelőüzemek létesítése során továbbra is folytatódik a hiányzó, teljesítőképes vasutak építése, más országokban viszont, ahol sűrű a hálózat — jórészt a gépjármű és részben a repülőgép előretörése következtében — megindult a vasútvonalak hosszának csökkenése. Utalok arra, hogy a Szovjetunió hétéves terve során

kb. 9000 km új vasúti fővonalat és 8000 km mellékvágányt építenek, ugyanakkor az Amerikai Egyesült Államokban 1929 és 1955 közt a vasúthálózat hossza 46 000 km-rel lett kevesebb.

3. táblázat



A 3. táblázatban egyes országok közúthálózatának sűrűsége látható, ami szintén jelentős különbségeket tükröz. Egyébként a közúthálózat hosszának növekedése általános jelenség, de jóval nagyobb arányú a régi utak korszerűsítése, átépítése a gépjárműforgalomra és ezen belül is a kifejezetten autópályák kiépítése. A Szovjetunióban a hétéves terv során közel kétszer olyan hosszúságú autótutat építenek, mint az előző 7 év alatt, amit indokol az a körülmény, hogy a teherautóközlekedés teljesítményeit közel kétszeresére, az autóbussz-közlekedését pedig a háromszorosára kívánják növelni. Az Amerikai Egyesült Államokban 1929–55 között, tehát ugyanabban az időszakban, amikor a vasúthálózat hossza 46 000 km-rel csökkent, 13 000 km-rel növekedett az autótutak hossza, ami mellett pl. a távolsági - városok közötti - teherautó-közlekedés részesedése tonnákmben 3%-ról 17%-ra növekedett.

Ezekből és sok más hasonló adathból is kitűnik, hogy a gépjárműnek van — persze, elég tág határok közt mozgó — alkalmazási területe, amelyet a sűrű vasúthálózattal rendelkező országokban még a vasúti hálózat csökkenése árán is elfoglal, míg más országokban a gépjárműközlekedés gyors fejlődése mellett a vasúthálózat is növekszik. Végeredményben azonban a gépjárműközlekedés az utóbbi 3 évtizedben olyan rohamos fejlődésen ment át, hogy alapvetően megváltoztatta a vasút és a közút részesedési arányát az összforgalomból. A 4. táblázatban az áruforgalom megoszlását mutatom be néhány országban a három fő közlekedési ágazat: a vasút, a hajózás és a közúti közlekedés között, tonnában és tonnákmben, az 1955. évi adatok alapján. Látható, hogy a vasút részesedése egyes országokban 80–90%-os, más országokban 30–40%



közötti értékre csökken, ugyanakkor a gépjárműközlekedés részesedése országanként a 2—3%-ról 50—60%-ig is emelkedett, a tonnadm adatokat tekintve.

4. táblázat

*A három fő közlekedési ágazat részesedése az áruforgalomból néhány országban (1955).*

Állam	vasút		hajó		közút	
	t	tkm	t	tkm	t	tkm
	%	%	%	%	%	%
1. Csehszlovákia . . . . .	64,2	93,0	1,4	4,0	34,4	3,0
2. Franciaország . . . . .	19,3	65,0	5,4	11,3	75,3	23,7
3. Olaszország . . . . .	15,3	33,7	—	—	84,7	66,3
4. Svájc . . . . .	48,6	76,9	1,6	—	49,8	23,1
5. Svédország . . . . .	14,1	69,0	1,3	—	84,6	31,0
6. Szovjetunió . . . . .	24,5	89,8	3,0	4,0	72,5	6,2
7. USA . . . . .	—	58,8	—	17,6	—	23,6
8. Magyarország . . . . .	52,7	85,6	1,3	6,2	46,0	8,2

Ha ezeket a jelenségeket értékeljük, nyilvánvalóan érthetővé válik a magyar közlekedéspolitikának az a célkitűzése, hogy a közlekedésünk gerincét képező vasút korszerűsítésével egyidejűleg a közúthálózat fokozott fejlesztésére és a gépjárműközlekedés forgalmi részesedésének növelésére törekszik, és hogy hazánkban is ki akarja alakítani a vasút és a gépjárműközlekedés forgalmi részesedésének új, a mi népgazdaságunk viszonyai között leghatékonyabb arányát, persze anélkül, hogy a tőkés államok fejlődésében mutatkozó hullámzások következményeit el kelljen viselni. Hazánkban, ahol a vasútsűrűség elég nagy, a gépjármű terjeszkedése nyilvánvalóan a történelmi örökségként ránkmaradt, több mint egy évszázad során kialakult vasúthálózatot is érinti, ezért irányozta elő a magyar közlekedéspolitika az egyes kiserőmű vasútvonalak forgalmának közútra terelését, illetőleg — ahol ez gazdaságosabb — legalább a vasútvonal forgalmának racionalizálását, a szolgálat egyszerűsítésével. Ebben a törekvésében a magyar közlekedéspolitika sok egyezést mutat más, szocialista és nem szocialista országok közlekedésének fejlődésével, viszont ugyanúgy különbségek is adódnak szocialista és nem szocialista országokkal szemben egyaránt. A Szovjetunióban pl. a gépjárműközlekedés lendületesen fejlődik, ugyanakkor nagy vasútépítések is folynak, de kiserőmű, a közúti közlekedéssel gazdaságosabban kiszolgálható területen levő vasútvonalak kevésbé vannak; Csehszlovákiában viszont már sok tekintetben a miénkhez hasonló a helyzet stb.

A hajózás vonatkozásában az eltéréseket jól jellemzi pl. az, hogy Magyarország — mint kis kontinentális fekvésű ország — a *tengerhajózásban* természetesen nemcsak hogy olyan arányokban nem lehet érdekelt, mint a hatal-

mas Szovjetunió, de még olyan mértékben sem, mint pl. Lengyelország. Ez azonban nem jelenti azt, hogy ne fejlesszük saját tengerhajózási kapacitásunkat olyan mértékben, amilyen mértékben az a mi népgazdaságunk tengerentúli szállítási igényei szempontjából gazdaságos. Ezúttal is rá kell mutatnom arra a körülményre, hogy tengerparttal nem rendelkező kis országok is törekednek saját tengerhajózás létesítésére, így pl. Ausztria, Csehszlovákia, Svájc, minthogy ennek deviza-megtakarító hatása ma már vitathatatlan. Ez alátámasztja azt a törekvésünket, hogy a Duna-tengerhajózás fejlesztése mellett saját nagyobb tengeri hajókkal is rendelkezünk.

Ami a *belvízi hajózást* illeti, a forgalom átrendeződése, a gépkocsi előretörése ellenére megállapítható, hogy nagy általánosságban a hajózás nem vesztett jelentőségéből. E tekintetben azonban az egyes országok természetes, hajózható víziutakkal való ellátottsága jelentős különbségeket mutat, ami a belvízi hajózás részarányát is nagymértékben meghatározza, mint az a 4. táblázat vonatkozó adataiból is látható. Az olcsó, hatalmas árutömegek mozgására alkalmas hajózás előnyei azonban vitathatatlanok, mert minden olyan áruszállítás, amelyet a hajózás lassúsága, az évszakoktól és az időjárástól való kisebb-nagyobb függése nem érint, a lehetséges viszonylatokban hajóra kívánkozik. Ez az oka annak, hogy a belvízi hajózás áruforgalma — abszolút számokban — egyre növekszik, Európában pl. évente kb. 10%-kal. A magyar belvízi hajózás arányát döntően a Duna és a Tisza által megszabott szállítási irányok határozzák meg, nem állítható azonban, hogy e téren minden lehetőséget kihasználtunk volna. Ezért törekszik a magyar közlekedéspolitika a belföldi és nemzetközi folyami hajózásunkat is fejleszteni és korszerűsíteni. A tervezett nagy európai belvízi körút kiépítése és más csatornaépítkezések megvalósulása azonban új távlatokat nyitnak meg a dunai hajózás előtt is, ami nagy valószínűséggel a mi folyamhajózásunk és ezzel együtt főként a csepeli kikötő forgalmának nagyarányú fejlődését is magával hozza.

Végül a legfiatalabb, ugyancsak forradalmi jelentőségű közlekedési ágazat: a *légiközlekedés* kérdését érintve, ki kell emelni, hogy ennek fejlődési aránya talán a legnagyobb az összes közlekedési ágazatok között. A két világháború között a világ repülőgépeivel repült távolság a 78-szorosára növekedett. A repülőgép azonban a nagy távolságokon tudja csak döntő előnyét, a nagy sebességet érvényesíteni, itt viszont egyre nagyobb jelentősége van. Pl. az Atlanti-óceán utasforgalmának ma már 60%-át — a hajózás rovására — repülőgépek bonyolítják le. Az Amerikai Egyesült Államokban a legutóbbi két évtized alatt a belső légiforgalomban 25%-os arányt értek el — utasmérföldben —, és a vasúti személyszállítás aránya 21%-ra csökkent. Nyilvánvaló azonban, hogy olyan kis országokban, mint a miénk, a belföldi légiforgalomnak csak korlátozott feladata lehet. Ez alapvető különbségekre vezet a közlekedéspolitikai célkitűzésekben is. Amíg pl. a Szovjetunió hétéves terve a légi utasszállítást kb. a hatszorosára kívánja növelni a sok férőhelyes sugár-

hajtású és légsaváros gázturbinás repülőgépek alkalmazásával, addig mi a repülés fejlesztésében elsősorban a nemzetközi légijáratok, a tranzit-járatok számának növelését kell hogy előirányozzuk, ami mellett természetesen az indokolt belföldi szállítások arányát is némileg bővíteni lehet, főleg ha a helikopter-közlekedés bevezetésének nagy előnyeit is értékesíthetjük.

A közlekedés fejlődésének néhány fő tendenciáját és ehhez képest a magyar közlekedéspolitika sajátos célkitűzéseit vázolva, végül rá kell mutatnom arra, hogy minden országban — a belföldi szállítási szükségletek kielégítése mellett — számolni kell a nemzetközi kapcsolatok közlekedési szükségleteivel is. Ilyen értelemben beszélhetünk *nemzetközi közlekedéspolitikáról*. A nemzetközi együttműködés a közlekedésben különösen nagy jelentőségű, minthogy ma, a korszerű közlekedéstechnika eszközeinek korában a közlekedés lebonyolításának igen sok technikai és jogi feltétele van, amelyeknek rendezése nélkül a nemzetközi közlekedés meg sem valósulhat, illetőleg olyan primitív színvonalra süllyed, amely inkább akadályozója, mint elősegítője a nemzetközi érintkezésnek. A nemzetközi kapcsolatok emellett olyan tényezővé is válhatnak a közlekedés területén, amely nagy megtakarításokat és más, számszerűleg ki sem fejezhető előnyöket jelent a benne résztvevő országoknak. Éppen ezért ezen a területen aktív kapcsolatban vagyunk a nyugati országok megfelelő szervezeteivel is.

Összehasonlíthatatlanul nagyobb jelentősége van azonban annak a ténynek, hogy a szocialista tábor országai közé tartozunk, részt veszünk a Kölesönös Gazdasági Segítség Tanácsában és más, kifejezetten a közlekedés területén létesült szocialista szervezetek munkájában, ami a gyakorlati közlekedési együttműködés mellett a tudományos munkára is kiterjed, és ezzel a közlekedés vonatkozásában is olyan nagyhatékonyságú munkamegosztás válik lehetővé, amilyenre korábban nem is gondolhattunk. Mindemellett saját erőfeszítéseinkkel is arra kell törekednünk, hogy erősítsük közlekedési összeköttetéseinket a béketábor országaival, lévén a fejlett közlekedés a szoros együttműködésnek, a kölcsönös gazdasági, politikai és katonai segítségnyújtásnak, a kulturális javak kicserélésének, a népek barátságának egyik döntően fontos materiális alapja. Ezért ezeket a szempontokat a szocialista magyar közlekedéspolitikának a maga célkitűzései kialakításában messzemenően figyelembe kell vennie.

Előadásom végére érve, még röviden a *közlekedéspolitika és a gyakorlati közlekedés viszonyával* kívánok foglalkozni.

Nyilvánvaló, hogy a közlekedéspolitika nagyobb távlatokban gondolkodik, és olyan problémákkal, célkitűzésekkel foglalkozik, amelyek a közlekedés mindennapi gyakorlati munkájától minőségileg különböznek. Minthogy azonban a közlekedéspolitikai célkitűzések csak akkor reálisak, ha a valóságos viszonyokra, a meglévő közlekedési helyzetre alapoznak, végül is megvan a szerves összefüggés a közlekedési vállalatok, üzemek dolgozóinak és vezetői-

nek mindennapi munkája és a közlekedéspolitikai vezetés között. A közlekedéspolitikában kialakított fejlesztési irányok — szocialista viszonyok közt — jól, tudományosan megalapozott távlati fejlesztési tervekben kell hogy határozott formát öltsenek, majd még konkrétebben előirányozzák azokat — mint népgazdasági feladatokat — az egy-egy tervidőszakra kiterjedő tervek, amelyek már beillesztik a közlekedési feladatokat a népgazdaság egyetemes fejlesztési feladatai közé, és azokkal szoros kapcsolatba hozzák. Ily módon a közlekedéspolitika nagyvonalú elképzelései időben szakaszokra bontva, több lépésben közelednek a megvalósulás felé. Ennek során azután a közlekedés dolgozói a legszorosabb kapcsolatba kerülnek a fejlesztési feladatokkal, hiszen a napi szállítási feladatok legjobb megoldása mellett részt kell venniük a fejlesztési lépések megvalósításában is. Emiatt egyáltalán nem közömbös, hogy a közlekedés dolgozói milyen mértékben ismerik és értik meg a közlekedéspolitikai elgondolásokat, teszik magukévá a célkitűzéseket. Ma ezen a téren még vannak hiányosságaink, nemcsak az egyszerű dolgozók, de a vezetők körében is: a közlekedési problémák tekintetében a népgazdasági szinten való, szakmai sovínizmustól mentes gondolkodás és az előítéletek helyett a tudományos tényekre alapozott döntések elfogadása, a maradiság leküzdése és az új, jobb megoldások bátor keresése még nem fejlődött olyan fokra, hogy az maradéktalanul előre lendítené a magyar közlekedéspolitika újabb célkitűzéseinek megvalósulását. Minthogy pedig a dolgozók, a közlekedési szakemberek magatartása olyan reális tény, amivel messzemenően számolni kell, nagy fontossága van a szocialista közlekedéstudomány új eredményei és az ezen alapuló közlekedéspolitikai célkitűzések mennél szélesebbkörű, sokrétű publikálásának, megvitatásának és népszerűsítésének, ezzel egyidejűleg pedig a vezetés és a végrehajtás minden fokán a távlati fejlesztési kérdések nagyobb súllyal való kezelésének.

Előadásom célkitűzése az volt, hogy a közlekedéstudomány, a közlekedéspolitika és a gyakorlati közlekedés összefüggéseit megvilágítsam, és ennek során megkíséreljek tisztázni néhány vitatott, a magyar közlekedés mai fejlődése szempontjából jelentős elméleti kérdést. Ez a célkitűzés és az előadás reálisan lehetséges keretei sem tették lehetővé, hogy a felvetett hármas összefüggés minden lényeges részével foglalkozzam, csupán a véleményem szerint legfontosabbakat választottam ki, abban a meggyőződésben, hogy ezek lehető tisztázása szolgálja a hazai közlekedéstudomány fejlődését, és fokozza népgazdasági hasznát, elősegíti a közlekedéspolitikai célkitűzések színvonalasabb kialakítását és a helyes közlekedéspolitikai célkitűzések mielőbbi megvalósulását. Nem kétséges ugyanis, hogy minden eredmény, amelyet a közlekedés területén is elérünk, egy-egy lépéssel előbbre viszi népgazdaságunk fejlődését és ezzel a szocializmus építését hazánkban.



## ÖSSZEFOGLALÁS

A közlekedés fejlesztésének a népgazdaság egésze által támasztott indokait közlekedési szükségletek maradéktalan kielégítését, a termelés és a közlekedés együttes minimális ráfordításával kell biztosítani. Ennek alapfeltétele a tudomány és gyakorlat egysége. A közlekedésre vonatkozó tudományos elemek önállósulása, majd integrálódása egy új alkalmazott tudományban, a komplex közlekedéstudományban hatalmas fejlődést indított el a közlekedés alapvető műszaki-gazdasági problémáinak megoldása terén. A tudományos eredményekre támaszkodó szocialista közlekedéspolitika alapvonásait és jellegzetességeit elemezve és a kapitalista közlekedéspolitikával összehasonlítva megállapítható, hogy a szocialista közlekedéspolitika aktív, teljes értékű, az egész népgazdaság érdekeit szem előtt tartó állami irányításban csúcsosodik ki. A hazai közlekedéspolitikai irányelvek és célkitűzések megoldásának a többi szocialista és a kapitalista országokkal egyező és eltérő vonásai a hazai adottságok, a társadalmi-gazdasági viszonyok különbözőségéből adódnak. A nemzetközi közlekedéspolitika — különösen a szocialista tábor országain belül — nagyhatékonyságú munkamegosztást biztosít a tudományos kérdések megoldásában is. A közlekedéspolitikai vezetés és a gyakorlati közlekedés szerves összefüggése segíti a közlekedéspolitikai célkitűzések megvalósítását.

# SZINKRONIZÁLT INDUKCIÓS MOTOROK GERJESZTÉSE\*

LISKA JÓZSEF

LEV. TAG

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, VILLAMOSCÉPEK ÉS MÉRÉSEK TANSZÉKE

[Beérkezett 1959. október 15-én]

A szinkronizált indukciós motor szerkezetét és működését első ízben ERNST DANIELSON ismertette az ETZ 1901-es évfolyamában [1]. Eszerint a motor mint aszinkron motor indul és amikor elérte legnagyobb fordulatszámát, hárompólusú átkapcsoló segítségével a csillagkapcsolású forgórész két csúszógyűrűjét összekötve, ezekben egyenáramot vezetünk, amely a harmadik gyűrűn át hagyja el a forgórésztekercselést.

A motor most szinkronizmusba kerül és mint szinkron motor forog tovább, ha pedig túlterhelés következtében a szinkronizmusból kiesik, mint aszinkron motor marad üzemben, de visszatér a szinkronizmusba, ha a túlterhelés megszűnt.

DANIELSON találmányát a század elején publikálta, amikor a  $\cos\varphi$ -probléma különösen előtérbe került és azt kis teljesítményű, 20—30 kW-os motorokra is kívánta használni. Ezekre azonban a  $\cos\varphi$  javításának ez a módja túl drágának bizonyult és az ugyanabban az időben feltalált kommutátoros kompenzált motorok (pl. a TORDA- vagy az OSNOS-motor) sem tudtak eléggé tért hódítani.

A szinkronizált indukciós motorral majdnem minden villamossági gyár foglalkozott, hazai gyáraink is készítettek egyedi gyártásban több közép- és nagy teljesítményű ilyen gépet. A Siemens—Schuckert Műveknél elért eredményekről a Siemens-Zeitschrift 1925-ös évfolyamában M. LIWSCHITZ számolt be [2]. Azóta a  $\cos\varphi$  javítására a fogyasztás helyén inkább kondenzátorokat, nagyobb fogyasztási központokban pedig szinkron kompenzátorokat szoktak használni.

A szinkronizált indukciós motor azonban tovább is foglalkoztatja az elektromérnököket és az utolsó években is megjelentek tanulmányok, amelyek igyekeztek ennek a géptípusnak jó és rossz tulajdonságait tisztázni és alkalmazási területét megállapítani [3, 4].

Irodalmi adatok szerint 1953-ban egyedül a Szovjetunióban több, mint 700 nagy teljesítményű szinkronizált indukciós motor volt üzemben [3].

\* A Magyar Tudományos Akadémián 1959. szeptember hó 22-én tartott székfoglaló előadás.

Általánosan kialakult vélemény, hogy sorozat-gyártása alig jöhet szóba, egyes esetekben azonban jó indítási tulajdonságai miatt, előnyben van az egyszerű szinkron motorral szemben.

Célszerű lehet a szinkronizált indukciós motor alkalmazása, ha lassan járó, legalább közepes teljesítményű, nyugodt üzemű motorról van szó, amelyet nagy nyomatékkal kell indítani és esetleg átmenetileg csökkentett fordulatszámmal járatni, amint az pl. cementmalmok hajtásánál fordul elő. Ha az aszinkron motor sokpólusú és nagy átmérőjű, légrése aránylag nagy,  $\cos\varphi$ -je pedig kicsi úgy, hogy a szinkron üzemben lehetséges teljesítménytényező javítás is érvényesíthető. Az aránylag nagy légrés a normális szinkron üzemben előnyt jelent, mert a kisebb szinkron reaktancia miatt nagyobb a motor billenőnyomatéka.

Felmerül mint első kérdés: milyen nagyra kell a légrést, illetve az aszinkron gép üresjárási áramának meddő összetevőjét választani, hogy szinkron és aszinkron üzemben egyaránt elfogadható viszonyokat kapjunk. Mindenesetre csak kompromisszumról lehet szó, mert a szinkron gép billenőnyomaték szempontjából nagy légrést, a gerjesztési teljesítmény szempontjából pedig mindkét üzem kis légrést kíván. A viszonyok tisztázását grafikus eljárással kíséreljük meg.

Kiindulunk abból a feltételből, hogy normális szinkron üzemben a túlterhelhetőség legalább 1,5—1,6-szoros legyen. Ha a terhelés ezt az értéket túllépi, a motor kiesik a szinkronizmusból és mint aszinkron motor forog tovább. De ebben az üzemi állapotában különösen nem kívánatos, hogy további túlterhelési lökés következtében a motor teljesen leálljon, ellenkezőleg, azt kívánjuk, hogy minél nagyobb behúzó nyomatéka legyen, és hogy minél gyorsabban álljon helyre a normális állapot. Meg kell tehát kívánnunk, hogy az aszinkron üzemben is *maradjon a szinkron billenőnyomaték felett még 20—30%-os tartalék*. Az aszinkron üzem úgyis azt a veszélyt rejti magában, hogy a meddő teljesítményszükséglet hirtelen megnövekedése gyengébb hálózatokban kellemetlen feszültségesést okozhat. Ennek következtében csökken az aszinkron billenőnyomaték is és esetleg további motorok is kiesnek a szinkronizmusból, ami a helyzetet még inkább rontja.

Az aszinkron üzem bekapcsolt gerjesztéssel azért sem kívánatos, mert ebben az állapotban a felvett áram és a nyomaték is erősen ingadozik, az üzemi viszonyok azonban semmivel sem rosszabbak, mint indításkor a szinkronizmus közelében.

Ha a normális állapot, a szinkron üzem, néhány lengés után sem áll helyre, vagy a gerjesztést kell kiiktatni, hogy a gép mint rendes aszinkron motor járjon — ez a kevésbé célszerű eljárás —, vagy a terhelést kell csökkenteni és a gerjesztést fokozni, hogy a gép ismét szinkronizmusba kerüljön.

Ezek a követelmények magukkal hozzák azt, hogy a szinkronizált indukciós motor részére kb. 30%-kal nagyobb motortípust kell választani,

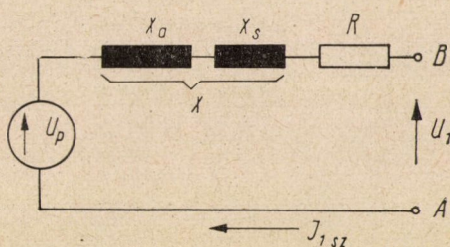
mintha csak egyszerű aszinkron üzembről van szó, továbbá, hogy az *aszinkron motor billenőnyomatéka a névlegesnek legalább kétszerese legyen.*

Az üzemi viszonyok áttekintésére a szinkron motor ismert áram-munkadiagramját vesszük alapul, amelyet legegyszerűbben a helyettesítő vázlat feszültség-egyenletéből vezethetünk le. Az 1. ábrában felvett pozitív irányokkal szinuszmennyiségek esetén és elhanyagolva a veszteségeket

$$\bar{U}_1 = \bar{U}_p + jX\bar{I}_{1sz} \quad (1)$$

és ebből

$$\frac{\bar{U}_1}{jX} = \frac{\bar{U}_p}{jX} + \bar{I}_{1sz}. \quad (2)$$



1. ábra. Szinkron gép helyettesítő kapcsolási vázlata

$U_1/X$  a rövidzárási áram, amely akkor jön létre, ha  $U_p$  — tehát a gerjesztés is — 0-val egyenlő. Ez az áram egyenlő az aszinkron üzemben teljes üresjáráskor, tehát szinkronizmusból keletkező  $I_0$  árammal. A forgórész mindkét esetben árammentes.

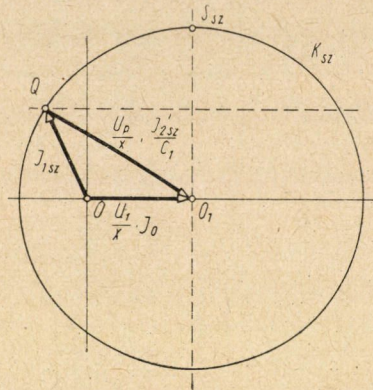
$U_p/X$  is rövidzárási áram, amely akkor keletkezik, ha az áramkörben csak az  $U_p$  pólusfeszültség működik. Ha  $X$ -et állandónak tekintjük, ez az áram a pólusrendszer gerjesztésével arányos.

A három áram vektoros ábrázolása a 2. ábrán látható, mely szerint az  $I_{1sz}$  felvett áram vektorának végpontja, ismert módon a  $K_{sz}$  körön mozog, ha a gerjesztés állandó.  $U_1/X$  mellé  $I_0$ -át írtuk,  $U_p/X$  mellé pedig  $I'_{2sz}/C_1$ -et, azt a váltakozó áramot, amely ha a primer tekercselésben folyik, ugyanazt az  $U_p$  feszültséget idézi elő, mint a póluskerék egyenáramú gerjesztése.  $S_{sz}$  a motorüzem billenőpontja.

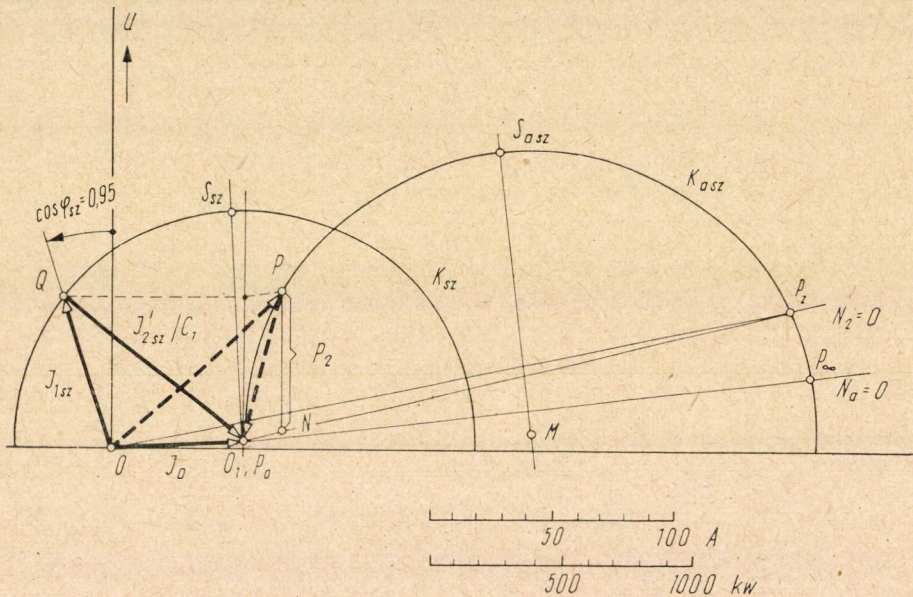
A 3. ábrába a szinkron üzem kördiagramján kívül berajzoltuk az aszinkron üzem körét is. Ehhez még ki kellett számítani, vagy megmérni az aszinkron motor  $I_2$  rövidzárási áramát.

Az aszinkron kördiagramban  $\bar{OP}$  jelenti a névleges terhelésnek megfelelő áramot,  $S_{asz}$  a billenőpont. A  $\bar{P}_0P$  vektor a primer oldalra redukált szekunder áram, ha ezt ismert módon még a már említett  $C_1 = (1 + Z_1 Y_a)$ -val szorozzuk.  $Z_1$  a motor primer impedanciája,  $Y_a$  pedig a helyettesítő négy-pólus





2. ábra. Túlgerjesztett szinkron motor kördiagramja a veszteségek elhanyagolása esetén



3. ábra.  $K_{sz}$  a kördiagram szinkron,  $K_{asz}$  aszinkron üzemben a következő névleges adatokra:  $U_1 = 5500/\sqrt{3}$  V = 3180 V,  $f_1 = 50$  Hz,  $P_2 = 516$  kW,  $I_{1sz} = 63,5$  A,  $\cos\varphi_{s2} = 0,95$  kap.  $P_0$  és  $P_2$  mérési eredmények. A gerjesztő áram  $I_g = 462$  A. Q a szinkron, P az aszinkron üzemi pont

áthidaló ágának admittanciája. Normális aszinkron gépeknél  $C_1$  rendszerint csak keveset tér el az egységtől, a nagyobb légrésű szinkronizált aszinkron motornál azonban 1,1 körüli értékeket érhet el.

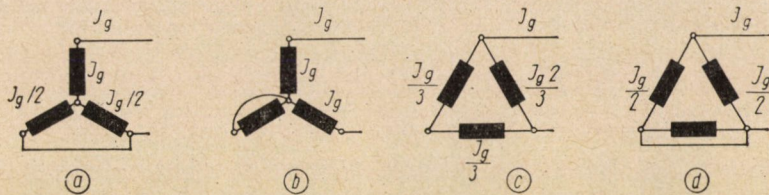
A szinkron üzemben kívánt túlterhelhetőség érdekében  $I_0$ -át első közelítésben a szinkron üzemi áram hatásos összetevőjével,  $I_{1sz}\cos\varphi_{s2}$ -el vehetjük



egyenlőnek.  $\cos\varphi_{sz} = 1$ -nél ez ugyan csak  $\sqrt{2}$ -szeres túlterhelhetőséget jelent, de már kis túlterhelésnél, pl.  $\cos\varphi_{sz} = 0,95$ -nél ez a szám 1,66-ra nő.

A szinkronizált indukciós motor szerkezetileg gyenge pontja a gerjesztés, mégpedig több okból. Ha az aszinkron üzemből a szinkron üzemre térünk át, a gerjesztést a forgórésznek kell szolgáltatnia, a primerre redukált  $I'_{2sz}$  rotor-áram pedig az eddigi  $I'_{2asz}$  érték 1,5—2-szeresére emelkedik, amint az a 3. ábra diagramján is látható.

Míg a normális aszinkron motornál a rotor rézsúlya 20—30%-kal kisebb lehet mint a sztátoré, itt a súlyviszonyok fordítottak. A rotor-hornyoknak a rendesnél nagyobb keresztmetszetet kell adni, hogy a nagyobb mennyiségű réz elférjen. A súlycsökkentés érdekében lehetőleg olyan tekercselési típust választunk, melynél a tekercsfekék rövidek. Ilyen pl. az olyan hullámos teker-



4. ábra. Szokásos háromfázisú rotorkapcsolások

cselés, melynél a horonyban két, sugárirányban nagyméretű, tehát keskeny keresztmetszetű rúd fekszik egymás mellett. A nagyobb rézkeresztmetszet elhelyezésével járó nehézségek csökkentésére javasolták a primer és szekunder rész felcserélését is. Tekintettel azonban arra, hogy rendszerint nagy átmérőjű gépekről van szó, az így elérhető horonykeresztmetszet-nyereség nem nagy, viszont a többnyire nagyfeszültségű energiának csúszóérintkezőkön történő bevezetése kényes feladat.

Az általában használt háromfázisú rotortekercselés esetén az egyenáramú gerjesztéssel az egyes fázisokban előidézett melegmennyiség nem egyenlő, ami a tekercselésben egyenlőtlen alakváltozásokat hozhat létre és a bandázsokat meglazíthatja. Ilyen esetekről határozott adatok nem állnak rendelkezésre, de ezen segíteni lehetne, ha olyan szerkezetű tekercselést használnánk, amelyhez nem kell bandázs.

Az egyenlőtlen melegedés, mint hátrány, csak az aszinkron motorral szemben mutatkozik. A *Klement Gottwald Villamossági Gyár* évek óta készít hengeres forgórészű szinkron gépeket, több ezer kW teljesítményig, amelyeknél a forgórész kerületének kb.  $\frac{2}{3}$ -a van betekercselve és így a melegedési viszonyok pontosan ugyanazok, mint a 4. ábrán (b)-vel jelölt kapcsolás esetén. Ezekre a kapcsolásokra még visszatérünk.

Egyenletes melegedést kétfázisú rotortekercseléssel lehet elérni, ez viszont ugyanazt a gerjesztési alapharmonikust, ugyanakkora rézkeresztmetszettel a hornyokban, csak 9,8 arányban nagyobb veszteséggel hozza létre. Ezenkívül hárommal osztható rendszámú harmonikusokat is gerjeszt, amelyek között legnagyobb a harmadik; ez az alapharmonikushoz viszonyítva kb. 11%. A harmadik harmonikus többletvesztéseket, zajt és háromszögbe kötött állórésztekerceselés esetén ebben belső áramot hozhat létre.

Külön feladat a gerjesztési feszültség választása. Egyrészt fontos, hogy nagyobb legyen mint kb. 20 V, nehogy a kefék átmeneti feszültségének esetleges változása miatt az egyenáramú körben labilitás keletkezzék, ami a gerjesztőáram ingadozását okozhatja. Másrészt indításkor a csúszógyűrűk között keletkező feszültség — ha nem is tudjuk a normális motorokra szabványosított értékeket minden esetben betartani — a szigetelés és az életveszély szempontjából lehetőleg ne lépjen túl valamely ésszerű határt, pl. 1500 V-ot.

A gerjesztőáram szolgáltatását — tekintve, hogy a motor rendszerint kis fordulatszámú — külön gépesoporra szokás bízni. Ha a gerjesztőáram meghaladja az 1500 A-t, forgógép helyett egyenirányító jöhet szóba.

Kívánatos tehát, hogy indításkor a csúszógyűrűk közötti *feszültség*, üzemben pedig a gerjesztőáram ne legyen túl nagy. Ezt a célt könnyebben lehet elérni, ha a háromfázisú rotortekercselést indításkor háromszögbe, üzemben pedig csillagba kapcsoljuk. Ehhez hatsarkú átkapcsoló szükséges, ami az üzemet bonyolultabbá teszi és a berendezést drágítja.

Az alig használt kétfázisú rotortekercseléseket nem tekintve, a háromfázisúak közül kisebb gépeknél ma is használják a DANIELSON ajánlotta eredeti kapcsolást, melynél a rotor csillagkapcsolású, az indítás normálisan történik — utána pedig két fázist párhuzamosan kapcsolva, ezeket sorba kötjük a harmadikkal, amint az a 4(a) ábrán látható. Ehhez a művelethez háromsarkú átkapcsoló szükséges. A veszteségek a három fázisban úgy oszlanak el, mint 2 : 0,5 : 0,5. A két párhuzamosan kötött fázis mágneses tengelye merőleges a harmadik fázis tengelyére és így ez a kapcsolás az esetleg keletkező terhelési lengések csillapítására is alkalmas.

A (b) ábra kapcsolásával az indítás úgy történik, mint előbb, üzemben két fázis a teljes gerjesztőáramot vezeti, a harmadik pedig rövidre van zárva az előbb említett csillapító hatás végett. Ehhez a kapcsoláshoz négy csúszógyűrű szükséges, mert a 0-pontot is ki kell vezetni. Az átkapcsoló itt is háromsarkú.

A (c) kapcsolásnál az egyik fázisban kétszer akkora áram folyik, mint a másik kettőben, a veszteségeloszlás ugyanaz, mint az (a) kapcsolásnál. A (d) kapcsolás veszteségeloszlása ugyanaz, mint a (b) kapcsolásé. Mindkettőhöz csak három csúszógyűrű szükséges. A háromszög kapcsolást csak az indítás idejében, a gyűrűfeszültség csökkentése végett használják.

A gerjesztési nehézségek enyhítésére sokféle más kapcsolást is gondoltak ki. G. H. RAWCLIFFE 18-félét ismertetett és megadta mindegyik típus előnyeit és hátrányait [5]. Ma már csak ritkán van dolgunk mással, mint szimmetrikus háromfázisú tekercseléssel.

A munkadiagramban csak szinuszmennyiségeket ábrázolhatunk, ha tehát ebből akarjuk megállapítani a gerjesztő egyenáramot, amely egy bizonyos üzemi állapotban szükséges, meg kell keresnünk az  $I_{2sz}$  és az  $I_g$  közötti összefüggést.  $I_g$  a gerjesztő egyenáramot jelenti.

Ha az (a)-kapcsolásban egyenáram folyik, 3 fázisú áram esetén ez megfelel annak a pillanatnak, amikor az egyik fázisban az áram maximális, a másik kettőben féllakora és ellentétes irányú. Ugyanazt a gerjesztési ábrát kapjuk, ha

$$I_g = \sqrt{2} I_{2sz} = 1,41 I_{2sz} . \quad (3)$$

A 4. ábra (b)-kapcsolásának 3 fázisú áram esetén az a pillanat felel meg, amikor az egyik fázisban az áram nullával, a másik kettőben a csúcserőérték  $\pm \frac{1}{2} \sqrt{3}$ -szorosával egyenlő. Ezért most

$$I_g = \sqrt{2} \frac{\sqrt{3}}{2} I_{2sz} = \sqrt{\frac{3}{2}} I_{2sz} = 1,23 I_{2sz} . \quad (4)$$

Ha a 3 fázistekercselést (c) szerint háromszögbe kapcsoljuk, a viszonyok hasonlóak, mint az (a)-kapcsolásban azzal a különbséggel, hogy a legjobban terhelt fázisban nem  $I_g$ , hanem csak  $\frac{2}{3} \cdot I_g$  folyik. Ezért  $I_g$ -nek — hogy ugyanakkora gerjesztést adjon —,  $\frac{3}{2}$  arányban nagyobbak kell lennie, vagyis

$$I_g = \frac{3}{2} \sqrt{2} I_{2sz} = 2,12 I_{2sz} . \quad (5)$$

A (d)-kapcsolás a (b)-hez hasonlít, de egy-egy fázisban csak  $I_g/2$  folyik és ezért  $I_g$ -nek kétszer akkora kell lennie, mint a (b)-kapcsolásban :

$$I_g = 2 \cdot \sqrt{2} \frac{\sqrt{3}}{2} I_{2sz} = 2,45 I_{2sz} . \quad (6)$$

A háromfázisú tekercseléssel előállítható négyféle gerjesztési mód néhány jellemzőjét az 1. táblázat mutatja. Ebben  $I_g/I_{2sz}$  jelenti az egyirányú gerjesztőáram és az egyenértékű váltakozóáram effektív értékei közötti viszonyszámot,  $R_g/R_f$  a gerjesztőtekercselés és egy fázistekercselés ellenállásának viszonyszáma,  $U_g/R_f \cdot I_{2sz}$  a két első oszlop viszonyszámainak szorzata,



$I_g^2 \cdot R_g \cdot I_{2sz}^2 \cdot R_f$  — vagyis az első és a harmadik oszlop szorzata — a gerjesztési veszteségekre jellemző. A táblázat utolsó oszlopa a veszteségek eloszlását mutatja a három fázistekercselésben. Látjuk ezekből, hogy a legnagyobb gerjesztőfeszültséget a (b) -kapcsolással érhetjük el és hogy a gerjesztési veszteség mind a négy kapcsolásban ugyanakkora. A veszteségeloszlás a három fázisra minden esetben egyenlőtlen.

1. táblázat

Kapcsolás	$\frac{I_g}{I_{2sz}}$	$\frac{R_g}{R_f}$	$\frac{U_g}{R_f I_{2sz}}$	$\frac{I_g^2 R_g}{I_{2sz}^2 R_f}$	Veszteség-eloszlás
(a)	1,41	1,5	2,12	3,0	2 : 0, 5 : 0,5
(b)	1,23	2,0	2,45	3,0	1,5 : 1,5 : 0
(c)	2,12	0,66	1,41	3,0	2 : 0,5 : 0,5
(d)	2,45	0,5	1,23	3,0	1,5 : 1,5 : 0

Egyenletes veszteségeloszlást kétfázisú tekercseléssel lehet elérni, ezt a rendszert azonban, a már említett okok miatt, alig használják.

A kördiagramból csak a primerre redukált  $I_{2sz}'$ -t olvashatjuk le, ezért ha az aszinkron motor áttételi száma

$$a = \frac{m_1 N_1 \xi_1}{m_2 N_2 \xi_2}$$

a valóságos szekunder áram

$$I_{2sz} = a \cdot I_{2sz}' \quad (7)$$

Ha  $m_1 = m_2$ ,  $a = N_1 \xi_1 / N_2 \xi_2$ .  $N_1$  és  $N_2$  a primer, illetve szekunder menet-számok fázisonként,  $\xi_1$  és  $\xi_2$  pedig a tekercselési tényezők.

A motor tervezésekor  $I_0$ -ból, az aszinkron motor üresjárási áramából, illetve a  $\theta_0$  üresjárási gerjesztésből indulhatunk ki. Látjuk, hogy elfogadható üzemi viszonyokat kapunk, ha az üresjárási áram közelítően a szinkron üzem hatásos áramával egyenlő; tehát, ha  $I_0 = I_{1sz} \cos \varphi_{sz}$ . Ennek megfelelően a légrés 50—100%-kal nagyobbra adódik, mint közönséges aszinkron üzemben, ami magával hozza azt, hogy aszinkron üzemben a teljesítmény tényezőre csak 0,6—0,7 körüli értékeket érhetünk el.

Az álló- és a forgórész tekercselését megtervezhetjük, ha megállapodunk az egyenáramú gerjesztéshez szükséges kapcsolásban. Legtöbbször a 4. ábra (b) -kapcsolása bizonyul célszerűnek, esetleg háromszög kapcsolással az indítási időszak alatt.

A rövidzárási pontot kiszámítva, megrajzolhatjuk az aszinkron motor kördiagramját és ezen a lépték figyelembevételével megjelölhetjük a  $P$  üzemi pontot, amint az a 3. ábrán látható. Ismerjük az  $I_{1sz}$  áramvektor irányát ( $\cos\varphi_{sz}$ -t adottnak tekintjük) és így átvetéssel a  $Q$  pont helyét is megállapíthatjuk. A  $\overline{QP_0}$  távolság  $I'_{2sz}$ -vel, vagyis a primerre redukált, az egyenáramú gerjesztéssel egyenértékű szekunder váltakozóárammal egyenlő, ha a  $C_1$  szorzótényezőt is figyelembe vesszük. Ez az eljárás tekintettel van a vastelítésre is, de csak az üresjáráskor keletkező mértékben. Terheléskor az üresjáráskor érvényes szinkron reaktancia a növekvő árammal és gerjesztéssel kisebb lesz. Ezért meg kell vizsgálnunk, hogy a csökkenés esetleges elhanyagolása normális viszonyok között milyen nagy hibát jelent a gerjesztőáram megállapításában. Általánosan érvényes eredmény nem várható, mert az ellenőrzést csak a mágnesezési jelleggörbe segítségével végezhetjük, ez pedig analitikai úton nem hozzáférhető.

A vizsgálatot ezért egy elkészített szinkronizált indukciós motoron fogjuk elvégezni, melyről mérési adataink is vannak. Az adatokat a *Villamosgépek Kábelgyár* vezetősége volt szíves rendelkezésre bocsátani.

A motor névleges és számított adatai:  $U_1 = 5500/\sqrt{3}$  V = 3180 V  
 $P_2 = 516$  kW,  $f_1 = 50$  Hz,  $p = 19$ ,  $\cos\varphi_{sz} = 0,95$ ,  $n_1 = 158$  percenként.

A gerjesztés a (b)-kapcsolás szerint történik.

Az áttételi szám  $a = 3,66$ , az állórész számított szórási reaktanciája fázisonként  $X_s = 5,3\Omega$ .

Aszinkron üresjárási áram mérés szerint:  $I_0 = 53,7$  A,  $\cos\varphi_{0asz} = 0,06$

Aszinkron rövidzárási áram mérés szerint:  $I_z = 273$  A,  $\cos\varphi_z = 0,189$

$$Z_1 Y_a \approx \frac{I_0}{2I_z} = \frac{53,7}{2 \cdot 273} \approx 0,1.$$

A 3. ábra kördiagramjából  $I'_{2sz} = 94 \cdot 1,1$  A = 103 A,  $I_{2sz} = a \cdot I'_{2sz} = 3,66 \cdot 103$  A = 375 A

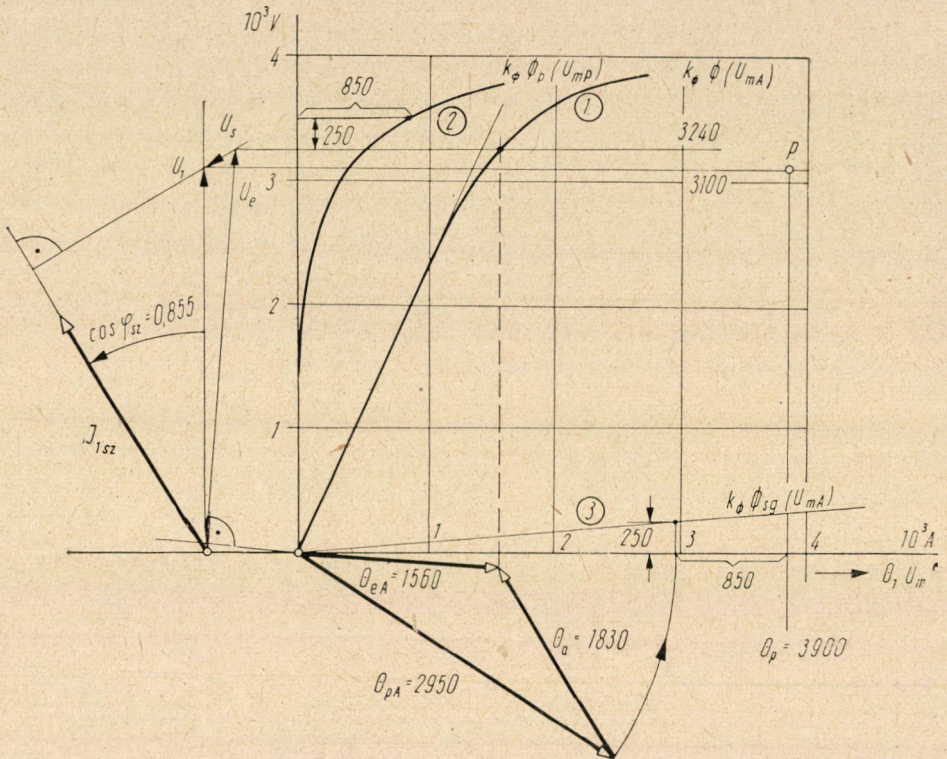
és

$$I_g = 1,23 \cdot 375 = 462 \text{ A}.$$

A vastelítés változását is figyelembe vevő, pontosabb eljáráshoz szükséges mágnesezési jelleggörbék az 5. ábrán láthatók. Szokásos módon a mágneses kört két részre osztottuk, az egyik az állórészt és a légrést, a másik a forgórészt foglalja magában. Külön ábráztuk a szórási fluxus  $\Phi_{sg}$  egyenesét is.

A görbék, illetve az egyenes ordinátáit a  $k_\phi$ -vel jelölt állandó tényezővel szorozva feszültségértékekre számítottuk át. Az 5. ábra már ezeket a feszültségértékeket mutatja.

Ismert eljárás szerint az adott  $\varphi_{sz}$ ,  $I_{1sz}$  és  $X_s$ -el megrajzolt feszültség-ábrából megállapítjuk az  $U_e$  indukált feszültséget és megkeressük az 1-gyel jelölt  $k_\phi(U_{mA})$  görbén a szükséges  $\Theta_{eA}$  állórészgerjesztést. Ehhez, mint vektorhoz, hozzáadva a  $\Theta_a$  armatúravisszahatást, mint eredőt  $\Theta_{pA}$ -t kapjuk, amely



5. ábra. A gerjesztőáram megállapítása a jelleggörbékéből a következő üzemi adatokra.  $U_1 = 5340/\sqrt{3} \text{ V} = 3100 \text{ V}$ ,  $P_2 = 360 \text{ kW}$ ,  $\cos\varphi_{sz} = 0,855$ ,  $I_{1sz} = 53 \text{ A}$   
 1 a főfluxusnak megfelelő feszültség az állórészre és a légrésre eső  $U_{mA}$  mágneses feszültség függvényében, 2 a pólusfluxusnak megfelelő feszültség a forgórészre eső  $U_{MP}$  mágneses feszültség függvényében, 3 a szórási fluxusnak megfelelő feszültség  $U_{MA}$  függvényében

a mágneses kör állórész-szakaszán működik és amellyel a forgórész  $\Phi_{sg}$  szórási fluxusa arányos. Ennek, illetve a  $k_\phi \Phi_{sg}$  feszültség értékét leolvassuk a 3-mal jelölt  $k_\phi \Phi_{sg}(U_{mA})$  egyenesen, ezt  $U_e$ -hez hozzáadva a 2-vel jelölt  $k_\phi \Phi_p(U_{MP})$  görbén, megkapjuk a mágneses kör forgórész-szakaszára eső gerjesztést. Ezzel még megnövelve  $\Theta_{pA}$ -t,  $\Theta_p$  a feltételezett terhelés esetén szükséges teljes gerjesztéssel egyenlő.

Figyelemmel kell lenni arra is, hogy a forgórész gerjesztési csúcsértéke kb. 5%-kal kisebb, mint a lépcsős ábra alapharmonikusának amplitudója.

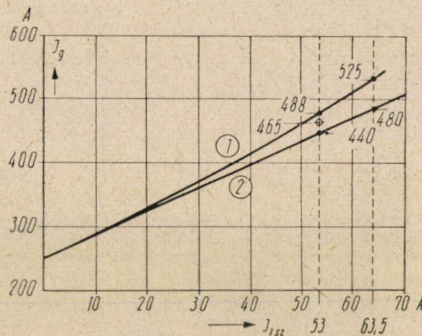


Elvégezve mindezeket az elég körülményes műveleteket, a mi esetünkben  $\theta_p = 3920$  A, és mivel egy póluson 8 menet van, a szükséges gerjesztőáram

$$I_g \approx 3920/8 \text{ A} = 490 \text{ A.}$$

A kördiagramból kereken 5%-kal kevesebbet kaptunk.

A névleges terhelésnek megfelelő pontra azonban mérési adatok nem állnak rendelkezésre, ezért az 5. ábra jelleggörbéi méréssel is ellenőrzött terhelési pontnak megfelelő számadatokat tartalmaznak. A jelleggörbék változatlanok, csak a gerjesztési háromszög lesz más. Ez a mérési pont a következő.  $U_1 = 5340/\sqrt{3} \text{ V} = 3100 \text{ V}$ ,  $P_2 = 360 \text{ kW}$ ,  $I_{1sz} = 53 \text{ A}$ ,  $\cos\varphi_{sz} = 0,855$  és  $I_g = 465 \text{ A}$ .



6. ábra. Az  $I_g$  gerjesztő egyenáram a primer  $I_{1sz}$  áram függvényében az 5. ábrának megfelelő üzemi viszonyokra  
1 a jelleggörbék alapján, 2 a kördiagramból. A mérési pont kereszttel van megjelölve

A jelleggörbék módszerével  $I_g = 488$  A, míg a kördiagramból  $I_g = 440$  A. A „pontosabb” módszer szerint tehát a gerjesztőáramra kb. 5%-kal többet, a kördiagram alapján pedig kb. ugyanennyivel kevesebbet kaptunk, mint amennyi a mért érték.

Ha  $U_1 = 5340$  V-ra és  $\cos\varphi_{sz} = 0,855$ -re kiszámítjuk a gerjesztőáramokat, változó  $I_{1sz}$  primer áram esetén a 6. ábra grafikumát kapjuk. Ebben a felső, a vége felé a forgórész telítése miatt enyhén emelkedő görbe a „pontosabb”, az alsó egyenes a kördiagramból nyert értékeket mutatja. Látjuk, hogy  $I_{1sz} = 0$ -nál a két pont gyakorlatilag egybeesik, míg az  $I_{1sz} = 63,5$  A névleges értéknél a két görbe közötti eltérés kb. 10% úgy, mint  $I_{1sz} = 53$ -nál is. Az előbb említett mérési pontot kereszttel jelöltük meg.

Tekintve, hogy elég komplikált mágneses körről van szó, a kétféle számítási eljárás és a mérési eredmény közötti egyezés elég jónak mondható.

A kördiagramon alapuló módszer mindenesetre lényegesen egyszerűbb.



## IRODALOM

1. E. DANIELSON : Der Asynchronmotor als Synchronmotor. (ETZ 1901. 1065. o.)
2. M. LIWSCHITZ : Der synchronisierte Asynchronmotor als Blindstromerzeuger. (Siemens Zeitschrift 1925. 466. o.)
3. H. GROSSKOPF : Gesichtspunkte bei der Verwendung von synchronisierten Asynchronmotoren zur Verbesserung des Leistungsfaktors. (Deutsche Elektrotechnik 1956. 466. o.)
4. Sz. Z. BARSZKIJ : Szinkronizált aszinkron motorok elméletének néhány kérdése. (Elektricsesztvo 1953. 11. sz.)
5. G. H. RAWCLIFFE : The secondary circuits of synchronous induction motors. (IEE Journal 1940. 87. k., 284. o.)
6. LISKA J.: Villamosgépek III. (Tankönyvkiadó, Budapest 1955. 145. ábra)
7. M. G. SAY : The performance and design of alternating current machines. (Pitman, London, 2. kiadás 1949.)
8. J. GRIFFIN : The synchronous induction motor. (Macdonald, London 1954.)
9. K. HUMBURG : Die synchrone Maschine. (Sammlung Göschen, Berlin 1942, 57. o.)

## ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány összehasonlítja a szinkronizált indukciós motor gerjesztőáramának egyrészét a kördiagramból, másrészt a mágnesezési görbék segítségével megállapított értékeit. Rámutat a kördiagram egyszerű szerkesztésére, használatára és előnyeire az üzemi tulajdonságok megítélése szempontjából. Egyszerű szabályt ad a kívánatos nyomatékviszonyok betartására.

# NAGY ÉLETTARTAMÚ OXIDKATÓDOK WOLFRAMMAGFÉMMELE\*

WINTER ERNŐ  
AKADÉMIKUS

TÁVKÖZLÉSI KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1959. június 3-án]

## I. Bevezetés

Az oxidkatód a leggazdaságosabb és leghősegebb termikus elektronforrás. Felhasználása nagyon sokoldalú. Megtalálható különböző elektroncsövekben, így a rádióvevőcsövekben, katódsugárcsővekben, televíziós képcsövekben és kis, valamint közép nagyságú adócsövekben, a mikrohullámú csövek jelentős részében, vákuum- és gáztöltésű egyenirányítókban, a kis katódosással működő gázkisüléses csövekben, pl. fénycsövekben stb. A felsorolt vákuumtechnikai eszközök élettartamát és egyéb minőségi jellemzőit jelentős mértékben a bennük alkalmazott oxidkatód élettartama és minősége szabja meg. Az elektronikus megoldások egyre növekvő fontossága és elterjedése az ipar és tudomány különböző területein megszigorították az elektronikus eszközök megbízhatóságával szemben támasztott követelményeket. A megbízhatóság növelése végett intenzív kutatómunka indult meg a világ jelentős kutatóintézeteiben és ez a kutatómunka nem kis mértékben az izzókatódok működésének jobb megértésére, új, jobb izzókatódok kifejlesztésére irányult.

Az oxidkatód huzal, szalag vagy cső alakú fémmag, amelyen rendszerint több földalkálioxid szilárd oldatából álló emissziós réteg foglal helyet. Izzítása vagy a fémmagon közvetlenül átvezetett áram, vagy a fémmagtól elszigetelt külön fűtőelem segítségével közvetve történik. Magfémként az esetek túlnyomó részében nikkelt kerül felhasználásra, melynek minőségét három évtizedes kutató- és fejlesztő munkával hozták a mai minőségi színvonalra. Gyakran használnak nikkelt helyett bizonyos nikkeltövezeteket, legújabban nikkeltnek wolframmal kiképezett ötvözetét és tiszta wolframot is. A földalkálioxidokat szén-sav és vízgőz érzékenyséjük miatt földalkálikarbonátok, több oxid esetében a földalkálikarbonátok szilárd oldatának alakjában viszik föl a magfém felületére, kötőanyagként nitrocellulózt alkalmaznak. Az elektroncső szivattyúzásakor az oxidréteg a magfém karbonátokból keletkezik, az előbbieknél a vákuumban történő izzítása folytán. Az így kapott oxidkatód

\* A Magyar Tudományos Akadémián 1959. szeptember hó 24-én tartott székfoglaló előadás.

elektronemittáló képessége még nem kielégítő. Az oxidrétegben, illetőleg az oxidréteg és a magfém határfelületén bizonyos fizikai és kémiai változásoknak kell végbemenni ahhoz, hogy a katód optimális emisszióképességre tegyen szert. Unalomig közismert pl., hogy az aktív oxidkatód emissziós rétegében szabad fémbáriumnak kell jelen lenni és ez a fémbárium a magfém valamilyen aktív, kis mennyiségben jelenlevő, a báriumoxid redukálására alkalmas komponensének hatására, vagy az emissziós áram elektrolizáló hatásának következményeképpen keletkezik. Ezenkívül még megemlíthetjük, hogy több oxid jelenlétekor az oxidok szilárd oldatának kell keletkezni a maximális emisszió eléréséhez.

A magfém feladatát és jelentőségét a legkülönbözőbb kutatóintézetekben nagyon behatóan vizsgálták és a vizsgálatok eredményét sok közleményben ismertették. Ebből a munkából az Egyesült Izzó Elektroncsőlaboratóriuma is kivette a maga részét, mert pl. a szilícium jelenlétének káros voltára a nikkelen már évekkel korábban mutattunk rá, mint amikor EISENSTEIN [1] és társainak közleménye erről a kérdéstről megjelent. Munkánk eredménye újítási javaslat formájában került benyújtásra. Az újítási javaslatban azt javasoljuk, hogy a nikkell minőségi előírását a külföldi, elsősorban amerikai előírásokkal szemben változtassuk meg és a megengedett szilíciumtartalom a nikkelen 0,03%-ban maximáltassék.

Míg az oxidkatód magfémének, illetőleg annak összetételének jelentőségét már három évtizede felismerték és azóta a minőséget állandóan javítják, addig az emissziós réteg összetételének kérdésével lényegesen kevesebbet foglalkoztak. Az a vélemény alakult ki, hogy vannak kissé jobb, kissé gyengébb emissziós anyagösszetételek, az ezek közötti emissziós és élettartamkülönbségek azonban nem különösen jelentősek.

A fejlődés folyamán a következő emissziós réteggösszetételek alakultak ki :

1. A fémgőzös oxidkatódoknál az emissziós réteg tiszta báriumoxid volt.
2. A karbonátkatódoknál négy emissziós anyagtypust találunk.

a) Külön bárium- és külön stronciumkarbonátból 50—50 súlyszázalék arányban összekevert és összeőrölt kettős karbonátok.

b) Az equimolekuláris arányban stronciumkarbonátot és báriumkarbonátot tartalmazó emissziós anyag, amelynél azonban a kétféle karbonát elegykristályokat alkot, szilárd oldatban vannak és úgy készülnek, hogy a karbonátokat báriumnitrát és stronciumnitrát oldatának keverékéből nátrium- vagy ammoniumkarbonáttal kicsapják.

c) 13% kalciumkarbonátot tartalmazó bárium-, stroncium-, kalciumkarbonát elegykristályok. A pontos összetétel :

Báriumkarbonát .....	56%
Stronciumkarbonát .....	31%
Kalciumkarbonát .....	13%

d) 5—7% kálciumkarbonátot tartalmazó bárium-, stroncium-, kálciumkarbonát elegykristályok. Pontos összetételük :

Báriumkarbonát .....	50%
Stronciumkarbonát .....	45%
Kálciumkarbonát .....	5%

A rádiócsövekben felhasznált oxidkatódok a felsorolt négy emissziós réteg valamelyikével készültek. Bizonyos esetekben egyik, bizonyos esetekben másik bizonyult előnyösebbnek, döntő minőségi különbséggel egyik sem rendelkezett a többiek felett. Sokáig azt tartották, hogy a kettős karbonátok emissziója jobb, mint a hármas karbonátoké. Az Egyesült Izzó Elektroncsőlaboratóriumában már 1934-ben ennek az ellenkezőjéről győződünk meg, és összes csöveinket a hármas karbonátok felhasználásával gyártottuk. Az elmúlt évtized folyamán külföldön is erre a meggyőződésre jutottak, magyarázatát mindmáig azonban nem tudták adni. (2)

A túlnyomólag használt közvetett fűtésű csövek katódjai túlméretezettek. A cső működéséhez szükséges elektronáram a katód emissziójának jelentéktelen tört részét képezi és így a katód telítési áramában fennálló különbségek a cső tértöltésáramában nem mutatkoznak. 1938—39-ben kerültek kidolgozásra a 25 mA fűtőáramú wolframmagfémmelel bíró 1,25 Volt fűtőfeszültségű telepes csövek. Ezeknek a csöveknek a katódfelülete olyan kicsiny volt, hogy a cső működéséhez szükséges elektronáram már a katódból kivethető összes elektronáram nagyságrendjébe esett. A végerősítő- és keverőcsöveknél az elektronáram által az emissziós rétegben létrehozott Joule-meleg lényegesen rövidítette a katód élettartamát.

Az 1,25 Voltos telepes csöveket azért fejlesztették ki, mert a nehéz és hordozható készülékekben alig használható akkumulátor helyett egycellás száraz telepet kívántak alkalmazni. A Leclanché-típusú száraz telepek kezdeti feszültsége 1,4—1,5 Volt, amely bekapcsolás után gyorsan 1,25 Voltra csökken, azután pedig lassú eséssel süllyed 0,9 Voltra. Tartamának túlnyomó részét 1,1 és 0,9 Volt között tölti el. A fűtőtelep jó kihasználása tehát olyan csöveket kívánt meg, amelyek 1,4 Volt fűtőfeszültség mellett még jó élettartammal bírnak, és 0,9 Voltnál még jó emissziót adnak. Ez a követelmény azt jelentette, hogy az oxidkatód kilépési munkája kisebb, hőmérsékletbírása pedig nagyobb legyen, mint az addig ismert oxidkatódoké. A fent felsorolt négy különböző összetételű emissziós réteg ezeknek a követelményeknek nem tudott eleget tenni.

Az Egyesült Izzó Elektroncsőlaboratóriumában kutatásokat indítottunk a wolframmagfémmelel bíró oxidkatódok minőségének a fenti követelményeket kielégítő megjavítására.

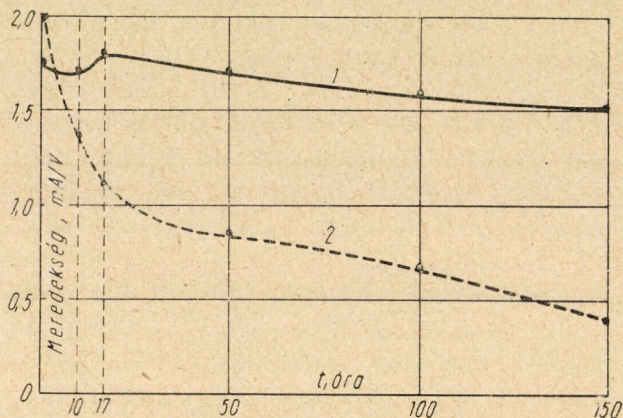
Ezen munkák eredményei hat szabadalomban kerültek nyilvánosságra.



Ismertetésüket mellőzöm, mert nem tartoznak a jelen előadás tárgykörébe, csupán egyről kívánok megemlékezni.

A hat szabadalom közül öt a kilépési munka csökkentését és a termikus hatások jelentős javítását tette lehetővé. Az élettartam megnövekedését magasabb hőmérsékleten (1,4 Volt fűtés) — azonban nem eredményezték.

Az 1942-es évben kísérletezés közben olyan összetételű emissziós anyagot sikerült találni, amely a fentebb felsorolt összes feltételeket kielégítette. Ez az emissziós anyag két molekula báriumkarbonát, egy molekula stronciumkarbonát és két molekula kalciumkarbonát szilárd oldata volt. Ezzel az



I. ábra. 3A4 miniatür adópentódák 0,9 V-on mért merevedtségének változása az oszcillációs órák függvényében. Folytonos vonal a 2 : 1 : 2 bevonatú katódájú csövek, a szaggatott vonal külföldi csövek viselkedését mutatja

anyaggal készült wolframmagfémű oxidkatódos csövek élettartama 1,4 Volt fűtés mellett is 1000 óra fölött volt, a vele készült csövek merevedése pedig 0,9 Volt fűtőfeszültség mellett is biztosította a cső kielégítő működését. Mindezekon felül ez az emissziós anyag lehetővé tette a katódokból kivehető emissziós áramsűrűség 100%-os megnövelését. Ennek az emissziós anyagnak segítségével vált lehetővé az ún. félfűtőáramú teleses csövek sorozatának kidolgozása és piacrahozatala. Azonos elektromos adatokkal bíró teleses csöveket tudtunk gyártani 50%-kal csökkentett fűtőtéljesítmény mellett. Ennek mind a teleses készülék tulajdonosa, mind népgazdaság szempontjából nagy jelentősége volt, mert a készülék üzemeltetési költségei legalább 50%-kal csökkentek. A csövek élettartama a lényegesen nagyobb emissziós igénybevétel ellenére sokkal jobb volt, mint a megfelelő kétszer nagyobb fűtőtéljesítményt igénylő külföldi csövek élettartama. Ezekből a csövekből a magyar ipar sok éven keresztül évi több millió darabot exportált a hazai felhasználáson túlmenőleg. Ennek a katódnak a kidolgozása 1942-ben történt meg. A háború miatt szabadalmi bejelentésre nem került sor és ez a háború

után is csak 1949-ben következett be, mert a csövek gyártását csak akkor tudtuk megkezdeni. (3)

Az osztrák szabadalom tartalmaz egy tartós égetési grafikont (1. ábra). A tartós égetést a 3A4 kis adópentódán végeztük oszcillátor kapcsolásban.

A grafikon abszcissza tengelye az égetési órákat mutatja, míg az ordináta tengelyen a 0,9 Volt feszültségnél mért aláfűtött meredekség van. A teljes vonallal kihúzott görbe az új összetételű nagy hőállóságú katód meredekségét mutatja az égetési óraszám függvényében, a szaggatott vonallal jelzett görbe azonos típusú külföldi cső viselkedését tünteti fel. A csövek mindkét esetben olyan erős túlterheléssel égtek oszcillátor kapcsolásban, hogy 150 órán belül tönkremenjenek. Mint látható, az új emissziós anyaggal készült cső meredeksége 150 óra égetés után csak jelentéktelen mértékben csökkent, ezzel szemben az azonos típusú, külföldi gyártmányú cső 50 órán belül gyakorlatilag tönkrement. A tartóségetési vizsgálatok azt mutatták, hogy az új emissziós anyaggal általában a korábbiakkal szemben  $2\frac{1}{2}$ – $3\frac{1}{2}$ -szeres élettartam érhető el wolframmagfémű oxidkatódoknál.

Az új emissziós anyaggal készült csövek nem voltak azonosak minőség (emissziós terhelhetőség, élettartam) szempontjából a közvetlen háború előtti, illetőleg háború alatti telepes csövekkel az ún. D-csövekkel, hanem egészen új minőségi kategóriát jelentettek. Igaz ugyan, hogy már 1939-ben is piacra kerültek 25 mA fűtőáramú csövek, azonban ezek azonos fűtőteljesítmény mellett 50%-kal kevesebb emissziós árammal voltak igénybevehetőek, csak 1,1 Voltra voltak aláfűthetőek és lényegesen kisebb volt az élettartamuk. Az IR5T telepes keverőcső (pentagridkonverter) 0,9 Volton mért aláfűtött meredeksége 5,5–6 mA katódáram mellett történt 1000–2000 órás tartóségetés után még a tűréseken belül van, míg a régebbi emissziós anyaggal készült csövek 0,9 Volton mért aláfűtött meredeksége 100 órán belül gyakorlatilag zérusra csökkent.

A wolframmagfémmelel bíró oxidkatódok jelentőséggel bírnak a világítás-technikában mindjobban elterjedő fénycsövekben. A fénycsövek élettartamát kezdettől fogva a bennük használt oxidkatódok élettartama szabta meg. Noha az élettartamokban individuálisan nagy szórások voltak, átlagosan 2500 órás élettartam volt megállapítható. Ez a 2500 órás élettartam sem a katódkészítés gyártási módjának, sem az emissziós réteg összetételének változtatásával nem volt növelhető. Az emissziós réteg jobb, egyenletesebb, pl. kataforézis útján történő felvitele esetében az individuális szórások lényegesen csökkentek, az átlagos élettartam azonban nem nőtt meg. Ugyancsak nem nőtt meg az átlagos élettartam akkor sem, ha a bevezetésben ismertetett négy emissziós anyag bármelyikét alkalmaztuk is.

A fénycsövek 2500 órás élettartama rádióvevőcsövek élettartamához képest kicsiny. Ez visszavezethető a fénycsövekben mutatkozó ionbombázásra, valamint a gázkisülés jellegéből következő egyenlőtlen katódterhelésre, helyi túlhevülésekre és a bekapcsolásoknál jelentkező erősebb igénybevételre.

A telepes csövek katódjai számára kidolgozott emissziós anyag, amint láttuk, az addig használatos emissziós anyagokkal szemben wolframmagfém 2½—3½-szeres élettartamot ad, és lényegesen nagyobb működési hőmérsékletet bír el elfogadható élettartam mellett. Kézenfekvő volt a gondolat, hogy megkíséreljük ezt az emissziós anyagot a fénycsövekben is alkalmazni és várható volt, hogy az eddigi 2500 órás élettartam helyett 7—8000 órás élettartamot fogunk kapni. Ilyen értelmű javaslatot tettem a vállalat igazgatósága felé 1946 elején. A vállalatot ért háborús károk miatt azonban a fénycsőgyártás csak 1948—49-ben tudott megindulni és így a javasolt kísérleteket nem lehetett elvégezni. A közbeeső időben az amerikai Sylvania Electric Company bejelentette, hogy sikerült fénycsöveinek élettartamát 7500 órára feljavítani, a benne felhasznált oxidkatód minőségének megjavítása útján. Ezzel a korábbi 2500 órás élettartamú fénycsövek eladhatatlanokká váltak. Sylvania bejelentésének időpontjában még nem volt ismeretes, hogy az élettartam eme jelentős megnövelését milyen úton érték el.

Miután a magyar fénycsőgyártás megindult, a saját nagy élettartamú emissziós anyagunkat fénycsövekben megvizsgáltuk és megkaptuk a várt 7500 órás élettartamot. Különös gonddal készített csövek esetében 14—16 000 órás élettartamot is sikerült elérni. Ezt az emissziós anyagot néhány évre a gyártásba is bevezettük, zavaró jelenséggé mutatkozott azonban, hogy a csövek egy részénél a katódok közelében foltosodás volt észlelhető. Mint már korábban is ismert volt, ezúttal is megállapítható volt, hogy ezt a foltosodást a katódból kipárolgó, a búra falára lecsapódó és ott higannyal amalgámzódo báriumfém okozza.

A Sylvania cég részéről kidolgozott katódról később ismeretessé váltak bizonyos műszaki részletek. Ezekből megtudtuk, hogy a Sylvania emissziós anyagként a fent ismertetett kettős karbonátokat alkalmazza, amelyekhez azonban 4—6% zirkondioxidot kever. Ez az emissziós anyag a megnövekedett élettartam mellett a foltosodás mértékét is csökkenti.

A telepes csövek számára kidolgozott nagy élettartamú emissziós anyagot megkíséreltük közvetett fűtésű csövekben is alkalmazni. A közvetett fűtésű katódoknál a katódmagfém nikkelt. Az eredmények nem voltak kielégítőek. A telepes csöveknél olyan kiválóan bevált emissziós anyag nikkelt magfém esetében nehezen volt aktiválható, és a már aktivált katód emissziója tartós üzemben csökkent.

## II. Az oxidkatódok párolgása

Mindezek a tapasztalatok szükségessé tették olyan irányú vizsgálatok elindítását, amelyek felderítik, hogy milyen folyamatok játszódnak le az emissziós rétegben a katód készítése közben, valamint a tartós üzem folyamán. Miután könnyen beláthatólag elsősorban a katódok hőmérséklet-álló-



ságának fokozására volt szükség és a kis élettartam minden valószínűség szerint az emissziós anyag erős, a nagy élettartam pedig az emissziós anyag gyengébb párolgására vezethető vissza, az emissziós anyag párolgási sajátosságainak mérése mutatkozott szükségesnek.

Vizsgálataink elindításának időpontjáig aránylag kevés közlemény foglalkozik az oxidkatódok párolgásával. Az azóta felfedezett és kidolgozott készletkatódok legkedvezőbb sajátosságainak kialakíthatása céljából a földalkáloxiidok párolgásáról szóló közlemények száma ugrásszerűen megnőtt.

A különböző szerzők részéről használt módszerek az elpárolgott földalkáloxiidok, illetve a fémek mennyiségének meghatározására hat csoportba oszthatók.

### 1. *Gravimetriás módszerek*

Ezt a módszert alkalmazta CLAASSEN és VEENEMANS [4], akik báriumoxid, stronciumoxid és kalciumoxid, valamint kettős oxidok és hármas oxidok párolgási sebességét mérték meg. A párolgatás platinahengerről történt, hogy az oxidoknak az alapfém segítségével történő redukcióját elkerüljék. Méréseik eredményei a legújabb vizsgálatok tükrében is helyesnek bizonyultak.

HERRMAN [5] báriumoxid párolgási sebességét mérte különböző alapfémeken. A párolgási termékek mennyiségét szintén gravimetriás úton határozta meg. Eredményei kevésbé voltak időállóak, mint CLAASSEN és VEENEMANSÉ, amennyiben az általuk mért párolgási sebességből, illetőleg a gőznyomásból számított moláris párolgási hő későbbi vizsgálatok szerint nem bizonyult helyesnek.

BLEWETT, LIEBHAFSKY és HENELLY [6] megismételték az előbbi szerzők méréseit és a hőmérsékletmérések bizonytalanságának elkerülésére KNUDSEN módszerét alkalmazták. Egyébként a földalkáloxiidok mennyiségének meghatározása itt is gravimetriásan történt. Az eredmények CLAASSEN és VEENEMANS méréseinek eredményét igazolták.

### 2. *Tömegspektrométeres vizsgálatok*

PLUMLEE és SMITH [7] Nier-típusú spektrométerrel vizsgálták az elektroncsövekben használt anyagok párolgási sajátosságait.

ALDRICH [8] tömegspektrométerrel vizsgálta a különböző fémekre felvitt báriumoxid, valamint platinára felvitt stronciumoxid párolgási sebességét. A használt műszer a Nier-típusú spektrométerhez hasonlított, csak ionforrásban és a gyűjtőberendezésben különbözött tőle. Ugyancsak tömegspektrométeres módszerrel vizsgálja PELCHOVITSCH [9] báriumoxid, stronciumoxid és kalciumoxid párolgását platináról, tantálról és nikkeltől. Hasonlóképpen tömegspektrométeres módszereket ismertetnek BLEWETT és JONES [10] és BARTON és HELNWELL [11].



3. Az elpárolgott szabad fémbárium mennyiségét a báriumoxid mellett JENKINS és NEWTON [12] a *vizgőzreakciót* felhasználó módszerrel határozzák meg.

#### 4. Radioaktív nyomelemek módszere

Ezt a módszert alkalmazzák MOORE és ALLISON [13], MOORE, ALLISON és STRUTHERS [14], LEVERTON és SHEPHERD [15], DZANTIJEV, MILLER, NYIKOSZOV [16].

5. *Spektrokémiai módszert* használtak vizsgálataiknál WOOTEN, RUEHLE és MOORE [17].

6. *Termionos módszer.* Ennek a módszernek a lényege az, hogy az oxidkatód-ból kipárolgó anyagokat erősen letisztított wolframszálra csapatják le és a maximális elektronemisszió kialakulásából megállapítják, hogy mennyi idő alatt képződik a wolframszálon egyatomos földalkálioxidréteg. Az egyatomos réteg képzéséhez szükséges földalkáli fém vagy földalkálioxidmennyiség ismeretének birtokában a párolgási sebesség meghatározható. Ez a módszer BECKERTŐL [18] származik és újabb időben ennek a módszernek segítségével állapították meg BRODIE és JENKINS [19], [20] és [21] az L-katódok és impregnált készletkatódok párolgási viszonyait.

Az ismertetett módszerek közül a gravimetriás és a spektroszkópi módszernek az az előnye, hogy segítségével az elpárolgott anyagok összmenyisége mérhető, míg a többi módszereknél, pl. a tömegspektrométeres módszerrel az elpárolgott mennyiségnek csak tört része vizsgálható és így csak viszonyszámok kaphatók. Csak arra kaphatunk felvilágosítást, hogy mi az elpárolgó különböző komponensek aránya. Ezzel szemben a gravimetriás módszerrel nem tudható meg, hogy a különböző komponensek milyen alakban párolognak el. Erre viszont nagy részletességgel nyújtanak felvilágosítást a tömegspektrométeres módszerek.

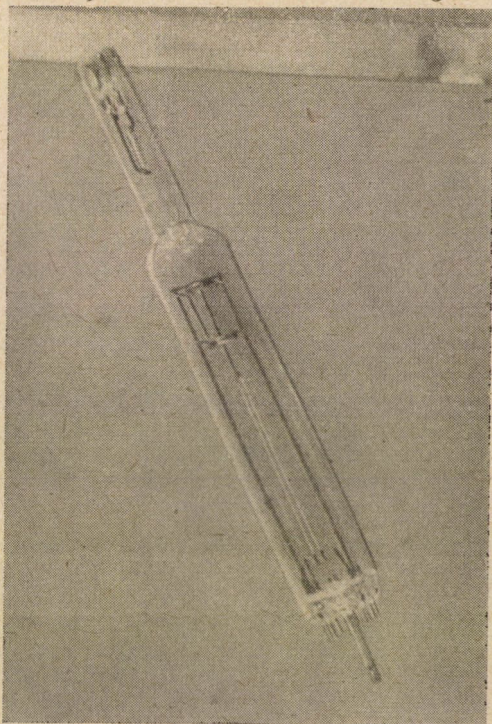
### III. A mérési módszer

Saját munkánk elvégzéséhez hazai adottságainkkal kellett számolni. Tömegspektrométerünk nem volt. A gravimetriás módszerrel a szükséges nagyszámú kísérletet belátható időn belül elvégezni nem lehetett. Radioaktív izotópok és azok metodikája a kísérletek elindításának időpontjában rendelkezésre nem állottak.

Megbízta munkatársaimat, VÁRADI F. PÉTERT és GERGELY GYÖRGYÖT, hogy dolgozzanak ki módszert a földalkáli fémek meghatározására, amely az oxidkatódos csövek gyártása és tartós üzeme közben elpárolgó földalkáli

fémek mennyiségének meghatározására alkalmas. Munkatársaim a lángfotométeres módszert választották. A különben ismert módszert olyan mértékben fejlesztették tovább, hogy annak érzékenysége lényegesen jobb lett, mint ami az irodalomból addig ismeretes volt.

Munkájukat [22], [23] és [24], [26] alatt idézett közleményekben ismertették. Ugyancsak meg kell még itt emlékezni HEGEDÜS ANDRÁS, MILLNER TIVADAR és PUNGOR ERNŐ [25] szintén hasonló tárgyú munkájáról.



2. ábra. A mérőcső fényképe

A kidolgozott módszerrel báriumból  $0,6 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ , stronciumból  $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  és káliumból  $0,09 \mu\text{g}/\text{cm}^3$  mennyiségek még meghatározhatók. A módszer lehetővé tette, egyetlen 25 milliamperes telepes fonal emissziós bevonatának, azaz 20 mikrogramm anyagnak kvantitatív, néhány perc alatt történő meg-elemzését és az emissziós bevonat összetételének és annak tartós égetés közbeni változásának megállapítását, éspedig  $\pm 5\%$  pontossággal. A módszer nem ad választ arra, hogy a földalkáli fémekből mennyi párolog el oxid alakjában és mennyi fém alakjában, arra sem ad felvilágosítást, hogy a magfémrel történő kémiai reakciók termékeiből mi párolog el, azonban egyéb szerzők eredményeinek ismeretében erre is következtetni lehet. A módszer nagy érzékenysége

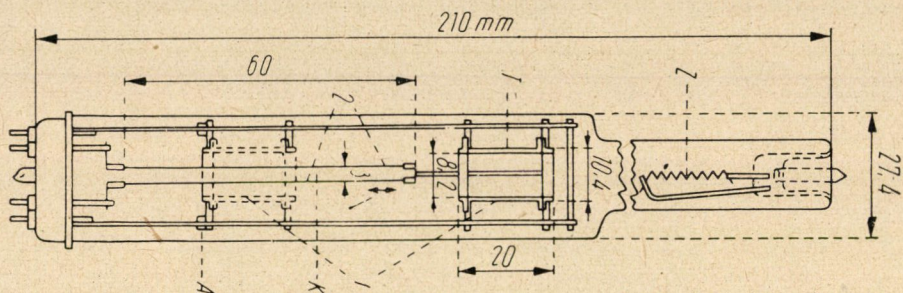


viszont lehetővé teszi a párolgás folyamatának kis hőmérsékleteken és kis időközökben történő figyelemmel kísérését és betekintést nyújt az emissziós réteg kialakulásának olyan mozzanataiba, amire eddig nem volt lehetőség.

A mérési módszer részleteit illetően utalok a felsorolt irodalomra [22, 23, 24, 25, 26], ehelyütt csak a módszer néhány vákuumtechnikai vonatkozását kívánom ismertetni. A 2. ábra a mérőcső fényképét mutatja.

A 3. ábrán a vizsgálati cső hosszmetsetben látható.

A 3. ábrában *Z* izzítható zirkongetter spirális *K* huzal alakú bevont katód, *T* eltolható, átlátszó kvarcüvegből készült henger az elpárolgó földalkálioxidok felfogására. A zirkongetterdrót átmérője: 0,5 mm, a katóddrót átmérője 0,1 mm, katódként két párhuzamosan kifeszített drótot használunk, hosszúsága  $2 \times 60$  mm. A párolgásra vizsgálandó emissziós anyagot



3. ábra. A mérőcső hosszmetsete

a drótra kataforézis útján vittük fel. A felvitt réteg vastagsága 22 mikron volt. A mérőcső szerkezetét az utolsó közlemény [26] megjelenése óta kis mértékben módosítottuk abból a célból, hogy a hőmérséklet-eloszlást a drót mentén egyenletesebbé tegyük. Mérési hibák elkerülése céljából a korábban használt báriumgettert zirkongetterrel helyettesítettük. A mérőcső működési elve egyébként változatlan maradt. Az izzókatódról elpárolgó földalkálioxidok a katódot körülvevő kvarchengeren kondenzálódnak. Szivattyúzás és égetés után a vizsgálati csöveket felbontjuk és mind a katódon maradt, mind a kvarchengerre párolgott földalkálioxidokat kvarcedényben salétromsavban feloldjuk, az oldatokat infralámpa alatt háromszor bepároljuk, a harmadik bepárlás után a majdnem száraz nitrátokat ismert térfogatú desztillált vízben oldjuk és az oldatokban jelenlevő földalkálifémek mennyiségét lángfotométerrel meghatározzuk. A kvarchenger a mérőcső egyszerű 180 fokos megfordítása útján eltolható, és ütközők segítségével egy alsó és egy felső szélső helyzetben rögzíthető. Az egyik szélső helyzetben a kvarchenger nem veszi körül a katódot, a másik szélső helyzetben ellenben éppen a katód középső, egyenletes hőmérsékletű részével kerül szembe. A kvarchengert abban az időpont-

ban toltuk mindig a katód fölé, amely időponttól kezdve a földalkáloxid párolgását mérni kívántuk. Lehetséges volt tehát a párolgási sebesség mérésének megkezdése előtt a katódokat különböző szempontok szerint hőkezelti.

A későbbiek során a katód hőkezelésének két típusát alakítottuk ki. Az első típusú hőkezelésnél a katódot kezdettől fogva vákuumban izzítottuk, a másikonál a hőkezelés első szakaszát argonatmoszférában végeztük. E két-féle hőkezelés alkalmazása azért látszott célszerűnek, mert a későbbi vizsgálatok során szükségesnek mutatkozott az oxidréteget úgy izzítani, hogy közben a párolgás minimális legyen.

### III/a. A vizsgálati csövek vákuumtechnikai kezelése

#### Vákuumban kezelt csövek szivattyúzása

A villára felforrasztott csöveket  $10^{-5}$  Torr nyomásra leszívjuk. Utána 400–410 C°-on 15 percig melegítjük\* és a zirkongettert 3 percig 3,5–3,8 A áramerősséggel kb. 900 C°-ra izzítjuk. A zirkon izzítása után a földalkálikarbonátok oxiddá alakítása következik. Ennek menete a következő:

Fűtőfeszültség V	Fűtőáram A	Hőmérséklet C°	Idő percekben
3,5	0,73	850— 900	4
6	0,97	1060	1
4	0,78	950—1000	1

A karbonátok elbontása után a zirkongettert 3,5–3,8 A-rel egy percig újból izzítjuk, a csöveket  $10^{-5}$  Torr körüli vákuumra tovább szivattyúzzuk és leforrasztjuk a villáról.

A hőfokadatokat egy kiszivattyúzott cső fűtőfeszültség-hőmérséklet görbéjéből állapítottuk meg. A görbét optikai pirométerrel vettük fel.

#### Részben argonatmoszférában kezelt csövek szivattyúzása

A szivattyúzás kezdeti lépései, mint a melegítés, a getterezés és a katód-izzításnak első két lépése (4 és 1 perces) azonosak a csak vákuumban kezelt

\* A szerző itt a „kályháztuk” szót használta, amely az izzólámpa-gyártásban járatos és elfogadott kifejezés. Véleményünk szerint tudományos szövegben ebben az értelemben nem használható, mert nem eléggé kifejező. Nem új dolog, hogy egyes kohászati berendezések elnevezésére, mint amilyen pl. a Martin-kemence, Ózdon kemencét, Diósgyőrött pestet, Csepelen pedig kályhát mondtak. Ez Budapestre és környékére nézve szinte tájszólás jelleget ad a szónak, ami viszont nem mondható a tudományos nyelvben használatos kemencére, de a pestre sem. (A szerk.)



csövek szivattyúzásának megfelelő lépéseivel. Ezután a csöveket 750 Torr nyomásra tiszta szárított argonnal megtöltöttük és a katódokat az argon-atmoszférában 9 V fűtőfeszültséggel 1060–1100 C° hőmérsékleten 5 percig izzítottuk. Ezután az argont leszívtuk, míg a vákuum jobb lett, mint  $10^{-5}$  Torr. A katódokat még egyszer egy percig 4 Volt feszültséggel, utána a zirkon-gettert 3,8 A árammal szintén egy percig izzítottuk és a csöveket a szivattyúról leforrasztottuk.

A mérési metodika kialakításának első idejében minden mérési pont meghatározásához 10 mérőcsövet használtunk fel és a kapott eredmények átlagát vettük. A jelenlegi jobb reprodukálhatóság lehetővé tette, hogy egy mérési pont már 5 db mérőcső adatainak felhasználásával kielégítő megbízhatósággal meghatározható legyen.

Egy párolgási pont megállapításához felhasznált 5 darabos mérőcső-csoport egyenkénti analízis eredményeit az 1. táblázat tünteti fel.

1. táblázat

*A párolgási görbe egy pontjának meghatározásához felhasznált 5 db mérőcső analízisének eredményei*

A n ó d			K a t ó d		
Ba μg	Sr μg	Ca μg	Ba μg	Sr μg	Ca μg
36	10,2	6,6	141	96,6	133,8
28	8,8	7,2	147	105	154,8
30	8,2	6	147	101,4	133,8
26	9,4	6,2	141	96,6	138
32,8	9,6	8,6	144	98,4	142,5
<i>Átlag:</i>					
30,6	9,2	6,9	144	99,6	140,6

#### IV. Mérési eredmények

##### a) *A megvizsgált különböző összetételű emissziós rétegek*

Első feladatként annak megállapítását tűztük ki, hogy a wolframmag-fémmel bíró és

- 2 mol báriumkarbonát
- 1 mol stronciumkarbonát
- 2 mol kalciumkarbonát

összetételű emissziós réteget hordozó oxidkatódok nagyobb élettartama és emissziós terhelhetősége fenti összetételű emissziós réteg kisebb párolgási

sebességével magyarázható-e, vagy sem. Hogy ez megállapítható legyen, bevontunk kataforetikus módszerrel 0,1 mm  $\varnothing$  wolframdrótot:

a) tiszta báriumkarbonáttal.

b) báriumkarbonátot és stronciumkarbonátot equimolekuláris arányban tartalmazó elegykristályokkal (ezeket a továbbiakban röviden „kettős karbonátok” névvel jelzem).

c) 50 súlyrész báriumkarbonátot, 45 súlyrész stronciumkarbonátot, 5 súlyrész kalciumkarbonátot tartalmazó elegykristályokkal (jelzésük a továbbiakban: „5% kalciumkarbonátot tartalmazó hármass karbonát”).

d) 2 mol báriumkarbonátot, 1 mol stronciumkarbonátot, 2 mol kalciumkarbonátot tartalmazó elegykristályokkal (jelzésük a továbbiakban „2 : 1 : 2”).

e) A következő összetételű zirkondioxidot tartalmazó emissziós anyaggal

50 sr. báriumkarbonát  
30 sr. stronciumkarbonát  
20 sr. kalciumkarbonát  
4 sr. zirkondioxid.

Ennek az emissziós anyagnak a jelzése a továbbiakban „zirkondioxid-tartalmú hármass karbonát”.

#### b) Különböző emissziós rétegek párolgási görbéjének meghatározása 1500 K°-on

Az első mérések azt a célt szolgálták, hogy a párolgási viszonyokról körülbelüli kvantitatív áttekintést kapjunk. Gyorsabb eredmény elérése céljából a katódokat viszonylag magas hőmérsékleten, mégpedig 1500 K° hőmérsékleten izzítottuk. Meghatároztuk az elpárolgó báriumoxid, stronciumoxid és kalciumoxid mennyiségeit 2—5—15—30—45 percnyi izzítási idő után. Az elpárolgó földalkáli mennyiségek leolvashatók a 4. ábrából.

A 4. sz. és a későbbiekben következő párolgási görbéket feltüntető ábrák közös jellegzetességei a következők: Az abszcissa tengelyre az izzítási időket percekben, ill. órákban, az ordináta tengelyre a katódnak a kvarchengerrel körülvevett részéről elpárolgó földalkáli fém mennyiségeit vittük fel,  $\mu\text{g}$ -okban. Az égetési hőmérséklet a 4. ábra példájában 1500 K°, az összes későbbieknél 950 C°.

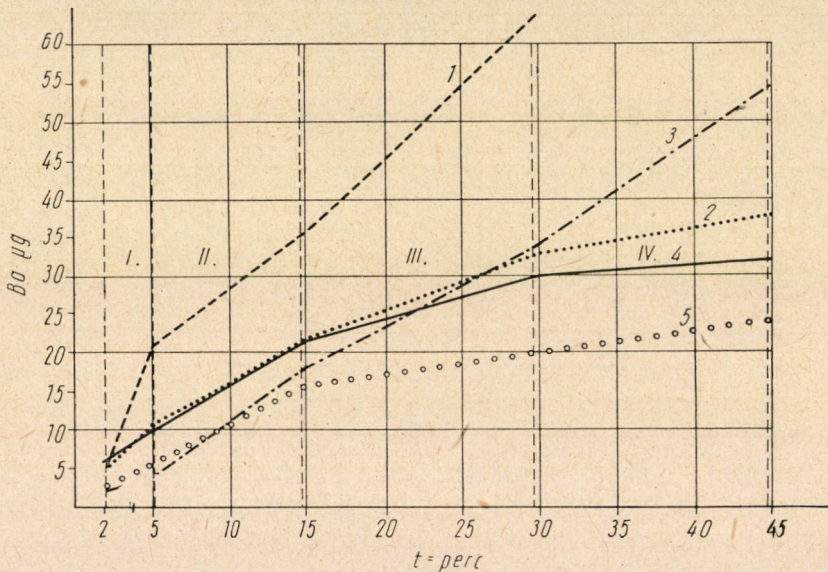
A 4. ábrában az abszcissa tengelyen a mérési időket olvashatjuk le percekben, az ordináták az elpárolgott bárium-mennyiségeket tüntetik fel mikrogrammokban. A görbék könnyebb értékelése céljából a leolvasható számértékekből a 2. táblázatot állítottam össze.

## 2. táblázat

A táblázat mutatja a 4. ábrában megadott öt különböző emissziós anyagból a bárium átlagos párolgási sebességét  $\mu\text{g}/\text{óra}$ -ban négy különböző idő-intervallumban. Izzítási hőmérséklet:  $1500\text{ K}^\circ$

Emissziós anyag	Párolgási sebesség $\mu\text{g}/\text{óra}$			
	2'—5'	5'—15'	15'—30'	30'—45'
$\text{BaCO}_3$	320	96	112	—
Hármas karbonát 5% CaO-dal	40	84	64	84
2 : 1 : 2 Hármas karbonát	80	72	32	8
Kettős karbonát	120	66	44	20
Zirkondioxid-tartalmú hármás karbonát	70	60	16	16

Ezeket a méréseket abban az időben végeztük, amikor a mérési módszer még nem volt eléggé kifinomítva. Ezért találhatók bizonyos szórások és ellent-



4. ábra. A különböző összetételű emissziós rétegekből elpárolgó bárium mennyisége a párolgási idő függvényében

Magfém:  $0,1\text{ mm } \varnothing$  wolfram. Izzítási hőmérséklet:  $1500\text{ K}^\circ$ . 1. sz. görbe: tiszta báriumoxid. 2. sz. görbe: „kettős karbonátok”. 3. sz. görbe: „hármás karbonátok 5% kalciumkarbonát tartalommal”. 4. sz. görbe: 2 : 1 : 2 emissziós réteg. 5. sz. görbe: zirkondioxid tartalmú hármás karbonát

mondások is. Az izzítási hőmérséklet ( $1500\text{ K}^\circ$ ) is túl magas volt ahhoz, hogy a szórás szint eléggé kis értéken lett volna tartható. A 4. ábra görbéire vonatkozólag a következőket kívánom még megemlíteni: Az elpárolgó bárium meghatározása öt különböző izzítási idő után történt. Ezzel négy különböző

időközben lehetséges volt a párolgási sebességet, illetőleg a párolgási sebességgel arányos értékeket meghatározni. Azért nem a párolgási sebességeket, mert az elpárolgó bárium mennyiségét nem tudtuk  $1 \text{ cm}^2$  katódfelületre átszámítani. Tekintettel azonban arra a körülményre, hogy a párolgás szempontjából tekintetbe jövő katódfelületek az összes megvizsgált emissziós anyagoknál azonosak voltak, az egy óra izzítási időre átszámított elpárolgott anyagmennyiségek a párolgási sebességekkel arányosoknak tekinthetők. Ezek előrebecsátása után a 4. ábra görbéiből a következő tények állapíthatók meg:

a) A tiszta báriumoxid párolgási sebessége lényegesen nagyobb, mint a báriumoxid párolgási sebessége több földalkálioxid-komponenst tartalmazó rétegekből.

b) A báriumoxid párolgása az 5% kalciumoxidot tartalmazó hármass oxidokból valamivel erősebb, mint a kettős oxidokból. A párolgási sebesség azonban konstans és független az izzítási időtartamtól. A görbén látható és a táblázatból is kiolvasható ingadozások kétségtelenül mérési szórásokból származnak.

c) Meglepetést hozott a 2 : 1 : 2 összetételű emissziós anyag. A bevezetésben részletesen elmondottam, hogy ezzel az emissziós anyaggal  $2\frac{1}{2}$ – $3\frac{1}{2}$ -szere élettartamok voltak elérhetőek más összetételű emissziós rétegekhez viszonyítva. A 4. ábra 4. sz. görbéje és a 2. táblázat azt mutatja, hogy az égetés kezdeti szakaszában a 2 : 1 : 2 emissziós anyag párolgási sebessége alig kisebb, mint a kettős oxidoké. Az izzítási idő előrehaladtával a 2 : 1 : 2 emissziós anyag párolgási sebessége erősen csökken és olyan kis értéket ér el, amely kisebb, mint a megvizsgált emissziós anyagok bármelyikének párolgási sebessége. Ezt mind a 2. táblázat adatai, mind a 4. ábra 4. sz. görbéje igazolják. A párolgási sebesség ui. az izzítás 4. szakaszában  $8 \mu\text{g}/\text{óra}$ , ez a 2. táblázat minden párolgási sebességi adatánál kisebb. Az ábrát tekintve, a 4. sz. görbe meredeksége  $30'$  és  $45'$  közötti szakaszban kisebb, mint bármelyik görbénél. Harminc perc izzítási idő után a 4. sz. görbe az időtengellyel a legkisebb szöveget zárja be.

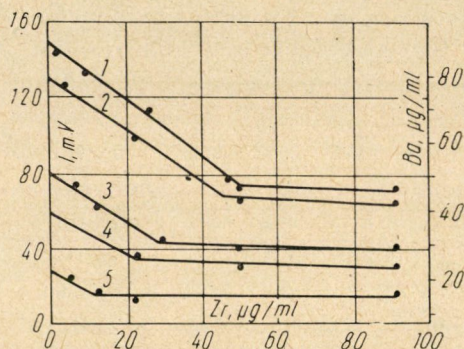
A mennyiségi viszonyok a görbéből nem láthatók elég jól, de azt megállapíthatjuk, hogy ebben az égési szakaszban a 2 : 1 : 2 párolgási sebessége a zirkondioxid tartalmú emissziós anyag párolgási sebességének alig fele. A párolgási görbe alakja teljes magyarázatot ad ezen összetételű emissziós anyag viselkedésére a fénycsövekben. A foltképződés oka a kezdeti erős bárium-párolgás, a nagy élettartam viszont megmagyarázható a párolgási görbe kis meredekségével az égetés negyedik szakaszában.

Felmerül a kérdés, hogy a 4. ábrán látható görbék elég jelentős szórása feljogosít-e olyan konzekvenciák levonására, hogy pl. a 2 : 1 : 2 párolgási sebessége az égetési idő 4. szakaszában alig fele a zirkondioxidos anyag párolgási sebességének. Ennek eldöntésekor a gyakorlati tapasztalatokat is tekintetbe kellett venni, főleg azt, hogy az élettartam-vizsgálatok eredményei a 4. ábra



görbéit valószínűsítették. Ezért volt értelme a kapott eredmények további vizsgálatának.

d) A zirkondioxid tartalmú emissziós anyag párolgási sebessége az izzítás kezdetén valamennyi emissziós anyag párolgási sebességénél kisebb. Ez azonban alig változik az égetési idő folyamán. A báriumoxid párolgási sebességének csökkenése és időtől függetlensége a zirkondioxid-adalék hatására, magyarázatot ad a fénycsövek megnövekedett élettartamára, ennek az emissziós anyagnak az alkalmazásánál. A kismerelekségű, kezdeti párolgási szakasz pedig magyarázatot ad a foltképződés csökkenésére. A zirkondioxid-adalék hatásmechanizmusa már a mérési módszer kidolgozásánál megállapítható volt, amint ezt ÁDÁM és ETTRE [24] közleményéből olvashatjuk. Ők meg-



5. ábra. A zirkondioxid hatása a bárium fényemissziójára, a zirkon- és báriumkoncentráció függvényében [24]

állapították, hogy amikor a vizsgálandó oldatban bárium és stroncium mellett zirkon is van, a két földalkáli fém fényemissziója csökken, ezért a lángfotométeres elemzési módszer stronciumra és báriumra túl kis értékeket ad. Az idézett közleményben található ábra megmutatja, hogy milyen törvényszerűség szerint függ a bárium fényemissziója az oldatban jelenlevő zirkon mennyiségétől. A görbék arra mutatnak, hogy a báriumoxid- és zirkondioxidból sztöchiometriailag definiált összetételű vegyület keletkezik és ennek a vegyületnek a disszociációs tenziója kisebb, mint a tiszta báriumoxid tenziója. A báriumoxid párolgási sebessége a zirkondioxid tartalmú emissziós anyagból ennek a vegyületnek a képződése folytán csökken és ez a vegyület minden valószínűség szerint a lángfotométer porlasztópisztolyának lángjában képződik (5. ábra).

Az 5. ábrából láthatjuk, hogy zirkondioxid jelenlétében a bárium fényemissziója azonos báriumkoncentráció mellett kisebb lesz. A csökkenés először arányos a zirkonkoncentrációval, egy meghatározott zirkonkoncentrációtól kezdve a görbe párhuzamosan fut az X-tengellyel.

c)  $A 2 : 1 : 2$  emissziós anyag párolgási görbájének további vizsgálata

Nagy gyakorlati jelentőséggel bír, hogy a 4. ábra görbéi alakjának helyes okait feltárjuk és a párolgási sebesség időbeli csökkenésére a helyes magyarázatot meg tudjuk adni. Ha sikerülne oxidkatódokat készíteni, amelyeknek párolgási tulajdonságai kezdettől fogva olyanok lennének, mint amit a 4. ábra 4. sz. görbájének utolsó szakasza mutat, úgy a velük készült vákuumtechnikai termékek: fénycsövek, elektroncsövek stb. élettartama, minősége, jelentősen megjavítható lenne.

Ismeretes, hogy az oxidkatódok készítéséhez a megfelelő földalkáli-karbonátok elegykristályait szokás használni. Az elegykristályok használata a komponensek bensőbb, egyenletesebb elkeveredését jelenti és gyorsabb aktiválódást biztosít, szemben azzal az esettel, amikor a karbonát-komponenseket mechanikailag keverjük és őröljük össze. Az is ismeretes, hogy a kész oxidkatódban a kedvező kilépési munka eléréséhez a földalkálioxidoknak szilárd oldatban kell jelen lenniök. A földalkális-karbonátok elbontásakor akkor is az egyes szabad földalkálioxidok keletkeznek, ha az elbontás előtt a karbonátok szilárd oldat alakjában voltak jelen. A szabad egyes oxidoknak ezután kell szilárd oldatba átmenniök és ez a katódaktiválásnak részét képezi, ahogy azt E. P. OSZTAPCSENKO [27] helyesen ismerte fel.

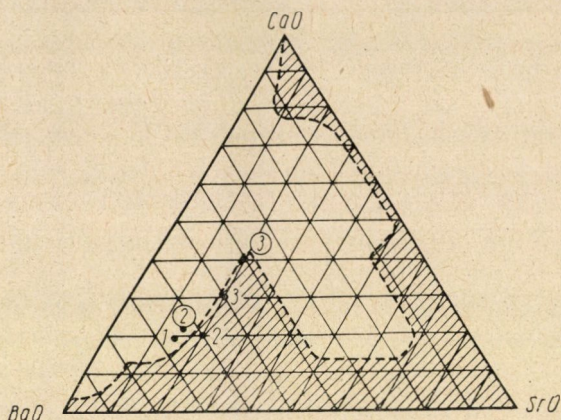
Az elmondottak szerint közvetlenül a karbonátok elbontása után az emissziós rétegben tehát szabad báriumoxid van jelen, amelynek gőztenziója és ennek megfelelően a párolgási sebessége a 4. ábra és a 2. táblázat adatai szerint lényegesen nagyobb, mint a szilárd oldatban levő báriumoxid tenziója. Feltételezhető volt tehát, hogy a báriumoxid erős párolgása addig tart, amíg az egyes oxidkomponensekből szilárd oldat keletkezik.

A kezdeti nagy párolgási sebesség következtében az emissziós anyagban jelentős báriumvesztés mutatkozik, és ezzel az emissziós réteg összetétele is megváltozik. Eldöntendő volt tehát, hogy az izzítás végső szakaszában bekövetkező kis párolgási sebesség a kiindulási összetétellel bíró szilárd oldat keletkezésével, vagy bizonyos alkatrészek elpárolgása folytán bekövetkező különleges összetétel kialakulásával magyarázható-e?

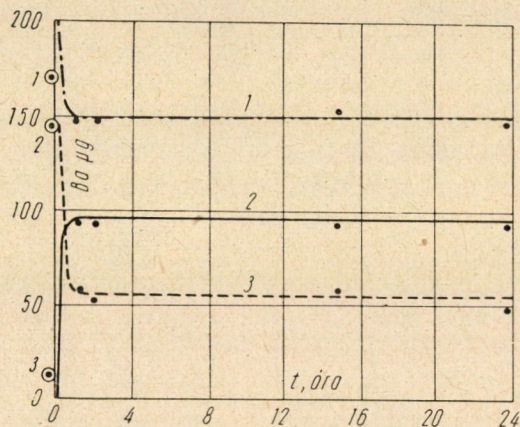
OSZTAPCSENKONAK idézett munkája [27] egy fázisdiagramot tartalmaz (6. ábra), amely szerint a három földalkálioxidot tartalmazó rendszernek van olyan tartománya, amelyen belül a három komponens egyfázisú szilárd oldatot képez. E tartományba nem beleső összetételek esetében tehát fennáll annak lehetősége, hogy a rendszer báriumoxidot nem oldott, hanem szabad állapotban tartalmaz, amelynek párolgási sebessége éppen ezért nagy.

A diagramban 1-gyel jelöltem a  $2 : 1 : 2$  emissziós anyag összetételnek megfelelő pontot. Amint látható, ez a pont az egyfázisú szilárd oldat tartomány határához közel van, de még a határon kívül esik. Ez alátámasztaná azt a feltevést, hogy a nem oldott, szabad állapotban jelenlevő báriumoxid





6. ábra. A három földalkálioxid fázisdiagramja OSZTAPCSENKÓ szerint [27]



7. ábra. Báriumoxid párolgási görbéje a 2 : 1 : 2 emissziós anyagból vákuumban. Izzítási hőmérséklet 950 C°

okozza a kezdeti nagy párolgási sebességet és vagy a fölös báriumoxid elpárolgása vagy az egyfázisú tartomány összetételének elérése után csökken a párolgási sebesség. A két feltevés közötti választás céljából két kísérletet végeztünk.

Készítettünk egy sorozat kísérleti csövet, melyeknél a wolframdrótokat a 2 : 1 : 2 emissziós anyaggal vontuk be. A kísérleti csövek felét a szokásos módon szivattyúztuk, a karbonátokat elbontottuk, utána a csöveket a szivattyúról leforrasztottuk. A kvarchengereket csak ezután töltük a katód fölé. A kísérleti csöveket ezután 950 C°-on 24 óráig izzítottuk. A kísérleti mennyiségből ez alatt az idő alatt 4–5 alkalommal vettünk ki mintákat és állapítottuk meg a kvarcanódra felpárolgó és a katódon megmaradó földalkáli mennyiségeket.

A mérések eredményei a 7. ábrán láthatók. Az ábra megmutatja az elpárolgó és a katódon visszamaradó báriummennyiségeket mikrogrammban, az égetési órák függvényében.

A 7. ábrán három, 1, 2, 3 jelzésű görbét és három 1, 2, 3 jelzésű bekarikázott pontot láthatunk. A 2. jelzésű pont mutatja a szivattyúzás után a katódon maradó, a 3. jelzésű pont a szivattyúzás alatt a kvarchengeren kondenzálódó báriumot, az 1. jelzésű pont a kettő összegét adja meg. A 2. sz. görbe feltünteti a kvarchengeren kondenzálódó bárium mennyiségét az izzítási idő függvényében, a 3. sz. görbe ugyanezt mutatja a katódon maradó báriummennyiségre vonatkozólag, az 1. sz. görbe a kettő összegét ábrázolja. A mérések megbízhatóságát mutatja az a tény, hogy a katódról eltűnő báriummennyiséget a kvarchengeren teljes mennyiségben meg lehet találni. A feltüntetett görbék a későbbiekben ismertetésre kerülő ábrákon is ugyanazt jelentik, mint a 7. ábrán.

Az ábrából látható, hogy a kb. 2 óráig tartó erős bárium párolgás után a párolgási sebesség  $950\text{ }^{\circ}\text{C}$  hőmérsékleten gyakorlatilag zérussá lesz. Ezzel látszólag igazolást nyert a 4. ábra 4. sz. görbéje.

A 7. ábra görbéi ennek ellenére lényegükben más jellegűek, mint a 4. ábra görbéi. Vonatkozik ez elsősorban az elpárolgó anyagmennyiségekre. A 2:1:2 emissziós rétegből a 4. ábra 4. sz. görbéje szerint 45 perc alatt  $1500\text{ }^{\circ}\text{K}$ -on összesen kb.  $32\text{--}34\text{ }\mu\text{g}$  bárium párolog ki, és a görbe menete szerint ez a mennyiség a további izzítás alatt alig nőne. A 7. ábra 2. sz. görbéje ellenben közel  $100\text{ }\mu\text{g}$  bárium elpárolgását jelzi cca  $1\frac{1}{2}$  óra izzítási idő után  $950\text{ }^{\circ}\text{C} = 1223\text{ }^{\circ}\text{K}$ , tehát lényegesen kisebb hőmérsékleten. A különböző párolgási sebességű szakaszok fizikai jellege a két ábrában nem tekinthető azonosnak. A 7. ábrán van egy egész nagy meredekségű, mintegy  $1\frac{1}{2}$  óráig tartó párolgási szakasz, ami után a párolgás gyakorlatilag megszűnik és a több mint 100%-kal nagyobb bárium ezen idő alatt párolog el. A 4. ábra 4. sz. görbéjénél ilyen nagy meredekségű szakaszt a párolgási görbén nem látunk, ezzel szemben a párolgási görbe meredeksége — a nagyobb izzítási hőmérséklet következtében mindenütt nagyobb mint zérus, tehát a görbék sehol sem párhuzamosak az abszcissza tengellyel.

A két ábra görbéinek eme jellegbeli különbségére magyarázatot adnak a következő megfontolások:

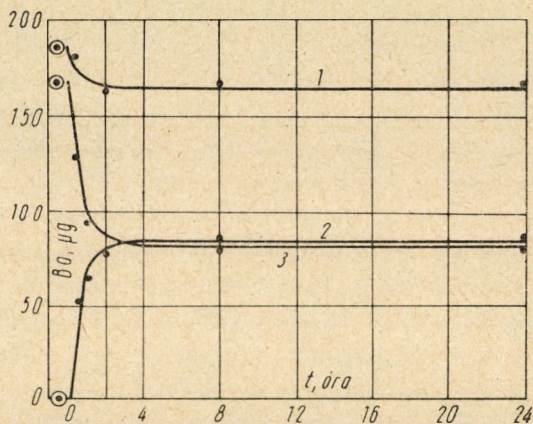
A mérőcsövek vákuumtechnikai kezelésénél a katódok a karbonátok oxiddá alakítása és az emissziós réteg megfelelő fizikai-kémiai szerkezetének kialakítása céljából már a szivattyúzás alatt is hőkezelést kapnak. A hőkezelés temperatúrája a 4. ábra csöveinél ugyanúgy  $1500\text{ }^{\circ}\text{K}$ , mint a párologtató izzítás alatt. A szivattyún végrehajtott izzítás alatt a kvarchengerkék nincsenek a katód fölé tolva, ez csak a szivattyúról való leforrasztás után, a párologtató izzítás előtt történik meg. A szivattyúzás alatt ennek következtében jelentős mennyiségű anyag párolog el, amely nem kerül elemzés alá. A 7. ábra



1½ óráig tartó meredek párolgási szakasza ezért már a szivattyúzás alatt lezajlik és az ekkor elpárolgó kb. 90  $\mu\text{g}$  bárium ez okból hiányzik. A 4. ábra kis meredekségű párolgási görbéi már a 7. ábra X-tengellyel párhuzamos szakaszainak felelnek meg, amelyek zérus meredeksége magasabb hőmérsékleten természetesen megszűnik.

A 4. ábra különböző meredekségű szakaszai az összetétel párolgás közbeni megváltozásának és más egyéb okoknak tulajdoníthatók.

A kezdeti erős párolgás, mint már szó volt róla, magyarázható esetleg a karbonátok elbontásakor keletkező szabad báriumoxid megjelenésével, a párolgás megszűnése pedig a földalkálioxidokból keletkező szilárd oldat kép-



8. ábra. A 2 : 1 : 2 emissziós anyagból kipárolgó bárium mennyisége az idő függvényében. Az oxidok szilárd oldatának veszteségmentes kialakítása céljából a katódok a karbonátok elbontása és a szén-sav elszívása után argonban 1100 C° hőmérsékleten 5 percig tartó hőkezelést kaptak. A párologtató izzítás 950 C° hőmérsékleten történt.

ződésével az izzítás alatt. Ennek eldöntése céljából olyan kísérletet kellett végezni, amelynél az oxidokat olyan magas hőfokra izzítjuk, amelyen az oxidok egymásba oldódása már aránylag gyorsan végbemegy és amellet lehet akadályozni, hogy az oxidréteg összetétele az izzítás folyamán az erős párolgás következtében megváltozzék. Ezt a célt elérhetni véltük oly módon, hogy a szilárd oldat képződését célzó izzítást nem vákuumban, hanem inert gázban, argonatmoszférában végeztük el, 5 pernyi 1050–1100 C° hőmérsékleten történő izzítással.

Az izzítási időt és hőmérsékletet azért választottuk így, mert OSZTAPCSENKO [27] közleményében megadja és röntgenspektroszkópi úton kísérletileg igazolja, hogy ezen a hőmérsékleten minden oxidkeverék, melynek összetétele az egyfázisú szilárd oldat tartományába esik, két-három perc alatt szilárd oldattá alakul át. Feltételezhető volt ti., hogy a három oxid szilárd oldatának

képződése a hőmérséklet és az izzítási idő függvénye és független a közegtől, amelyben az izzítás történik. A báriumoxid párolgási sebessége ezzel szemben az argonatmoszféra jelenléte következtében ismert módon erősen csökken.

A mérési eredményeket a 8. ábra tünteti fel.

Ha a 8. ábrát a 7. ábrával összehasonlítjuk, megállapíthatjuk, hogy az argonban történt izzítás folytán nem következett be alapvető változás a párolgási görbék jellegében. A 2. sz. görbe az égetés alatt a kvarchengeren kondenzálódott, a 3. sz. görbe a katódon visszamaradt bárium mennyiség változását tünteti fel az idő függvényében. Az 1. sz. görbe a kettő összege. Az argonban történő előizzítás következtében némileg csökken a katódról eltűnő bárium mennyisége (100 mikrogrammról 80 mikrogrammra), ugyanilyen mértékben csökken a kvarchengerre felpárolgó bárium mennyisége is, de a katód még így is elveszíti a kezdeti szakaszban az emissziós réteg báriumtartalmának a felét.

Kétórás izzítás után a kísérleti hőmérsékleten (950 C°) a párolgási görbék az abszcissa tengellyel párhuzamosra fordulnak, a párolgás tehát gyakorlatilag, legalábbis ezen a hőmérsékleten megszűnik.

Az argonkísérlet arra mutat, hogy a kezdeti erős párolgás után észlelt kis párolgási sebesség nem a szilárd oldat képződésének a következménye, tehát nem a báriumoxidban oldódó SrO, illetve CaO gőzteniő-csökkentő hatásának tulajdonítható.

Az argonkísérlet alapján a korábban felvetett második alternatív lehetőség megvizsgálása vált szükségessé, mely szerint a 2 : 1 : 2 emissziós anyag eredeti összetételében nem ad egyfázisú kis báriumoxidteniővel bíró szilárd oldatot, amint ez az OSZTAPCSENKO-féle fázisdiagramból (6. ábra) látható is. Ezért fel kellett tételezni, hogy a karbonátok elbontása és izzítása után legalább kétfázisból álló rendszert kapunk és ezek egyikének báriumoxidteniője nagy. Ez a nagyobb tenziő okozná a párolgási görbe nagymeredekségű szakaszát. A nagy báriumteniő folytán a réteg gyorsan elveszíti fölös báriumját, így ennek a fázisnak az összetétele megváltozik és átmege a kis gőzteniőjú fázis összetételébe.

A továbbiak során megelemezttük a katódon maradó kistenziőjú emissziós réteget és azt találtuk, hogy ennek összetétele a következő molekuláris aránynak felel meg :



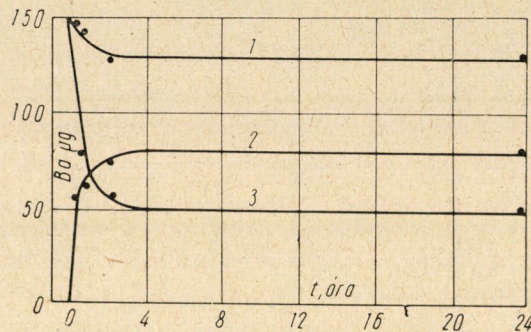
Ezen összetétel az Osztapcsenko-féle (6. ábra) fázisdiagram szerint beleesik az egyfázisú tartományba. A 6. ábrán az Osztapcsenko-diagramba bejegyezve látunk 5 pontot. 1, 2, 3 és ② ③ jelzéssel. Az ① jelzésű pont a kiindulási összetétel. Amint látszik, ez kívül esik az egyfázisú tartományon. A ② pont jelenti az oxidkeverék elbontás utáni összetételét, ha az elbontás argonkezelés nélkül történik. A ③ pont jelenti ugyanennek az emissziós anyagnak összetételét.



amikor az emissziós anyag párolgása megszűnt. A 2 jelenti az összetételt, ha az elbontás argonkezeléssel történt, a 3 pont jelzi ugyanennek a kis gőztenziójú összetételét. Megállapítható, hogy az égetés közben előálló kis báriumtenziójú keverékek mind a fázisdiagram egyfázisú tartományában vannak.

Fentieknek megfelelően az emissziós anyagot ebben az összetételben állítottuk elő és megvizsgáltuk annak párolgási sajátságait a korábbi kísérleteinknél ismertetett módszerrel. A mérések eredményét a 9. ábra mutatja.

Az ábrából az látható, hogy ennek az emissziós anyagnak párolgási görbéje gyakorlatilag nem különbözik a csak vákuumban kezelt 2:1:2 oxidelegykristály párolgási görbéjétől. A párolgási görbe kezdeti nagy- és



9. ábra. A 2:1,5:3 összetételű emissziós anyag párolgási görbéje

későbbi kismerekségű szakaszának magyarázatát tehát egyik alternatíva sem adja meg.

Mint említettem, a helyes ok felismerése gyakorlati szempontból nagyon fontos. A párolgási sebesség pl. a fénycsőveknél fordítva arányos azok élettartamával és az eddigi vizsgálati mérések megmutatták annak lehetőségét, hogy a hármas oxidokkal wolfram magfémén olyan oxidkatódokat lehet előállítani, amelyek segítségével vákuumtechnikai produktumok élettartama a korábbiaknak 2,5–3,5-szeresére növelhető és még az eddig legjobbnak talált zirkondioxidos emissziós anyaggal szemben is elérhető legalább kétszeres élettartam faktor.

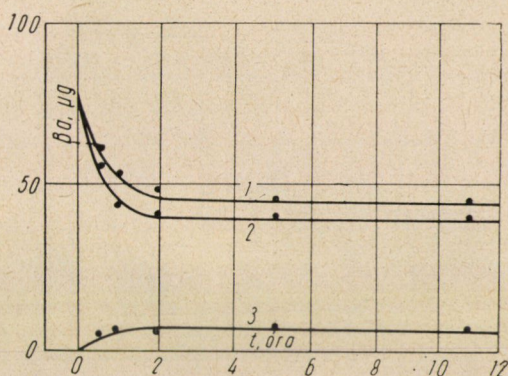
A nem párolgó oxidkatód azonban nemcsak az élettartam szempontjából fontos. Fontos a kezdeti párolgás visszaszorítása azért is, hogy csökkentjük a fénycsőveken az elektródák körül jelentkező foltképződést és a csövek fénycsökkenését használat közben. Az elektroncsőveknél lényeges a kezdeti párolgás visszaszorítása a rácsemiszió, nagyfeszültségű egyenirányító csöveknél pedig a visszagyújtási veszély csökkentése céljából. Lényeges tehát, hogy a kistenziójú, nem párolgó emissziós anyag ne a cső működése közben képződjék, hanem már a nem párolgó állapotban kerüljön beszerelésre.



A kérdés végleges tisztázása céljából a következő kísérletet végeztük:

A 7. ábra azt mutatja, hogy 2 : 1 : 2 emissziós anyaggal készült katódok 950 C° hőmérsékleten izzítva kb. 2 órán keresztül erős bárium párolgást mutatnak, majd két óra izzítás után a párolgás gyakorlatilag megszűnik. Azt kívántuk megtudni, hogy ilyen 2 : 1 : 2 emissziós anyaggal bevont katódot 950 C° hőmérsékleten 2 óráig vákuumban izzítva (az eddigi görbék szerint ezzel nem párolgó állapotba kerül) utána levegőre hozva, és egy másik kísérleti csőbe áthelyezve, megtartja-e a kétórás vákuumizzítás folytán kapott kis báriumtensziót. A mérések eredménye a 10. ábrából látható.

A görbék jelzései azonosak, mint a többi eddig tárgyalt ábrán. A 3. sz. görbe mutatja az elpárolgót, a 2. sz. görbe a katódon maradó, az 1. sz. görbe



10. ábra. A 2 : 1 : 2 emissziós anyag párolgási görbéje, ha a katódokat vákuumban, 950 C° hőmérsékleten, 2 órán át előizzítottuk és utána azokat új csővekbe szereltük át

az összes bárium mennyiségének megváltozását az idő függvényében. Mint látjuk, a kiindulási anyag mennyisége lényegesen kisebb, mint a 7. ábrából leolvasható anyag mennyisége, annak jeléül, hogy a katód a szivattyúzásnál és előégetésnél jelentős mennyiségű báriumot veszített. A katódon visszamaradó rétegnél azonban a kezdeti párolgás gyakorlatilag megszűnt és a kvarchengerre kerülő, tehát a vákuumtérbe jutó bárium mennyiség a korábbi kísérleteknél megállapított mennyiségeknek egytizedét sem éri el.

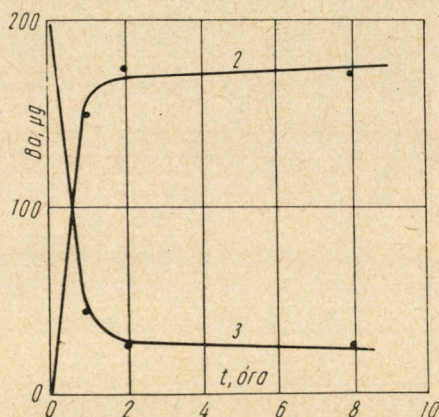
Ez a kísérlet tehát megmutatta, hogy a katód hozható a csőbeszerelés előtt olyan állapotba, amelyből nincs kezdeti párolgás, a kezdeti párolgás okait azonban nem tárta fel. A módszer mint gyártási eljárás nem lenne kellemes, mert ismeretes, hogy az összes földalkálioxidok erősen nedvesség- és szénsavérzékenyek, ez a tulajdonságuk térfogatváltozással és kémiai átalakulással jár együtt és ezért a gyakorlatban, illetve a tömeggyártásban nehezen alkalmazható.

Megemlítem még, hogy az irodalomban helyenként [28] olyan utalások is találhatóak, amelyek szerint a párolgás csökkenése az emissziós réteg felüle-



tén képződő tiszta SrO, illetőleg CaO-réteg keletkezésével magyarázható. Ezek a rétegek azért jönnek létre, mert a BaO gőztenziója nagyobb lévén, mint a CaO, illetőleg SrO gőztenziója, erősebben párolog, mint ez a két oxid, az emissziós réteg felülete báriumban tehát szegényedik. A párolgás későbbi szakaszában a bárium ezen a SrO-, illetőleg CaO-rétegen kénytelen átdiffundálni ahhoz, hogy a vákuumba jusson és így a párolgás lassulása érthető.

A párolgási sebesség csökkenésének egy további lehetséges magyarázata a közbeeső réteg (interface) képződése a magfém és az emissziós réteg között. Ezt a közbeeső réteget a wolframmagfém példájában bebizonyítottan a  $Ba_3WO_6$  vegyület alkotja [29]. A közbeeső réteg elválasztja egymástól a mag-



11. ábra. Tiszta báriumoxid párolgási görbéje platinamagfémről

fémet és a BaO-t és így megnehezíti az ezek között végbemenő reakciót. A két anyag (redukáló fém és a redukálandó BaO) csak a közbeeső rétegen keresztül történő diffúzió útján tudnak egymással érintkezésbe kerülni.

A felmerülő lehetséges magyarázatok helyes vagy helytelen voltának eldöntését legcélszerűbb volt ismét a kísérletre bízni. Megvizsgáltuk ezért tiszta BaO párolgását tiszta platina magfémről. Miután az emissziós réteget ekkor csak egy oxid alkotta, nem kellett attól tartani, hogy a réteg felülete más összetételű lesz, mint a réteg belseje. És mivel a platina a báriumoxidot nem redukálja, nem kellett zavaró közbeeső réteg keletkezésével számolni. A mérések eredményei a 11. ábrából olvashatók le.

Az ábra mutatja, hogy a kezdeti, mintegy 2 óráig tartó erős párolgás a tiszta báriumoxid és platinamagfém példájában is megvan és kb. 2 órai izzítás után a tiszta báriumoxid párolgási sebessége is erősen csökken és a további párolgás már kis sebességgel, az idővel arányosan megy tovább. A tiszta báriumoxid párolgási sebessége ebben a tartományban is nagyobb, mint a 2 : 1 : 2 emissziós anyag párolgási sebessége. A gőztenzió, illetőleg a

disszociációs tenzió ilyen mérvű különbsége a szilárd oldat képződésének gőz-tenzió-csökkentő hatásának tulajdonítható. Viszont a kezdeti nagymeredekségű párolgási szakasz megjelenését valamely olyan anyag jelenlétének kell tulajdonítani, ami a báriumoxiddal reakcióba lépve, ennek a nagy párolgási sebességnek megfelelő nagy tenziót eredményez.

A bevezetésben már említettem, hogy az oxidkatód magfémére két vagy három földalkálilikarbonát szilárd oldatát visszük fel szórás vagy kataforézis segítségével. Tulajdonképpen lakkot készítünk, melyben a pigment anyagot a földalkálilikarbonátok, a kötőanyagot pedig nitrocellulóz alkotják, az oldószer aceton, amilacetát, dietiloxalát stb. keveréke. Kötőanyagként a nitrocellulóz bizonyult a legalkalmasabbnak, mert a nitrálás folytán annyi oxigént tartalmaz, ami elméletileg elégséges az összes szén és hidrogén elégetéséhez. Maradékot tehát nem hagy hátra és így a katódot nem mérgezi. A nitrocellulóz a szivattyúzásnál már a melegítés alatt gázfelszabadulás közben elbomlik, a szivattyúedényből kijövő katód barnásfekete színt mutat, a nitrocellulózból elbomlás után visszamaradó szén jelenlétének következtében. Ezt a szén a karbonátok elbomlásakor fejlődő szénsav szénmonoxiddá égeti el. A folyamat lezajlása szemmel is figyelemmel kísérhető, mert a szén jelenléte miatt erősen sugárzó és így alacsony hőmérsékletű katód izzása azonos fűtőteljesítmény mellett a szén elégetése után sokkal élénkebbé lesz, ahogy mondani szokták: a katód kitisztul.

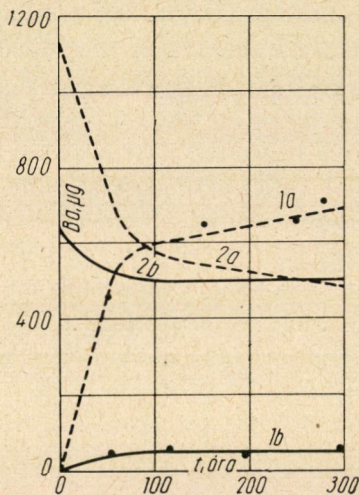
Eddig mindig azt tételeztük fel, hogy ez a nitrocellulózból visszamaradó és minimálisnak feltételezett szénmennyiség a fejlődő szénsav hatására teljes mennyiségben eltűnik az emissziós rétegből a kitisztulás alatt és a már fehér színű, élénken izzó katód rétegében gyakorlatilag semmi szén nem marad vissza. A legutóbb ismertetett kísérlet alapján azt kell feltételezni, hogy a szén jelentős része még jelen van a kitisztult katódban és a kezdeti erős párolgást annak redukáló hatása okozza. A BaO-C-rendszer rendelkezik a párolgási görbe kezdetben észlelt nagy meredekségével és ezt a szén már nem a szénsav, hanem a BaO égeti el fémbárium fejlődése közben.

Ennek az elképzelésnek ellenőrzésére olyan kötőanyagot kellett keresni, amiből nem marad vissza redukáló anyag. Ilyen kötőanyagok a földalkáli fémek nitrátjai. Ezek (kb. 1%-os) oldatát kevertük a földalkálilikarbonátokkal, a kapott szuszpenziót vittük fel a wolframdróra vagy a wolframspirálisra. A földalkálinitrátok további előnye, hogy izzítás után ugyanúgy földalkáli-oxidokká alakulnak, mint a karbonátok, bomlástermékeik tehát nem szennyezik az emissziós réteget és arányuk helyes kiválasztása esetében az összetételben sem okoznak eltolódást. A földalkálinitrátos kötőanyagot tartalmazó szuszpenzióval fénycsőspirálokat vontunk be mártás útján. A korábban ismertetett kísérletekben használt egyenes wolframdrót helyett azért használtunk wolframspirálist, mert a nitrátos emissziós anyag esetében nem rendelkezünk egyenes drótok bevonására alkalmas eljárással. A fénycsőspirálisok felülete



lényegesen nagyobb, mint a korábbi kísérleteknél használt  $2 \times 60$  mm hosszúságú és 0,1 mm átmérőjű wolframdrót felülete és így a felvitt anyagmennyiség is lényegesen több, kb. 10-szeres. A 12. ábra mérési adatai ezért a korábbi ábrák adataival nem hasonlíthatók össze. Hogy a kétféle kötőanyag hatása összehasonlítható legyen, két párhuzamos kísérletet végeztünk spirálison. Bevontuk a spirálisokat kötőanyagként

- a) nitrocellulózt
- b) földalkálinitrátokat



12. ábra. Báriumoxid párolgása fényesőspirálison. Bevonat összetétele: 2 : 1 : 2, égetési hőmérséklet  $950^{\circ}\text{C}$ . Az 1b és 2b-vel jelzett görbék a nitrátos, az 1a és 2a jelzésű görbék a nitrocellulózás kötőanyaggal készített emissziós anyagok Ba párolgását tüntetik fel

tartalmazó emissziós anyaggal. A karbonátok mindkét esetben 2 : 1 : 2 összetételűek voltak. A kísérleti csöveket égetésnek vetettük alá és mértük a párolgást. Az eredmények a 12. ábrából olvashatók le.

Az ábrán az

1a. görbe a nitrocellulózás emissziós rétegből elpárolgó, tehát a kvarc-hengerre jutó,

2a. görbe ugyanebből az emissziós rétegből a katódon visszamaradó báriummennyiséget tünteti fel az égetési órák függvényében.

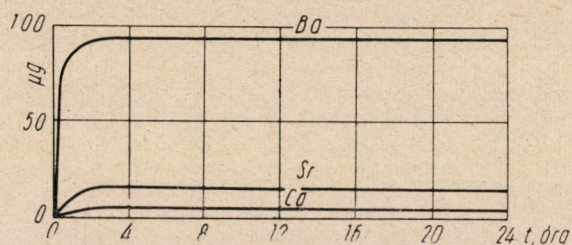
1b. görbe a nitrátos anyagból elpárolgó,

2b. görbe a nitrátos anyagból a katódon maradó bárium mennyiség időbeli változásait adja meg.

Amint látható, 100 óra alatt a nitrocellulózás rétegből kb.  $15 \times$  annyi bárium párolg el, mint a nitrátos rétegből ( $600 \mu\text{g} : 40 \mu\text{g}$ ) és a párolgási

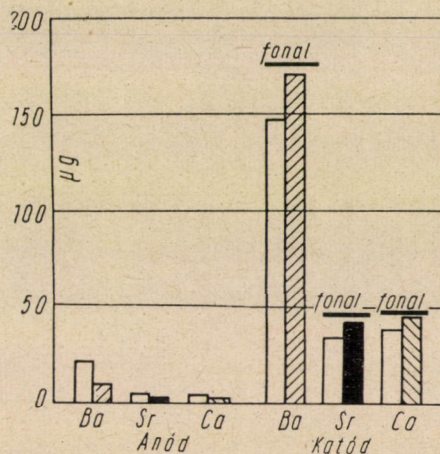


görbe még 100 óra után sem válik párhuzamossá az időtengellyel. A párolgási görbe 100 óra után ellaposodik ugyan, de még mindig tekintélyes meredekséggel emelkedik tovább. Ez a viselkedés jellemző a spirálisra felvitt nitrocellulózás emissziós anyagokra. A nitrátos anyag párolgása 100 óra után 950 C° hőmérsékleten gyakorlatilag megszűnik.



13. ábra. A stroncium és kalcium párolgása a 2 : 1 : 2 emissziós rétegből, 950 C°. A katódok argonban 5'-ig tartó előizzítást kaptak

A nitrátos emissziós anyagnak is van kis kezdeti emelkedő szakasza. Ez valószínűleg a szilárd oldat kialakulásával esik egybe. A szilárd oldat kialakulása tehát korábbi feltevéseknek megfelelően tényleg csökkenti a párolgási sebességet, de sokkal kisebb mértékben, mint amit a kísérletek mutattak.



14. ábra

Meg akarom még említeni, hogy a párolgásmérő csövek analizésénél nemcsak az elpárolgó Ba, hanem Sr és Ca mennyiségét is meghatároztuk minden esetben. Ezen mérések eredményeinek közlését mellőztem, részben mert nem akartam dolgozatom terjedelmét növelni, másrészt mert ezek a mérési eredmények előadásom bevezető részében vázolt feladatok megoldása

szempontjából figyelmen kívül voltak hagyhatók. Egy, mégpedig az argonban előizzított katódok esetében közlöm a 13. ábrán a Sr és Ca párolgási görbáját is.

Végül a 14. ábra mutatja a rétegben történő változásokat mind a három komponensre vonatkozólag a szivattyúzás folyamán.

A 14. ábra oszlopainak magassága mutatja, hogy a szivattyúzás alatt a katódokból mennyi bárium, stroncium és kalcium párolog el, illetőleg mennyi marad a katódon. A katódoszlopok felett látható vízszintes vonal a szivattyúzás előtt a katódon jelenlevő bárium, stroncium és kalcium mennyiségeit mutatja.

Az előadottak alapján tehát tisztázódtak az okok, melyek a földalkáli-oxidok párolgási görbéinek jellegét megszabják. Megállapítható, hogy lehetséges a párolgási görbe kezdeti meredek szakaszának kiküszöbölése és ezzel nagymértékben csökkenthető a wolframmagfémel bíró oxidkatódok báriumvesztése. A vizsgálatok során tett megállapítások tömeggyártási realizálását e pillanatban még akadályozza a megfelelő katódbevonási módszer hiánya. Ennek kidolgozása után minden valószínűség szerint lehetővé válik különböző vákuumtechnikai produktumok emissziós élettartamának és minőségének jelentős megjavítása. A wolframmagfém oxidkatódokon tett megállapítások minden valószínűség szerint más magfémek esetében is érvényesek maradnak.

#### IRODALOM

1. EISENSTEIN, A.: *J. Appl. Phys.* 20 (1949. VIII.) 776.
2. GREY, L. E.: *Nature*, Vol. 165 (1950) 773—774; *Nature*, Vol. 167 (1951) 552.
3. 141.302 sz. magyar szabadalom, 170.821 sz. osztrák szabadalom.
4. CLAASSEN, A. és VEENEMANS, C. F.: *Z. Phys.* 80 (1933) 342.
5. HERRMANN, G.: *Z. Phys. Chemie* 35B (1937) 298.
6. BLEWETT, J. P., LIEBHAFSKY, H. A. és HENNELLY, E. F.: *J. Chem. Phys.* 7 (1939) 478.
7. PLUMLEE, R. H. und SMITH, L. P.: *J. Appl. Phys.* 21 (1950) 811.
8. ALDRICH, L. T.: *J. Appl. Phys.* 22 (1951) 1168.
9. PELCHOWITSCH, J.: *Philips Res. Rep.* 9 (1954) 42.
10. BLEWETT, J. P. és JONES: *Phys. Rev.* 50 (1936) 464.
11. BARTON és HELNWEL: *Phys. Rev.* 27 (1926) 739.
12. JENKINS, R. O. és NEWTON, R. H. C.: *J. Sci. Instr.* 26 (1949) 172.
13. MOORE, G. E. és ALLISON, H. W.: *Phys. Rev.* 77 (1950) 246.
14. MOORE, G. E., ALLISON, H. W. és STRUTHERS, J. O.: *J. Chem. Phys.* 18 (1950) 1572.
15. LEVERTON, W. F. és SHEPHERD, W. G.: *J. Appl. Phys.* 23 (1952) 787.
16. DZANTIJEV, MILLER, NYIKONOV: *Radiotekhnika i Elektronika* Tom. III. 3. 1958. 431—433. o.
17. WOOTEN, L. A., RUEHLE, A. E. és MOORE, G. E.: *J. Appl. Phys.* 26 (1955) 44.
18. BECKER, J. A.: *Phys. Rev.* 34 (1929) 1323.
19. BRODIE, J. és JENKINS, R. O.: *J. Electronics* 33 (1956. Juli).
20. BRODIE, J. és JENKINS, R. O.: *British J. Appl. Phys.* 8 (1957) 27.
21. BRODIE, J. és JENKINS, R. O.: *J. Electronics* (1957. márc.) 457.
22. GERCELY G. és VÁRADI F. P.: *Acta Physica* 5 (1955) 51.
23. ÁDÁM J., ETTRE K., GERCELY G. és VÁRADI F. P.: *M. Kém. Folyóirat* 62 (1956) 223.
24. ETTRE K. és ÁDÁM J.: *Z. Anal. Chem.* 150 (1957) 105.
25. HEGEDŰS A., MILLNER T. és PUNCOR E.: *M. Kém. F.* 59 (1953) 304.
26. ÁDÁM J., ETTRE K., GERCELY G. és VÁRADI F. P.: *Z. Phys. Chem.* 207 (1957) 70.
27. OSZTAPCSENKO, F. P.: *Izv. Akad. Nauk C. C. C. R.* 20 (1956) 1105.
28. EISENSTEIN, A.: *J. Appl. Phys.* 17 (1946) p. 654.
29. ROOKSBY és STEWART: *Nature* 157 (1946) 548; 159 (1947) 609 HUGHES, R. C., COPPOLA, P. P., EVANS, H. T.: *J. Appl. Phys.* 23 (1952) 635—641.



## ÖSSZEFOGLALÁS

Az előadottak lényegi tartalmát a következőkben foglalom össze:

1. A Távközlési Kutató Intézetben kifejlesztett lángfotométeres módszer felhasználásával megvizsgáltuk a bárium- és a többi földalkálioxidok párolgását különböző összetételű emissziós rétegekből wolframmagfémről. Az elpárolgó és a katódon maradó bárium mennyiségeit az idő függvényében grafikusán ábrázolva párolgási görbéket kaptunk. A vizsgálatoknál nem állapítottuk meg, hogy a földalkáliák párolgása oxid vagy fém alakjában történik-e?

2. A párolgási görbéken több jellegzetes szakaszt lehetett megkülönböztetni. A magfém anyagi minőségétől és az emissziós réteg összetételétől függetlenül minden párolgási görbe mutatott egy kezdeti nagymeredekségű, tehát nagy párolgási sebességű szakaszt. Az intenzív kezdeti párolgás kb. 2 órán át tartott és ebben a párolgási szakaszban a katódok báriumtartalmuk 50—60%-át elvesztették. A kezdeti szakasz lezáródása után több, fokozatosan kisebb meredekségű szakasz következik. A kezdeti nagymeredekségű szakasz viszonylag kis hőmérsékleten (950 C°), a későbbi kisebb meredekségű szakaszok az összetételtől függően többé vagy kevésbé nagyobb hőmérsékleten (1200—1300 C°) figyelhetők jól meg.

3. A vizsgálatokból megállapítható volt továbbá, hogy párolgási sebesség szempontjából bizonyos összetételű emissziós rétegek lényegesen jobbak, mint mások. Ilyen kedvező tulajdonságú emissziós anyagok a

zirkondioxid tartalmú hármaskarbonát és a

2 mol  $\text{BaCO}_3$  : 1 mol  $\text{SrCO}_3$  : 2 mol  $\text{CaCO}_3$

összetételű hármaskarbonát. A csövek égetésekor észlelt élettartamok és a párolgási sebességek közötti összefüggés határozottan felismerhető.

4. A mérések tanúsága szerint csak a tiszta  $\text{BaCO}_3$  és az

50%  $\text{BaCO}_3$   
45%  $\text{SrCO}_3$   
5%  $\text{CaCO}_3$

összetételű emissziós anyagok párolgási sebessége nem változik az égetés folyamán (kivéve a kezdeti meredek szakaszt). Ez a tény a  $\text{BaCO}_3 \rightarrow \text{BaO}$  esetében érthető, mert homogén anyagról lévén szó, az összetétel az égetés folyamán sem fizikai, sem kémiai értelemben nem változik. Az 5%  $\text{CaO}$ -t tartalmazó hármaskarbonát esetében fel kell tételezni, hogy az elpárolgó anyag összetétele azonos a szilárd fázis összetételével és így ez az összetétel azeotróp keveréket alkot.

5. A vizsgálatokból megállapítható volt továbbá, hogy a 2 : 1 : 2 emissziós anyag az iztítás első szakaszában báriumra nézve nagy párolgási sebességet ad. Ez a párolgási sebesség a további iztítás folyamán erősen csökken és nagyon kis értékben rögzítődik. Ez a kis érték kisebb, mint a zirkondioxid tartalmú emissziós anyag párolgási sebessége.

6. A további kísérletek arra az eredményre vezettek, hogy az emissziós anyagok kezdeti, már viszonylag kis (950 C°) hőmérsékleten bekövetkező bárium-párolgása, melynek során a katódok báriumtartalmuk 50—60%-át elvesztik, az oxidkatódok készítésénél a jelenlegi gyártási mód szerint általánosan használt nitrocellulózából visszamaradó szén redukáló hatásának tulajdonítható. A párolgási görbe későbbi (főleg nagyobb hőmérsékleteken megfigyelhető) kisebb meredekségű szakaszai a karbonátok elbontásakor keletkező szabad báriumoxid nagyobb gőztenziójával, illetőleg az összetételnek a párolgás következtében előálló megváltozásával értelmezhetők.

7. A 6. pontban elmondottak igazolása céljából nitrocellulózmentes emissziós bevonóanyagot készítettünk, amelyben kötőanyagként báriumnitrátot használtunk vizes szuszpenzióban. Az így készített katódoknál a kezdeti párolgási szakasz gyakorlatilag eltűnt és a bárium összes elpárolgott mennyisége több mint egy nagyságrenddel csökkent.

8. Az elvégzett kísérletek eredményei alapján remélhető, hogy a wolframmagfémes oxidkatódokat tartalmazó vákuumtechnikai termékek (fénycső, rádiócső stb.) élettartama kettes, hármaskarbonáttal emelhető és minőségük is lényegesen javítható lesz.

9. Az előadásban ismertetett munka magyarázatot ad a zirkondioxid élettartam növelő és párolgáscsökkentő hatásának mechanizmusára. A karbonátok elbontásakor szabadabbá váló báriumoxidot a zirkondioxid kis báriumtenziójú bázikus báriumzirkonáttá köti meg, amelyet a szén is nehezebben redukál.

10. A mérések eredményeiből világosan látható, hogy a nitrocellulóz nem ideális kötőanyag az oxidkatódok készítésére. A belőle visszamaradó szén az aktív emissziós anyag lényeges veszteségeit okozza, ezzel az élettartamot csökkenti, az elpárolgó bárium a csövet és csőalkatrészeket elszennyezi. Ajánlatos tehát más kötőanyagokat keresni. Mint ilyenek, alkalmasaknak látszanak a földalkálinitrátok; ezek üzemszerű (tömeggyártás) használatához azonban még szükség van új bevonási módszer kidolgozására.

11. Összes kísérleteink azt bizonyítják, hogy a földalkálipárolgás az oxidkatódokból még a normál üzemi hőmérsékletnél (750—850 C°) lényegesen nagyobb hőmérsékleten (950 C°) is csak redukció folytán keletkező földalkálifém alakjában történik. A földalkálioxidok párolgása a számbajövő hőmérsékleteken még wolframmagfém esetében is elhanyagolható.

12. Megállapítható végeredményképpen, hogy a kísérletek során felvetődött összes körülmények, mint szabad báriumoxid képződése, összetétel megváltozása, redukáló anyagok jelenléte, hozzájárulnak az oxidkatód erősebb vagy gyengébb párolgásához. Célszerű tehát az oxidkatód összetételét olyanra választani, ami a 4. ábra 4. sz. görbéjének legkisebb meredekségű szakaszának felel meg (2 : 1, 5 : 3), ezt lehetőleg nitrocellulózmentesen vinni fel a wolfram felületére, vagy esetleg inert atmoszférában úgy előizzítani, hogy a jelenlevő szén elégjen és a szilárd oldat képződése végbemenjen.

13. A kísérletekből leszűrt tapasztalatok nem wolframmagfémű oxidkatódok szempontjából is értékesek.

Az előadásban ismertetett munka egy átfogó munkaprogram része, amelynek tárgyát a különböző emissziós anyagok párolgása képezi különböző magfémekről. Az eredmények termodinamikai és termokémiai értékelése e vizsgálatok lezárása után fog megtörténni.

Végezetül köszönetet kívánok mondani munkatársaimnak a nyújtott segítségért. Köszönetet mondok GERGELY Györgynek, VÁRADI Péternek, ÁDÁM Jánosnak a mérési módszer kidolgozásáért, BUDINCSEVITS Andornak, BIRÓ Istvánnénak, ETTRE Lászlónénak, ÁDÁM Jánosnak, ECRI Lajosnak a módszer kifinomításáért és a mérések elvégzéséért.

# A GONIOMETRIA KITERJESZTÉSE ÉS PROJEKTÍV RELATIVITÁSOK AZ INVOLUT GEOMETRIÁBAN\*

VIDÉKY EMIL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1956. május 3-án]

## Betűrendes jeltár

- $C$  = centrális (fő) pont.  
 $E$  = a teljes kapcsolóhossz. ( $E_1$  és  $E_2$  ennek határpontjai).  
 $G$  = az evolvens gyökpontja.  
 $O$  = középpont.  
 $T$  = tengelytáv.  
 $U$  = az alámetszést megkezdő végpont a vágóclen.  
 $V$  = az ívek érintői által bezárt szög a metszéspontjukban (radiansban).  
 $W$  =  $\pi - V$ .  
 $X$  = példaképp választott pont.  
 $q$  =  $\gamma_1 : \gamma_2 = \delta_1 : \delta_2$  = a két szembenfekvő ívszög viszonya.  
 $r$  = sugár.  
 $s$  = fogvastagság.  
 $v$  = az ívszög méretének járuléka a  $V$  értékhez (radiansban).  
 $x$  és  $y$  = speciális méretek a 13. ábrában.  
 $u$  = kapcsolószög.  
 $\gamma$  = a kisebbik ívszögméret pár,  $\gamma_2 > \gamma_1$ .  
 $\delta$  = a nagyobb ívszögméret pár,  $\delta_2 > \delta_1$ .  
 $\pi$  = a Ludolfi szám.  
 $\rho$  = görbületi sugár.

## Indexek (jobbra, alul)

- $G$  = az alapkörhöz tartozó.  
 $x$  = tetszőlegesen választott: 2 és 1 = nagyobb és kisebb érték.

## Egyéb jelölések

- $( )$  = zárójelbe foglalt betű = evolvenspont kapcsoláshelye.  
 $( )$  = zárójelbe foglalt szám = hivatkozás az illető egyenletre.  
 $[ ]$  = szögletes zárójelbe foglalt szám = irodalomra való utalás.  
 $\wedge$  = kihegyeződött foghoz tartozó (a betű fölött).  
 $\sim$  = táblázatból veendő.

Gépek kifogástalan működésének a jelenkor fokozott igényeinél alapvető problémája a teljes folyadéksúrlódás megvalósítása. E téren a gyakorlatban a Michell-talpcsapágy érte el a legnagyobb eredményt. Más gépelemeknél, melyeknek bonyolultabb a kinematikája, az elmélet még sok tekintetben nem elégíti ki a gyakorlatban felmerülő különféle bonyodalmakat.

\* Angol nyelven megjelent az Acta Technica XXII. (1958) kötetének 177/191. lapjain.



Legbonyolultabb a kinematika kétségkívül a fogaskerék kapcsolásnál, ahol görbe felszínek csúsznak és gördülnek egymáson folyton változó együttesben, súlyos terhelés alatt. A profilok közé kerülő kenőanyag itt ívekkel határolt olajéket alkot. Rendes nyakcsapágnál is ívszög az olajék alakja.

Ívek metsződésénél vagy érintkezésénél keletkező ívszög mértékének matematikai kifejezése a geometriában ismeretlen.

A profilok közötti nyomáseloszlás és egyéb hidrodinamikai viszonyok analizálásánál (például a Raynolds egyenletek felhasználhatóságánál) azonban szükség mutatkozik az ívszögnek számszerű kifejezésére. Mind az ívszög-méret megállapítása, mind az involut geometria egyes eddig figyelemre nem méltatott projektív-relativitási összefüggéseinek feltárása segítséget kíván nyújtani a további kutatásnak.

Alábbiakban ezen geometriai kérdésekkel foglalkozunk.

### Az ívszögméret

Metsződő íveknél általában négy különböző szög:  $\gamma_1 < \gamma_2$ , valamint  $\delta_1 < \delta_2$  keletkezik (3a ábra). E négy ívszög összege  $= 2 \cdot \pi$ .  $\gamma_1$  és  $\gamma_2$ , úgy mint  $\delta_1$  és  $\delta_2$  szembenálló szögek azonban nem egyenlők sem méret, sem alak tekintetében, mint a rendes (egyenes vonalak metszésénél keletkező) szögek (1. ábra). Ugyancsak  $\gamma_1$  és  $\delta_1$ , valamint  $\gamma_2$  és  $\delta_2$  egymás melletti szög sem egészíti ki egymást  $\pi$ -re, mint a rendes szögek:  $\gamma_2 + \delta_2 = \pi \pm 2v_2$ ;  $\gamma_1 + \delta_1 = \pi \pm 2v_1$  (1a és 1b ábra).

Nyilvánvalóan látható azonban, hogy  $\gamma_1$  és  $\gamma_2$  ívszögek egymás közötti viszonya ugyanaz, mint  $\delta_2$  és  $\delta_1$ -é.

Az ívszög megállapításánál az alapérték mindenesetre az íveknek a metszéspontban való érintőivel bezárt  $V$  rendes szög, melytől való eltérést (növekedést vagy fogyást):  $v_1$ , illetve  $v_2$ -t az alábbi 1–6. ábráSOROZATBAN vizsgáljuk.

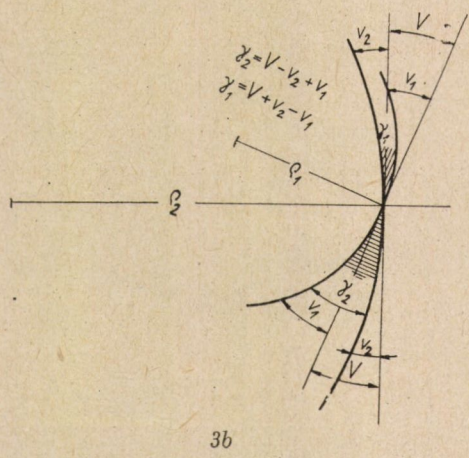
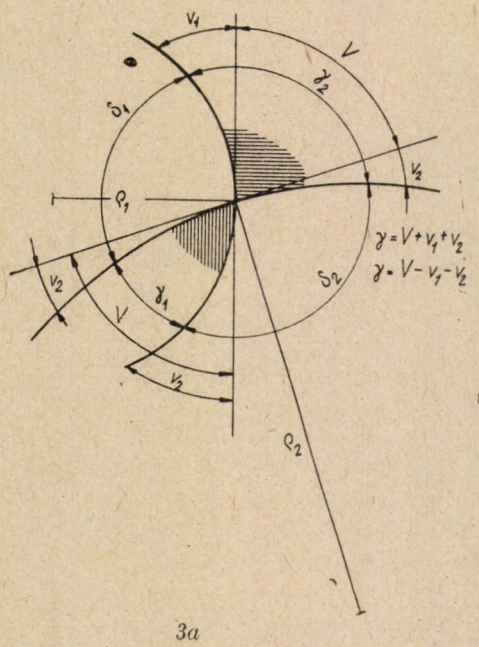
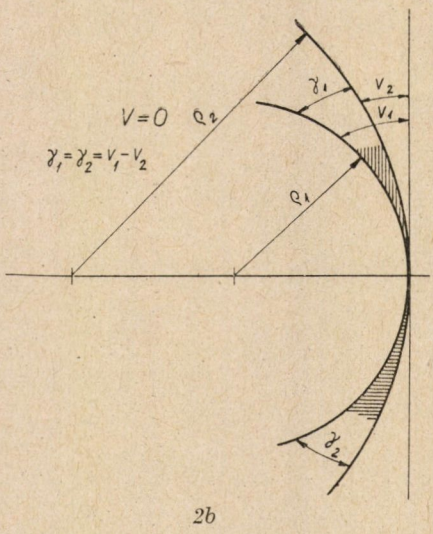
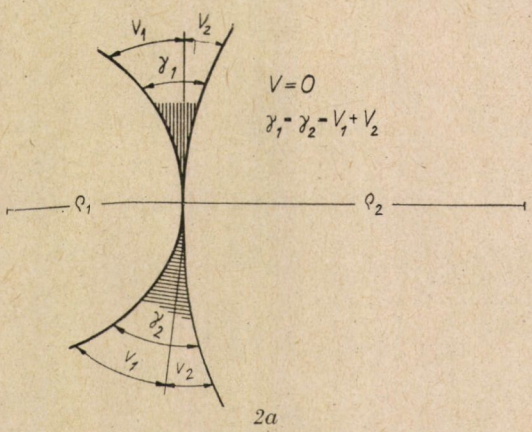
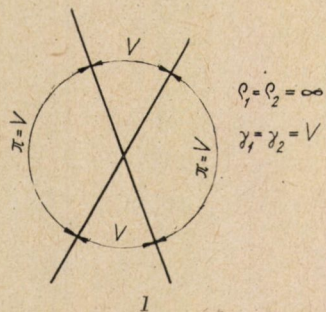
A metsződő ívek görbületi sugarait a metszéspontban  $\rho_1$  és  $\rho_2$ -vel jelölve, ha  $\rho_1 = \rho_2 = \infty$ , úgy:  $v_1 = v_2 = 0$ , vagyis a rendes értelmezésű  $V$  szög keletkezik, mint határeset (1. ábra).

A másik határesetben  $V = 0$ ; ekkor:  $\gamma_1 = \gamma_2 = v_1 \pm v_2$  mind  $v_1$ , mind  $v_2$  ívszögek nagysága és előjele nyilvánvalóan egyedül a megfelelő  $\rho_1$ , illetve  $\rho_2$  görbületi sugárral van meghatározva.

Ha:  $\rho = \infty$ , akkor:  $v = 0$ ; ha:  $\rho = 0$ , akkor:  $v = \pi$ -nek értelmezhető.

ÁbráINKBAN  $\rho_1$ -e tmINDIG vízszintesre állítva: a bal felé és fölfelé mutató értékeket pozitívnek, — a jobb felé és lefelé mutatókat negatíVnak tekintjük.

2a. ábráINKBAN a  $\rho$  értékek ellenkező előjelűek (evolvens külső fogazás esete); 2b. ábráINKBAN egyező előjelűek (belső fogazás esete). 3a. ábráINK a viszonyokat ellenkező előjelű görbületi sugaraknál egy bizonyos  $V$ -nél láttatja.



1. ábra. A rendes értelmezésű szög mérete ( $V$ ), valamint  $W = \pi - V$  kiegészítőszög egyenes vonalak metsződésénél. — 2a. ábra. A járulékos ívszög ( $v_1$  és  $v_2$ ) mérete, ha  $V = 0$  és ha  $\rho_1$  és  $\rho_2$  ellenkező előjelű:  $\gamma_1 = \gamma_2 = v_1 + v_2$  — 2b. ábra. A járulékos ívszög ( $v_1$  és  $v_2$ ) mérete, ha  $V = 0$  és ha  $\rho_1$  és  $\rho_2$  egyező előjelű:  $\gamma_1 = \gamma_2 = v_1 - v_2$  — 3a. ábra. A járulékos ívszög ( $v_1$  és  $v_2$ ) mérete, ha  $V > 0$  és ha  $\rho_1$  és  $\rho_2$  ellenkező előjelű:  $\gamma_2 = V + v_1 + v_2$ ;  $\gamma_1 = V - v_1 - v_2$  — 3b. ábra. A járulékos ívszög ( $v_1$  és  $v_2$ ) mérete, ha  $V > 0$  és ha  $\rho_1$  és  $\rho_2$  egyező előjelű:  $\gamma_2 = V + v_1 - v_2$ ;  $\gamma_1 = V + v_2 - v_1$



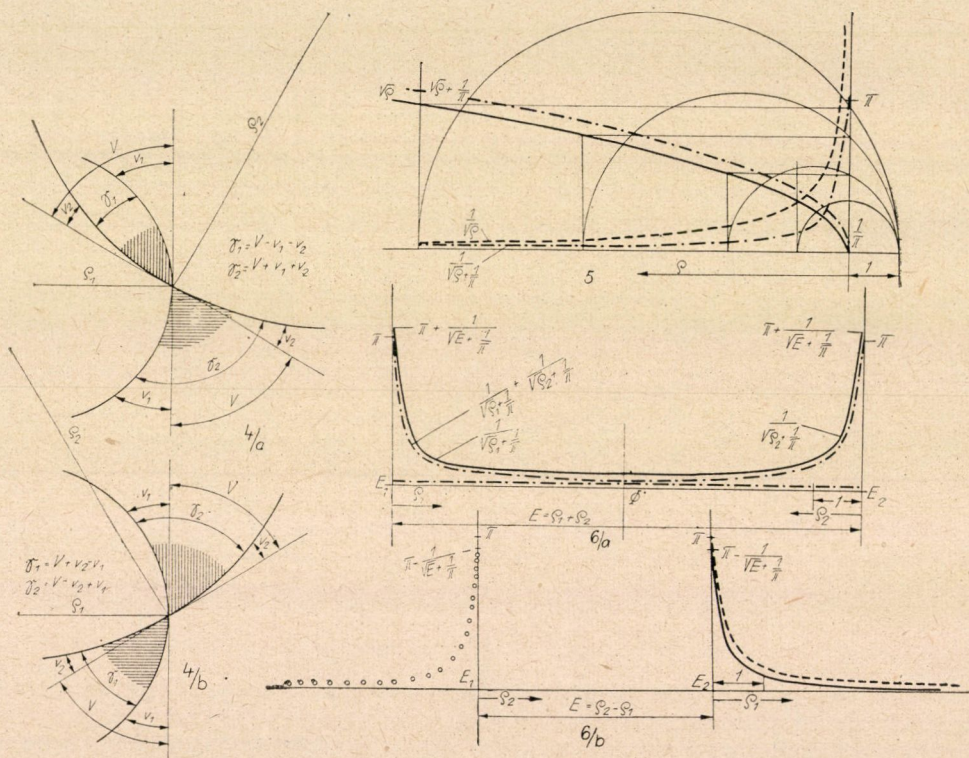
Itt:  $\gamma_2 = V + v_1 + v_2$ ;  $\gamma_1 = V - v_1 - v_2$ .. 3b. ábránkban egyező előjelű  $\rho$ -nál és adott  $V$ -nél:

$$\gamma_1 = V + v_2 - v_1; \quad \gamma_2 = V + v_1 - v_2.$$

4a. ábránkban a  $\gamma$  ívszögek mérete hasonló a 3a. ábrabeliekkel, azonban alakjuk tükörképe az előbbieknak. Ugyanilyen a viszony a 4b. ábra és a 3b. ábra ívszögei között.

A  $v$ -járulék ívszög méretét, mint egyedül  $\rho$  függvényét a:

$$v = \frac{1}{\sqrt{\rho} + \frac{1}{\pi}}$$



4a. ábra. A méretek ugyanazok, mint a 3a. ábrában, azonban ez az ábra a 3a. ábrának szimmetrikus alakulása — 4b. ábra. A méretek itt a 3b. ábrának méreteivel azonosak, de az ábra a 3b. ábrának szimmetrikus alakulata — 5. ábra. A  $v$  járulékszög változásának diagramja

$\sqrt{\rho}$  változása mentén (teljes vonal), valamint  $\frac{1}{\sqrt{\rho}}$  változása mentén, (szaggatott vonal) — 6a. ábra. A teljes ívszög (olajék szöge) változása fogkapcsolásnál evolvens külső fogazásnál, a lehetséges kapcsoló vonal teljes hossza mentén — 6b. ábra. Hasonló diagram, mint a 6a. ábráé belső fogazásnál



kifejezésben állapíthatjuk meg, bizonyos analógiával a Hertz-egyenletekkel, melyek a felszínfeszültségre vonatkoznak.

A  $v$  járulékos ívszög értelmezése alapján dimensionális karakterű, vagyis nagyságának mérete azon rajzléptéktől függ, melyben a görbületi sugarat ábrázoltuk. Fenti formula, mely  $v$  méretét megadja, ezt magában foglalja. Ez lényeges eltérés a rendes szög méretezésének értelmezésétől, melynek nincsen dimensionális jellege. A  $v$  járulékos ívszög dimenzioja:  $\text{cm}^{-\frac{1}{2}}$ .

5. ábránkban  $\sqrt{\varrho}$  (teljes vonal) és  $\frac{1}{\sqrt{\varrho}}$  (szaggatott vonal) változása van megszerkesztve [1].

Evolvens homlokkerékfogazás kapcsolása mentén:

$\varrho_1 + \varrho_2 = E = \text{állandó} = T \cdot \sin a$ , ahol  $T =$  tengelytáv és  $a =$  a kapcsolószög; továbbá:  $V = 0$  (2a. és 2b. ábrák).

Így tehát:

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{\varrho_1 + \frac{1}{\pi}}} \pm \frac{1}{\sqrt{\varrho_2 + \frac{1}{\pi}}} = \frac{\left(\sqrt{\varrho_1 + \frac{1}{\pi}}\right) \pm \left(\sqrt{\varrho_2 + \frac{1}{\pi}}\right)}{\left(\sqrt{\varrho_1 + \frac{1}{\pi}}\right) \cdot \left(\sqrt{\varrho_2 + \frac{1}{\pi}}\right)}$$

Az üzemből hidrodinamikusan létesülő és megszakítatlanul tartandó olajfilm szükséges vastagságának minimuma függ a felszín közti hatoló olajok ívszögétől; minél kisebb ez az ívszög, annál kevesebb hidrodinamikusan erőpótlásra van szükség.

Az olajékos ívszög változását a teljes lehető kapcsolóhossz mentén külső fogazásra 6a. ábránkban — belső fogazásra 6b. ábránkban látjuk megszerkesztve.

Kis olajékoszög, mint látható, épp úgy megkívánja a teljes kapcsolóhosszból az  $E_1$  és  $E_2$  határpontok környezetének kizárását, mint a Hertz-feszültség ugyanitt való hirtelen felszökése.

Mindazok a profilkorrigálások, fejkörhatárolások stb. melyeket a Hertz-feszültség csökkentése kíván, az olajékoszög csökkentését is szolgálják. Látható továbbá, hogy külső fogazásnál a nagyobb  $a$  kapcsolószög, belső fogazásnál ellenkezőleg, a kisebb előnyös.\*

A diagramokból kivett  $v_1$  és  $v_2$  ívszögméret tényleges értékét a rajzléptékkal való beszorzással kapjuk. A rajzlépték a hosszúságokra vonatko-

\* (Nyakcsapágyaknál keletkező olajékoszögek viszonyainál az eltérés az, hogy a terhelés iránya nem esik össze a görbületi sugaraknak irányvonalával, hanem attól eltolódik, aminek számbavétele azonban jelen keretünket már meghaladó analízist igényelne.)

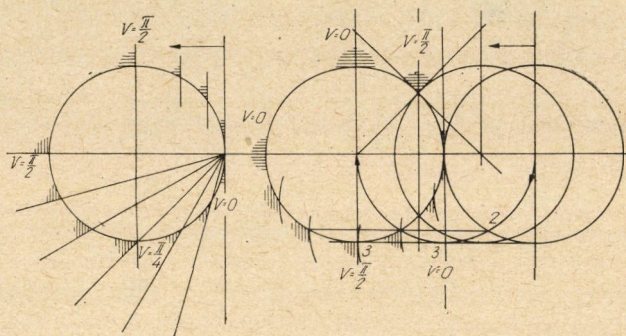
Megjegyzendő továbbá, hogy fogkapcsolására szerkesztett diagramjaink merev testeket (íveket) feltételezve érvényesek. Valóságban a keletkező elasztikus deformációk a görbületi sugarakat és ezzel az ívszögméreteket némileg módosítják. E módosítás számbavételére kitérni azonban szintén túlhaladna jelen keretünket.

zik, tehát formulánkban a  $\rho$  egyedüli hossz méretre, mely a nevezőben van. Nagyított rajzban így az ívszög a lépték arányában kisebb lesz, kicsinyített rajzban pedig nagyobb a tényleges értéknél.

Rendes értelmezésű szög nélkül ( $\rho_1 = \rho_2 = \infty$ ) a rajzlépték a szögméretben nem változtat.

Az ívszögek ezen projektív fordított relativitása mindenesetre figyelemre méltó sajátosság.

A négy ívszög:  $\gamma_1 + \gamma_2 + \delta_1 + \delta_2 = 2 \cdot \pi$  közül  $\gamma_2 > \gamma_1$  a szembenálló két pár között a  $\frac{\pi}{2}$ -nél kisebb ívszögeknek, míg a  $\delta_2 > \delta_1$  ívszögpár a  $\frac{\pi}{2}$ -nél nagyobbaknak jelölismódja.



Ia. ábra. Poláris és lineáris származtatású eltolódás folytatatólagos menete  $\rho_2 = \infty$  esetben  
Ib. ábra. Poláris és lineáris származtatású eltolódás folytatatólagos menete  $\rho_2 = \rho_1$  esetben

A négy ívszögből álló alakzatnak vele egybevágó jobb és bal, valamint felső és alsó tükörképe, összesen tehát négy megjelenési alakja van a  $\rho$  görbületi sugarak előjele szerint.

Az ívszög mérete egyedül a görbületi sugarak függvénye lévén, állandó  $\rho_1$  feltételezésénél a két határeset:  $\rho_2 = \infty$  és  $\rho_2 = \rho_1$ .

Az ívszög változása két nézőpontból követhető:

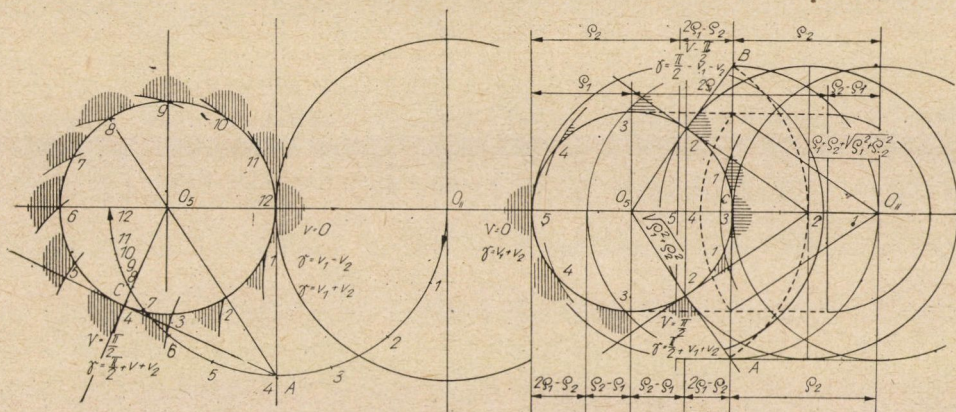
1. A görbületi középpontokat összekötő vonalban *lineáris* eltolásból származónak.
2. A  $\rho_2$  sugarú ívnek az ívek  $C$  metszőpontja mint *poláris* körül való körülfordatástól származónak.

A  $\rho_2 = \infty$  határesetre a *poláris*, valamint a *lineáris* származtatást Ia. ábránkban.

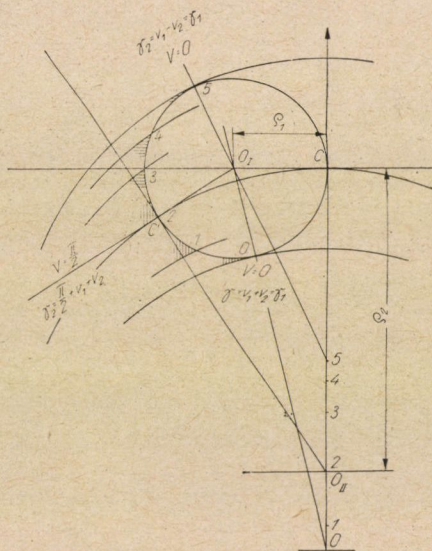
A  $\rho_2 = \rho_1$  határesetre a *poláris*, valamint a *lineáris* származtatást Ib. ábránkban követhetjük.

Közből eső példát mutat a *poláris* származtatásra Ia. ábránk és a *lineáris* IIb. ábránk.





IIa. ábra. Közbüleső példa a poláris származtatásra  
 IIb. ábra. Közbüleső példa a lineáris származtatásra



III. ábra. A lineáris eltolás singuláris határesetére  $Q_1$  irányára az érintkezéspontban merőlegesen

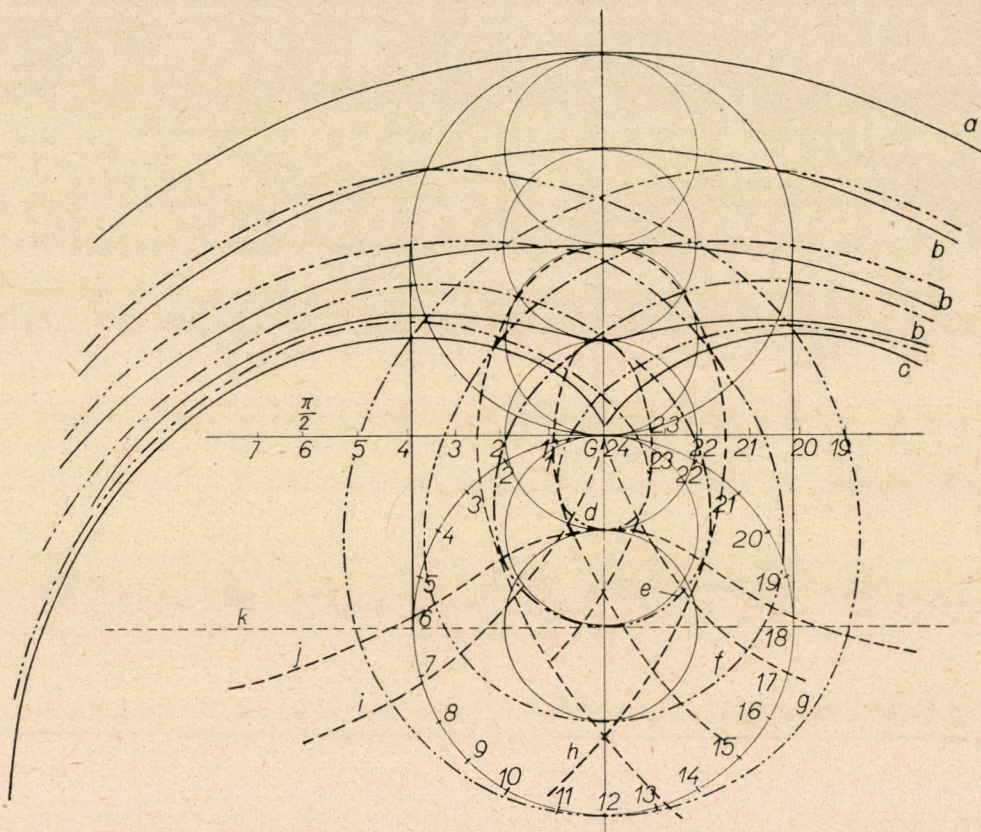
A lineáris eltolás singuláris határesetére a  $Q_1$  irányára az érintkezéspontban merőleges irányú eltolás, melyet III. ábránk láttat. Az ívszög növekedési határai, valamint a növekedés progresszivitási foka egyedül a  $\frac{Q_1}{Q_2}$  viszonytól függ.

Poláris és lineáris eltolás projektív relativitási viszonyaira tovább nem térünk ki e helyütt. Ezekkel rokon természetűek a dolgozat végén a kúp-szeletek projektív relativitására vonatkozó megfontolások.



### Projektív relativitások az involut geometriában

Az evolvens görbe keletkezésének szokásos szemléltető módja az alapkörrel vagy alaphengerről való fonal lefejtés. A  $G$  gyökpont egykarú evolvens görbét ír le a síkban, melynek pontjait két koordináta (normális vagy poláris) határozza meg. Ez a görbe az alapkörön fekvő  $G$  gyökpontjából kiindulva



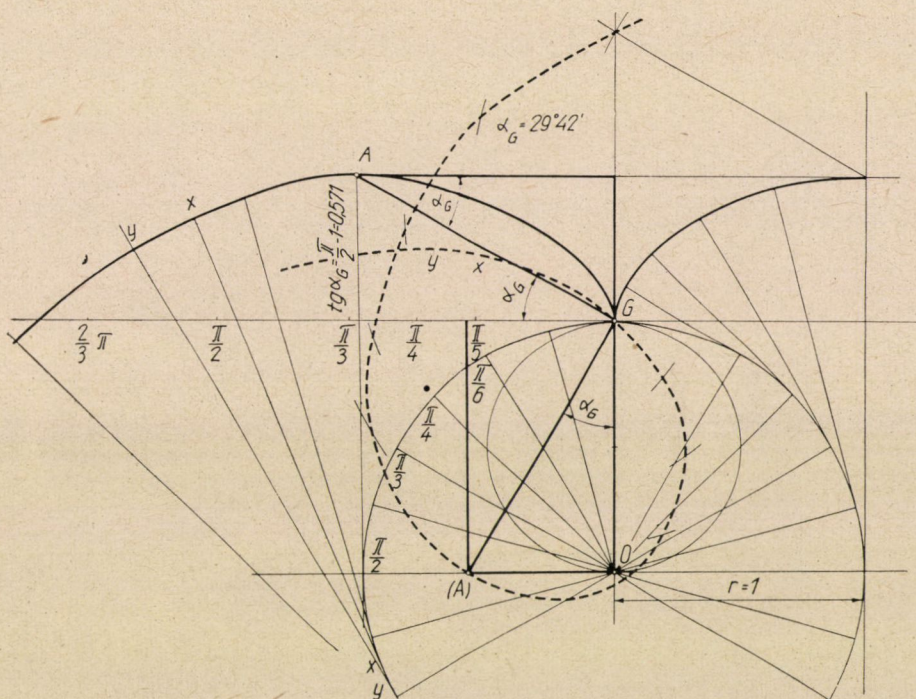
7. ábra. Egymáshoz tartozó evolvens és trochoid párok, melyek relativitás szempontjából azonos és egybevágó görbék

az alapkör  $C$  középpontja körül kering folytonosságban táguló, egyenlő közű hurkokban. A fonal vastagságát nullának feltételezzük.

E keletkeztetésmódnál azonban sokkal alkalmasabb és világosabb az oly elképzelés, hogy egy ideális, nulla vastagságú merev egyenes rudat gördítünk le az alapkörön jobbra és balra. A rúd érintő pontja az alapkörön  $G$ , mely az evolvens gyökpontja, a rúdhhoz tartozóan így egy kétágú, totális evolvenst ír le (13. és 13a. ábra). A két evolvenság egymás tükörképe, melyek felváltva metszik egymást  $G$  pont alatt és fölött periódusos egymásutánban.



Minden más pont, mely mereven a rúddal van kapcsolatban, hasonlóan kétágú görbét ír le, melyek hasonló hurkokban tágulnak a sík minden irányában a végtelenbe. Ha mármost a  $G$  gyökpontot, vagy bármely más vele mereven kapcsolt pontot az alapkörrel képzeljük el merev kapcsolatban és fordítva, az alapkört gördítjük az egy helyben állva maradó rúdon, akkor  $G$  pont (és bármely vele mereven kapcsolt más pont) trochoid (ciklois-fajta)



8. ábra. Elméleti interferencia

görbét ír le, mely egybevágó lépésenként halad jobb és bal felé, egyenesben a végtelenbe (7. ábra).

El kell ismerni, hogy evolvens és megfelelő trochoid minden kétséget kizáróan lényegben azonos görbék, csupán a nézőpont, melyből rájuk tekintünk, mutatja őket különbözőknek.

Az evolvens és trochoid görbe azonossága bizonyára figyelemre méltó jelensége a projektív relativitásnak. Összehasonlítani lehetne ezt azzal a viszonyossággal, mely az elektromosság drótnélküli széjjelszórása és a drótvezetékben való egy irányban haladás között fennáll, vagy metaforikusan: a gondolatok örvénylő keringésének viszonyával a szívnek dobogásához, vagy tovább: az örök élet és a halandóság közötti kapcsolathoz. Röviden: evo-

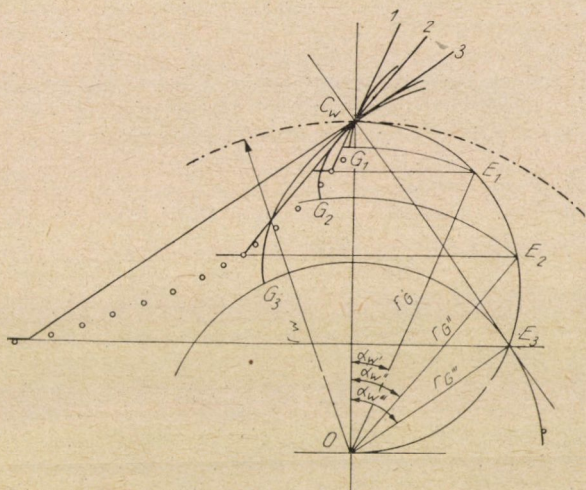






ábrázol valódi alámetszés helyett 6. ábránk. Az evolvens  $A$  tetőpontja ( $A$ ) kapcsoláshelyen találkozik a képzelt egyeneselű generáló profil legfelső pontjával. Az ( $A$ ) relatív pályája ekkor éppen  $G$  ponton halad át és megkezdí az ütközést. A szükséges generáló szerszámszög  $a_G$  értéket a :  $\operatorname{tg} a_G = \frac{n}{2} - 1 = 0,571 \dots$  összefüggés adja, és így :  $a_G = 29^\circ 42' \dots$  Önkényesen felvett  $a_x$  szerszámszög példájában az alámetszést kezdő ( $U_x$ ) pontok geometriai helye egy kis körökkel jelölt, parabolikus görbe, melyet a 9. ábrában láthatunk.

A 10. és 11. ábra oly fogaskerékfogak gyakorlati generálására vonatkozik, melyeknél a szerszám fogasrúd osztóvonala egy, az alapkörnél nagyobb osztó-



10. ábra. A gyakorlati evolvens generálásnál az interferenciát megkezdő pontok sorozata

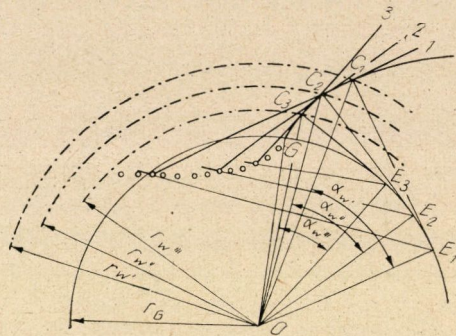
körön gördül. Az ( $U_x$ ) pontok geometriai helye, melyek különféle  $a_x$ -ekhez tartoznak, a 10. ábrában állandó osztókörnél, a 11. ábrában állandó alapkörnél vannak, mindkét példában kis körökkel jelölve.

A 13a. ábra. bemutat még foghatároló jobb és bal evolvensok sorozatát, fokozatosan növekedő modulusznál, valamint azok kihegyeződés pontjait.

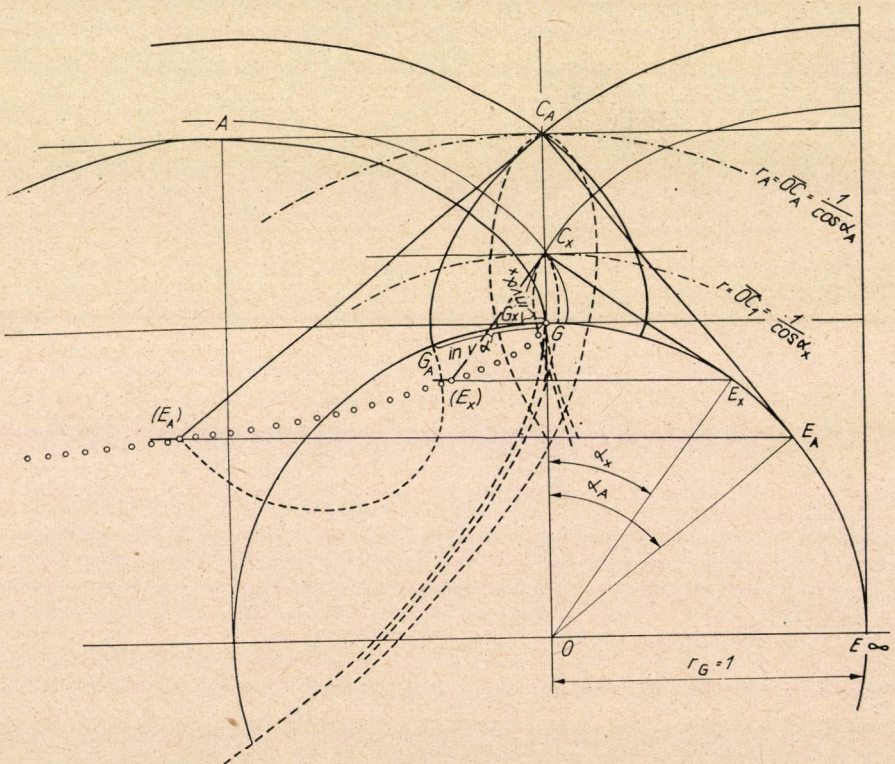
A gyakorlatilag megvalósítható határeset ennél a szív alakú Grisson-féle fogalakítás.

Az ábrában néhány speciálisan érdekes méret a levezetésének módjával együtt található egybegyűjtve.





11. ábra. A 10. ábrában értelmezett pontok sorozata állandó alapkörnél



12. ábra. Trochoid és evolvens ellenpárok állandó alapkörnél az alámetszést megkezdő pontjukkal







## IRODALOM

1. KARL V. OTT: Die Grundlagen des graphischen Rechnens, 1872. Prag. Calve'sche Univ. Buchhandlung.
2. DR. VIDÉKY E. Evolvens homlokkerek-fogazások trigonometriai és kinematikai számítása. A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei XVII. k. 3-4. száma.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az ívek metsződésénél keletkező szög különlegességének analysise, és eltérése a rendes szögtől. Ezen ívek alkotta szögnél előálló szögjárulék dimensionális jellege és dimenziójának megállapítása. Egymásnak megfelelő evolvens és cycloid (trochoid) görbepár relatív azonossága, valamint relatív azonossága a síkban minden irányban folytonosan terjedő fejlődésnek, azzal a fejlődéssel, mely egyforma lépésekben halad egyenes vonalban (jobbra vagy balra). Másféleképpen kifejezve : Relatív azonossága a folytonos kifejlődésnek és a quantumokban való haladásnak. Geometriai összefüggések a fogkapcsolódásnál az alámetszés és interferentia határánál.

# EGYETLEN LÉPCSŐHORONY MENTÉN TERHELT GYÁMOLÍTOTT LÉPCSŐK FOKAINAK HAJLÍTÓ IGÉNYBEVÉTELE\*

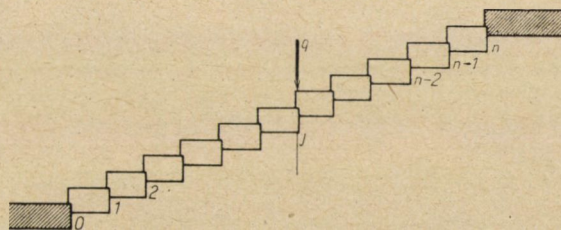
CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

AZ MTA ÉPÍTÉS- ÉS KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1958. április 17-én]

Az építőgyakorlatban kétféle lépcsőszerkezet használatos : lebegő lépcső és gyámolított lépcső. A lebegő lépcsőfokok kérdését CHMELKA F. tanulmánya [1] tárgyalta, a gyámolított lépcsők kérdésével pedig szerző egyik előző tanulmánya [2] foglalkozott. Az utóbbi tanulmány a problémát általános keretek között tárgyalta, általános érvényű összefüggéseket állapítván meg a gyámolított lépcsők szomszédos lépcsőfokainak lehajlása és terhelése



1. ábra. Egyetlen lépcsőhorony mentén terhelt lépcsőkar

között. E dolgozatra támaszkodva, szerző egyik korábbi tanulmánya [3] oly lépcsőkarok erőjátékával foglalkozott, melyek valamennyi lépcsőfoka azonos módon volt megterhelve. A jelen dolgozat viszont oly lépcsőkarok erőjátékát vizsgálja, melyeken a terhelés csupán egyetlen lépcsőhorony mentén működik. A tárgyalás során szerző felteszi, hogy a lépcsőpihenők tökéletesen merevek, a lépcsőfokok hornyai pedig a lépcsőfokok között, azok teljes hosszában csuklószerű kapcsolatot létesítenek.

A tárgyalás alapját a lépcsőfokok alakváltozását szabályozó differenciaegyenlet [2] alkotja. Ezt az egyenletet szerző a differenciaegyenletek tanából [4] ismert módon megoldja, majd a keresett hajlító nyomatékokat a technikai szilárdságtan ismert képletével határozza meg.

\* Az Acta Technica XXV. kötet 3—4. számában angol nyelven megjelent cikk kivonata.



A dolgozat az ismertett módszer alkalmazását számpéldán mutatja be. A számpélda szerint a vizsgált esetben a lépcsőfokok együttdolgozása a terhelt horony melletti lépcsőfokok hajlító igénybevételét hatékonyan csökkenti. Ez a körülmény az összpontosított teherrel terhelt lépcsőfokok teherbíróképessége szempontjából igen kedvező.

#### IRODALOM

1. CHMELKA, F.: Über die Beanspruchung freitragender Stiegenstufen. *Österreichische Bauzeitschrift* 9 (1954), pp. 45—54.
2. CSONKA P.: Horonnyal kapcsolt tömblépcsőfokok erőjátéka. *A Magy. Tud. Akadémia Műsz. Tud. Oszt. Közleményei* 19 (1956), pp. 257—264.
3. CSONKA P.: Valamennyi lépcsőfokon azonos módon terhelt lépcsőkar fokainak hajlító igénybevétele. *A Magy. Tud. Akadémia Műsz. Tud. Oszt. Közleményei*. 24 (1959), pp. 43—44.
4. BLEICH, F.—MELAN, E.: Die gewöhnlichen und partiellen Differenzgleichungen der Baustatik. Berlin u. Wien, 1927. Verlag von Julius Springer.

# PELIKÁN J. KIFEJTÉSI TÉTELÉNEK MÉRTANI IGAZOLÁSA\*

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

AZ MTA ÉPÍTÉS- ÉS KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1958. június 20-án]

## 1. Bevezetés

PELIKÁN J. kimutatta [1], hogy az egyenletesen megoszló függélyes erőkkal terhelt hártya alakú héjak  $n$  oldalnyomása a héjperem minden pontján állandó, a peremvonal alaprajzi vetületére merőleges erő. Ugyanő igazolta azt is [2], hogy a szóban forgó héjakat lehet olyan peremívekkel határolni, melyek tengelyvonala — a peremvonal — a peremerők kötélgörbéje. Az ilyen ún. „szabad” széleken a peremvonal alaprajzi vetülete  $r_0$  sugarú körív.

PELIKÁN J. itt tárgyalandó kifejtési tétele az említett különleges alakú héjak szabad széleire vonatkozik. E tétel szerint :

ha valamely szabad szél peremvonalán át függélyes tengelyű hengert fektetünk át, s annak palástját a peremerők függélyes alkotóival együtt kifejtjük, a kifejtett peremvonal oly síkgörbévé lesz, mely az említett erőalkotók kötélgörbéje. Utóbbinak pólustávolsága  $H = nr_0$ .

PELIKÁN J. ezen tételét a differenciálgeometria módszerével, vektor-számítás segítségével igazolja. Az alábbiak ugyanezt a tételt matematikai műveletek mellőzésével, egyszerű mértani megfontolásokkal kívánják bizonyítani.

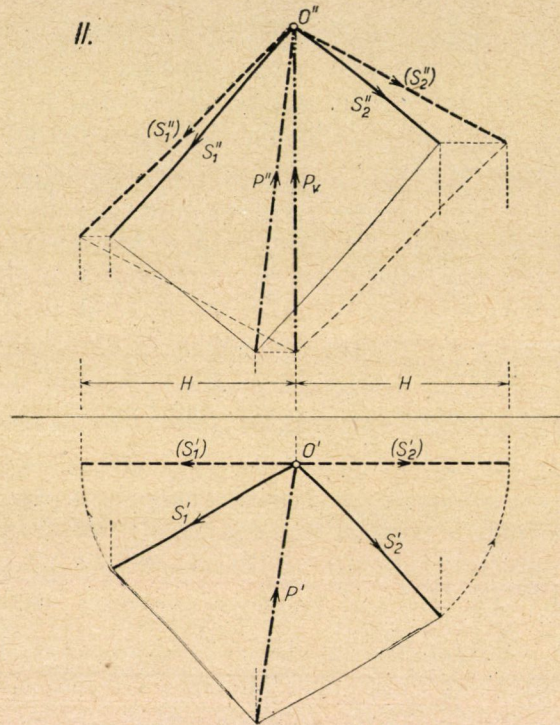
## 2. A tétel igazolása

Helyettesítsük a peremívet a tengelyvonala köré írt oly sokszöggel — peremsokszöggel —, melynek alaprajzi vetülete szabályos sokszög, s helyettesítsük a megoszló peremerőket a peremsokszög sarokpontjaiban ható összpontos erőkkel. Ez esetben a peremsokszög a peremerők kötél-sokszöge, alaprajzi vetülete pedig a vetületi erők kötél-sokszöge [3]. Minthogy utóbbi szabályos sokszög alakú, valamennyi „kötélerő” alaprajzi vetülete ugyanakkora, nagyságuk :  $nr_0$ .

\* Az Acta Technica XXVI. kötet 3—4. sz. füzetében angol nyelven megjelent cikk kivonata.



Válasszuk ki a peremsokszög tetszőleges  $O$  sarokpontját, s ábrázoljuk az  $O$  pontbeli  $S_1$  és  $S_2$  kötélerőket, valamint az  $O$  pontra ható  $P$  peremerőt, az erővektorok alaprajzával és oldalnézetével (1. ábra). E vetületek közül az  $S'_1 = S'_2 = nr_0$  értékek eleve ismertek, a többieknek csak az irányát tekintjük adottnak. Nagyságukat — egyensúlyban levő erőkről lévén szó — egyszerű erőparalelogramma-szerkesztéssel határozhatjuk meg. Végezzük el ezt a szerkesztést, fektessünk a peremsokszögön át függélyes tengelyű hasábot,



1. ábra. A peremvonal kifejtése

s fejtük ki annak palástfelületét a kötőerőkkel együtt a második képsíkkal párhuzamos helyzetbe. A kifejtett erővektorokat az ábrán vastag szaggatott vonalak jelzik. E kifejtett erővektorokból szerkesztett erőparalelogramma  $O''$  pontbeli átlója a szerkesztésből kifolyóan függélyes, nagysága a  $P$  erő függélyes  $P_v$  vetületével egyenlő. Ezek szerint az  $(S_1'')$ ,  $(S_2'')$  és  $P_v$  erők egyensúlyban vannak, a kifejtett peremvonal pedig a  $P_v$  erőre szerkesztett kötélcsokszög két oldala. Az ábrából a kötélcsokszög pólustávolsága is leolvasható:  $H = nr_0$ . Ugyanez érvényes természetesen a peremsokszög többi sarokpontjára és oldalára is.

Ezzel PELIKÁN J. kifejtési tételét a peremgörbét helyettesítő peremsokszögre nézve igazoltuk. A tétel — természetesen — akkor is igaz marad, ha

a vetületi peremsokszög oldalhosszát minden határon túl csökkentjük. Ezzel a peremsokszög a peremgörbébe, a sokszög sarokpontjaira ható összpontosított erők pedig a megoszló peremerő rendszerbe mennek át.

#### IRODALOM

1. PELIKÁN, J.: Membrane Structures 229—231. *Proceedings of the Second Symposium on Concrete Shell Roof Construction 1—3 July 1957*. Tecnisk Ukeblad Oslo, pp. 229—231.
2. PELIKÁN, J.: Membrane Structures with Free Edges. *Acta Technica Ac. Sc. Hung.* 20 (1958), pp. 275—295.
3. SZMODITS K.: Függesztett tetőszerkezetek szerkezeti kialakításának és méretezésének kidolgozása. Az Építéstudományi Intézet Szerkezetkísérleti Laboratóriumának Jelentése (1956). Kézirat.

#### ÖSSZEFOGLALÁS

PELIKÁN J. az egyenletesen megoszló függélyes erőkkel terhelt hártya alakú „szabad” széleit határoló peremívekre vonatkozó kifejtési tételét a differenciálgeometria vektorális módszerével bizonyította be. Jelen dolgozat ugyanezt a tételt a matematikai levezetések mellőzésével, egyszerű mértani megfontolások útján igazolja.





# FÜGGŐHIDAK ÚJABB ELMÉLETE A LEHAJLÁS FIGYELEMBEVÉTELÉVEL

SZIDAROVSKY JÁNOS

ÜT., VASÚTTERVEZŐ VÁLLALAT, BUDAPEST

[Beérkezett 1958. aug. 29.]

## Bevezetés

Tartók sztatikai számítását — bizonyos előzetes feltevések bevezetése után, mint pl. a Hooke-féle törvény —, általában az eredeti tartóra vonatkoztatva végezzük el.

Legfontosabb kivételek ez alól a nyomott rúd kihajlási és a függőhidak ún. lehajlási (II. rendű) elmélete.

A függőhidak lehajlási elméletének alapgondolatára először MÜLLER—BRESLAU [1] mutatott rá, aki a híd vizsgálatát a deformált alakon végezte el, és levezette a következő alapegyenleteket :

$$M'' - \frac{H_g + H}{EI} M = -p - Hy'' \quad (a)^*$$

és

$$- \int_0^l y'' \eta dx = \frac{H}{E_c} \int_0^l \frac{dx}{F_c \cos^3 \varphi} + \omega t \int_0^l \frac{dx}{\cos^2 \varphi} \quad (b)$$

E képletben  $M$  a merevítőtartó nyomatéka,  $E I$  a merevsége,  $H_g$  a vízszintes kábelerő a terheletlen hídon,  $H$  a kábelerőnövekmény az esetleges teher hatására,  $p$  az esetleges teher,  $y$  a kábel ordinátája önsúly alatt,  $\eta$  a lehajlás az esetleges teher hatására,  $F_c$  a kábel keresztmetszeti területe,  $\varphi$  a kábelnek a vízszintessel bezárt hajlásszöge,  $E_c$  a kábel rugalmassági modulusza.

MÜLLER—BRESLAU e képletei levezetésében feltételezte, hogy

1. az eredeti függesztőrudak összefüggő lepellel helyettesíthetők,
2. a pilonok, valamint a kihorgonyzások nem mozdulnak el. Ezenkívül elhanyagolta
3. a függesztőrudak hosszváltozásának és

\* Azokat a képleteket, amelyekre csak egy-egy decimálissal jelzett fejezeten belül hivatkozunk, latin betűkkel jelöltük.

4. a kábel, vagy a láncc (a továbbiakban kábel) vízszintes elmozdulásának, valamint

5. a nyíróerők okozta alakváltozásnak a hatását. Végül nem vette tekintetbe

6. a merevítőtartó belső erőinek meghatározása alkalmával a kábel hosszváltozását a kábelerő, vagyis a kábelben keletkező vízszintes húzóerő, valamint a hőmérsékletváltozás következtében,

7. a kábelerő meghatározásakor a merevítőtartó alakváltozását.

Arra az esetre, ha

8. a merevítőtartó merevsége állandó és

9. a kábel alakja önsúly esetében másodfokú parabola, MÜLLER—BRESLAU az  $a$ ) alatti differenciálegyenletet megoldotta és a  $H$  kábelerő-növekményt a  $b$ ) alatti kifejezés alapján meghatározta.

Ezen elmélet szerint — még a fenti közelítések bevezetésekor is —, a számítás igen hosszadalmas és nehézkes, mert a kábelerő maga is a lehajlás függvénye és így az  $a$ ) alatti differenciálegyenlet együtthatója is függ a lehajlástól. Ezért a differenciálegyenlet ún. szemilineáris differenciálegyenlet. Ennek következtében a szuperpozíció elve nem érvényes, a belső erők a terhelés függvényeképpen közvetlenül nem írhatók fel, a számítást próbálgatással kell elvégezni.

Jelen tanulmány az 1,0. pontban a függőhidak számítására új lehajlási elméletet vezet le, mely a fenti feltevéseket és elhanyagolásokat nem tartalmazza, továbbá a kapott elméleti eredmények megoldására gyakorlati módszert is kidolgoz. A 2,0. fejezetben a kábelerő meghatározására szolgáló összefüggéseket tárgyalja és számítási eljárást mutat be, a 3,0. pontban ezt az eljárást a „hatásábra eljárásra” alkalmazza. Végül a 4,0. pont egy számpéldát mutat be.

### Meghatározások

Kábelen kábelt és lánccot is értünk, ha csak külön nem mondjuk meg hogy kábeltől, vagy lánccról van szó.

Terheletlen hídon olyan önsúlyteherrel terheltfüggőhidat értünk, melynél a merevítőtartóban belső erő nem keletkezik (a két egymás melletti függesztőrúd közti önsúlyból keletkező belső erőt elhanyagolva). Ekkor a kábel egyedül visel minden terhet.

Esetleges teher alatt olyan terhet és hatást értünk, mely a merevítőtartóban belső erőt ébreszt (ilyen a hasznos teher, az önsúlynak az a része, mely a merevítőtartóban belső erőt ébreszt, a hőmérsékletváltozás).

Terhelt hídon esetleges teherrel terhelt függőhidat értünk.

Kábelerőn a kábelben keletkező húzóerő vízszintes vetületét értjük.

„Kábelerőnövekmény” a kábelerőnek az esetleges teher hatására bekövetkező megnövekedése.

Mező alatt a két egymás melletti függesztőrúd függőlegese közti hídreszt értjük.

Egyszerűség kedvéért a  $(\Delta y)^2$  és  $(\Delta \eta)^2$  mennyiségeket  $\Delta y^2$ , illetve  $\Delta \eta^2$ -el jelöljük.

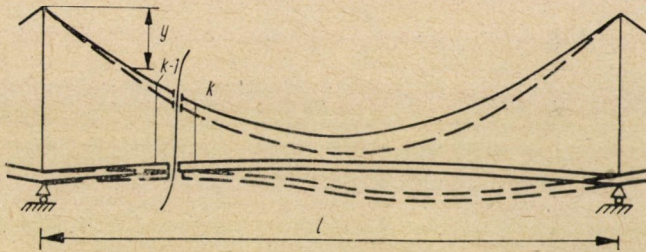
$\sum_i^k$  az  $i, i + 1, \dots, k - 1$ , a  $k$ -ik mezőkre vonatkozó összegezés.

$\sum_i^{(k)}$  a  $k$ -ik mezőre vonatkozó összegezés.

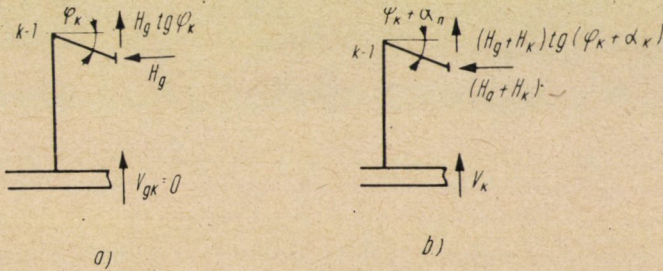
### 1.0. Az új lehajlási elmélet

#### 1.1. Az erők egyensúlya

Vizsgáljuk az 1. ábrán feltüntetett hidat abban az állapotban, amikor csak a kábel által viselt önsúly hat és a merevítőtartó feszültségmentes (a továbbiakban terhelt híd).



1. ábra



2. ábra

Legyen  $y_k$  a kábel ordinátája a  $k$ -ik csomóponton. Ekkor a  $k - 1$ -ik csomóponttól jobbra eső  $k$ -ik mezőben a szerelési önsúly hatására keletkező keresztmetszeti erők függőleges vetülete (a továbbiakban nyíróerő) (2a. ábra)

$$R_{gk} = H_g \operatorname{tg} \varphi_k, \quad (a)$$



ahol  $H_g$  a kábelben keletkező húzóerő vízszintes vetülete, az úgynevezett kábelerő,  $\varphi_k$  a kábelnek a vízszintessel bezárt szöge a  $k$ -ik mező  $k - 1$  pontjában.

A nyíróerő az önsúly, az önsúlynövekmény (az önsúly azon része, amit a merevítőtartó és kábel együtt visel), a hasznos teher, hőmérsékletváltozás és a támaszelmozdulások következtében (továbbiakban terhelt híd) a  $k$ -ik mezőben (2b. ábra).

$$R_{gk} + R_k = V_k + (H_g + H_k) \operatorname{tg}(\varphi_k + \alpha_k), \quad (b)$$

ahol  $V_k$  a merevítőtartóban keletkező nyíróerő,  $H_k$  a „kábelerőnövekmény”,  $\alpha_k$  pedig a kábel irányszögében beálló változás.

A 3. és 4. ábra alapján, ha  $q$  a kábel súlya m-ként, és a kábel alakját két függesztőrúd közt másodfokú parabolának tekintjük

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi_k &= \frac{y_k - y_{k-1}}{a_k} + 4f = \frac{\Delta y_k}{a_k} + \frac{q a_k}{2H_g} \\ \operatorname{tg}(\varphi_k + \alpha_k) &= \frac{y_k + \bar{\eta}_k - y_{k-1} - \bar{\eta}_{k-1}}{a_k^*} + \frac{q a_k}{2(H_g + H_k)} = \\ &= \frac{\Delta y_k + \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^*} + \frac{q a_k}{2(H_g + H_k)}. \end{aligned} \quad (1)$$

Nem hajlékony függesztés példájában, vagyis lánchídnál az (1) összefüggés jobb oldalának második tagja elmarad.

A 2. ábra alapján

$$a_k = \sqrt{s_k^2 - \Delta y_k^2} \quad (c)$$

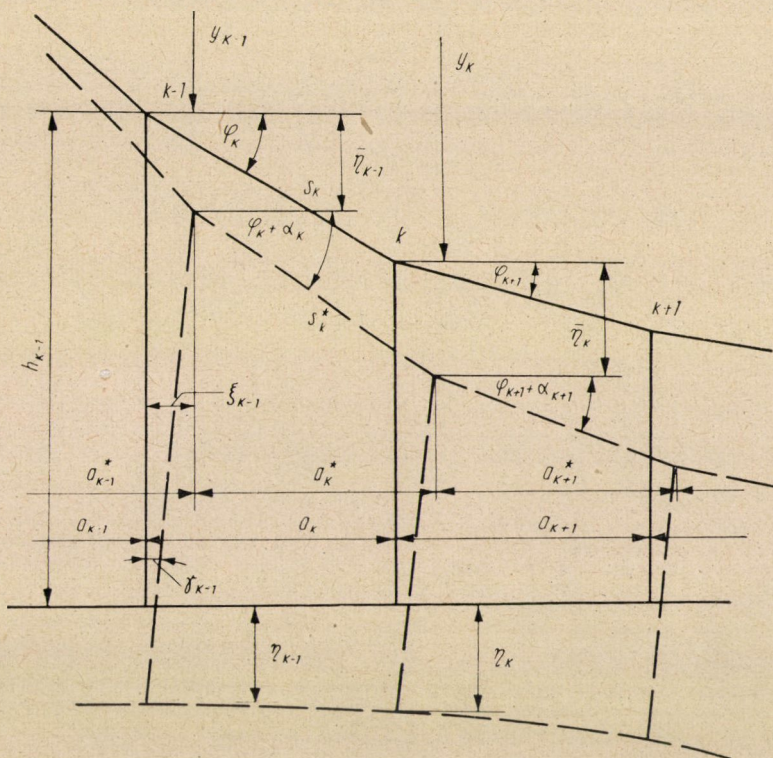
$$\begin{aligned} a_k^* &= \sqrt{(s_k + \Delta s_k)^2 - (\Delta y_k + \Delta \bar{\eta}_k)^2} \approx a_k \left[ 1 - \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2} - \frac{\Delta \bar{\eta}_k^2}{2 a_k^2} \left( 1 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) + \frac{s_k \Delta s_k}{a_k^2} \right]. \end{aligned} \quad (d)$$

A fenti képletekben  $\eta_k$  a kábel csomópontjainak függőleges elmozdulása,  $s_k$  és  $a_k$ , illetve  $s_k^* = (s_k + \Delta s_k)$  és  $a_k^*$  a csomópontok távolsága és a távolság vízszintes vetülete a terheletlen, illetve terhelt hídon.  $a_k^*$  közelítő értékét úgy kaptuk meg, hogy sorba fejtett alakjában a másod- és magasabbrendű kis mennyiségeket elhanyagoltuk, kivéve  $\Delta \eta_k^2$  értékét.

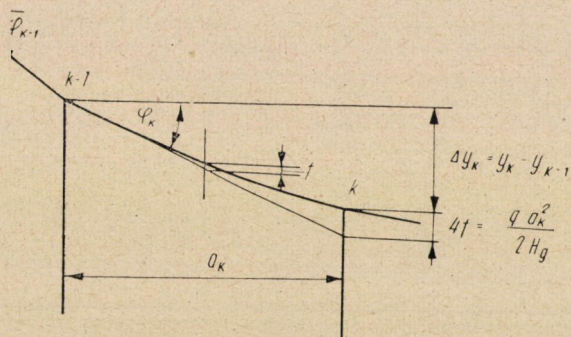
A kábelerő és hőmérsékletváltozás következtében

$$\Delta s_k = s_k \left\{ \left[ \frac{H_g + H_k}{\cos(\varphi_k + \alpha_k)} - \frac{H_g}{\cos \varphi_k} \right] \frac{1}{E_c F_{ck}} + \omega t \right\}, \quad (e)$$

hol  $E_c$  és  $F_{ck}$  a kábel rugalmassági tényezője és keresztmetszeti területe a  $k$ -ik mezőben,  $\omega$  a hőkiterjedési együttható,  $t$  a hőmérsékletváltozás.



3. ábra



4. ábra

A (d) képlet alapján  $\Delta\eta_k^2$  és  $\Delta s_k$  elhanyagolása mellett

$$\frac{1}{\cos(\varphi_k + \alpha_k)} = \frac{s_k + \Delta s_k}{a_k^*} \approx \frac{s_k}{a_k^*} \approx \frac{s_k}{a_k} \left( 1 + \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2} \right). \quad (f)$$

Ha az (f) alatti értéket e-be, majd az eredményt d-be helyettesítjük,

$$a_k^* = a_k \left\{ 1 - \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2} - \frac{\Delta \bar{\eta}_k}{2 a_k^2} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) + \frac{H_k + (H_g + H_k) \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2}}{E_c F_{ck} \cos^3 \varphi_k} + \frac{\omega t}{\cos^2 \varphi_k} \right\} \quad (2)$$

és a fent említett kis mennyiségek elhanyagolásával

$$\frac{1}{a_k^*} = \frac{1}{a_k} \left\{ 1 + \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2} + \frac{\Delta \bar{\eta}_k^2}{2 a_k^2} \left( 1 + 3 \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) - \frac{H_k + (H_g + H_k) \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2}}{E_c F_{ck} \cos^3 \varphi_k} - \frac{\omega t}{\cos^2 \varphi_k} \right\}. \quad (g)$$

Ha (b)-ből (a) egyenletet levonjuk és abba (g) és (l) értékét behelyettesítjük, a fent említett elhanyagolásokkal

$$V_k + (H_g + H_k) \frac{\Delta \bar{\eta}_k}{a_k} \left\{ 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} + 1,5 \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \right\} = \\ = R_k - H_k \frac{\Delta y_k}{a_k} \left\{ 1 - \frac{H_g + H_k}{E_c F_{ck} \cos^3 \varphi_k} \right\} + (H_g + H_k) \frac{\Delta y_k}{a_k} \frac{\omega t}{\cos^2 \varphi_k}. \quad (h)$$

Megjegyezzük, hogy MÜLLER—BRESLAU a levezetéskor  $a_k = a_k^*$  értékkel számolt, RODE pedig  $\Delta s_k$  hatását nem vette figyelembe és  $\Delta\eta_k^2$  értékét is elhanyagolta, a kábelerőnövekményt pedig minden mezőben egyenlőnek vették.

Legyen továbbá  $H$  a „kábelerőnövekmény” átlagos értéke, amit a 2,1. pontban fogunk pontosabban definiálni s amelyet e számításban ismertnek tételezünk fel.

Az előzőek alapján vezessük be a

$$\Delta H_k = H_k - H$$

jelölést.

Mivel (l) alapján

$$\frac{1}{\cos^2 \varphi_k} = 1 + \operatorname{tg}^2 \varphi_k \approx 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \quad (i)$$



a (h) egyenlet kis elhanyagolással következőképpen alakul :

$$\begin{aligned}
 & V_k + (H_g + H) \frac{\Delta \bar{\eta}_k}{a_k} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) = R_k - \\
 & - H \frac{\Delta y_k}{a_k} \left\{ 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{1/2}}{E_c F_{ck}} \right\} + \\
 & + (H_g + H) \frac{\Delta y_k}{a_k} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \omega t + \Delta_k,
 \end{aligned} \tag{3}$$

ahol

$$\begin{aligned}
 \Delta_k = & - (H_g + H) \frac{3 \Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k^2}{2 a_k^2} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) - \Delta H_k \left\{ \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \frac{\Delta \bar{\eta}_k}{a_k} + \right. \\
 & \left. + \left[ 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{1/2}}{E_c F_{ck}} \right] \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \omega t \right\} \frac{\Delta y_k}{a_k}.
 \end{aligned} \tag{3a}$$

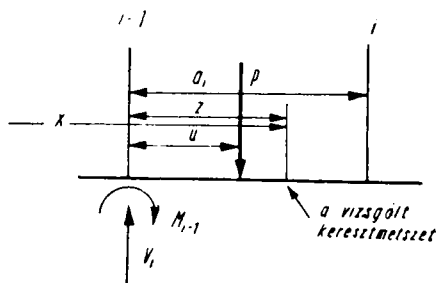
A fenti  $\Delta_k$  értéke igen kicsi, amit a számításokban közelítő értékével veszünk majd figyelembe.

### 1.2. Hajlítónyomaték a merevítőtartón

Az  $i - 1$  és  $i$  csomópont közt a következő hajlítónyomaték keletkezik :

$$M(z) = M_{i-1} + V_i z - \sum_{i-1}^z P_j (z - u_j). \tag{a}$$

Itt  $M_{i-1}$  nyomaték az  $i - 1$  csomóponton,  $z$  a keresztmetszet távolsága a megelőző ( $i - 1$ ) csomóponttól,  $V_i$  a függőleges eredő közvetlenül az  $i - 1$  csomóponttól jobbra,  $P_j$  terhelőerő a vizsgált keresztmetszet és a tőle balra levő csomópont közt, melynek távolsága a balra levő ( $i - 1$ ) csomóponttól  $u_j$  (5. ábra).



5. ábra

Hasonlóképpen a nyomaték a megelőző szakasz végpontjaiban

$$M_{i-1} = M_{i-2} + V_{i-1} a_{i-1} - \sum_{j=2}^{i-1} P_j (a_{i-1} - u_j).$$

$M_{i-2} \dots M_1$  értékeket hasonlóképpen kifejezve és behelyettesítve

$$M_{i-1} = M_0 + \sum_{j=1}^{i-1} V_j a_j - \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{j=1}^{i-1} P_r (a_{j-1} - u_r). \quad (b)$$

(b) kifejezést (a)-ba helyettesítve

$$M(z) = M_0 + \sum_{j=1}^{i-1} V_j a_j + V_i z - \sum_{j=1}^{i-1} \sum_{j=1}^{i-1} P_r (a_{j-1} - u_r) - \sum_{i-1}^z P_r (z - u_r). \quad (4)$$

Ha csak a csomópontokon ható aktív erő

$$M(z) = M_0 + \sum_{j=1}^{i-1} V_j a_j + V_i z. \quad (5)$$

### 1.3. *A merevítőtartó lehajlása*

#### 1.31. *Gerinclemezes tartó lehajlása*

Gerinclemezes tartó lehajlása függőleges terhelés hatására az  $x_k$  keresztmetszetben, vagyis a  $k$ -ik csomóponton

$$\eta_k = - \iint_0^{x_k} \frac{M(x) dx}{EI} + \int_0^{x_k} \frac{V dx}{EA_r} + \kappa_0 x_k + \eta_0 \quad (a)$$

$$\frac{1}{A_r} = \frac{E}{G \rho F}, \quad (6a)$$

hol  $M_x$  az  $x$  keresztmetszetben a hajlítónyomaték,  $EI$  a keresztmetszet merevsége,  $V$  a tényleges nyíróerő,  $G$  a csavarási modulus,  $\rho$  a tartó alakjától függő tényező,  $F$  a merevítőtartó keresztmetszeti területe,  $\kappa_0$  és  $\eta_0$  az  $x = 0$  helyen a tartó szögforgása, illetve lehajlása.

#### 1.32. *Rácsos tartó lehajlása*

Hasonló összefüggés vezethető le rácsos szerkezetre is.

Az övrúd megnyúlása

$$\delta = \frac{M(x) s}{E F m}, \quad (7)$$

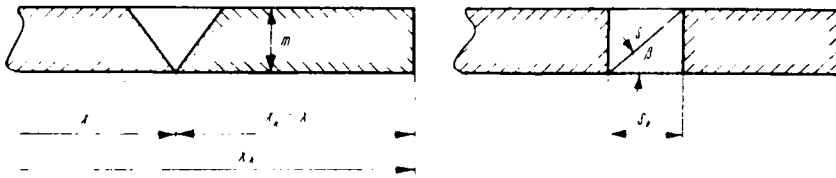
hol  $M(x)$  a főponti nyomaték,  $E$  a rugalmassági modulus,  $F$  a rúd keresztmetszete,  $s$  a hossza és  $m$  a főponti távolság (6. ábra).

E megnyúlás következtében a főpontnál levő szög megváltozik, s így az  $x_k$  helyen az  $M(x_k)$  főponti nyomaték hatására bekövetkező övrúd megnyúlása folytán az  $x$  helyen mutatkozó függőleges elmozdulás

$$\Delta y_{\delta} = - \frac{M(x_k) s}{E F m^2} (x_k - x). \quad (b)$$

A vízszintessel  $\beta$  szöget bezáró  $s$  hosszú és  $F$  keresztmetszetű rácsrúdnak a benne fellépő  $N$  húzóerő hatására bekövetkező megnyúlása

$$\delta = \frac{N s}{E F}. \quad (8)$$



6. ábra

E megnyúlás következtében a szóban levő rácsrúdtól jobbra a tartó függőleges elmozdulása

$$\Delta y_r = \frac{N s}{E F \sin \beta} = \frac{N s_v}{E F \sin \beta \cos \beta}, \quad (c)$$

hol  $s_v$  a rácsrúd vízszintes vetülete.

Ha párhuzamos övrű a tartó, akkor

$$N = \frac{V}{\sin \beta}. \quad (d)$$

(c)-ből (d) felhasználásával

$$\Delta y_r = \frac{V s_v}{E F \sin^2 \beta \cos \beta} = \frac{T s_v}{E A_r}, \quad (e)$$

ahol

$$\frac{1}{A_r} = \frac{1}{F \sin^2 \beta \cos \beta}. \quad (6b)$$

A szimmetrikus rácsozat példájában oszlopok nincsenek és így a teljes függőleges elmozdulás (b) és (e) alapján

$$\eta = \Sigma \Delta y_{\delta} + \Sigma \Delta y_r = - \sum_0^x \frac{M(x_k) s (x_k - x)}{E F m^2} + \sum_0^x \frac{V s_v}{E A_r} + \alpha_0 x + \eta_0. \quad (f)$$



Hasonló képlet vezethető le az oszlopos, vagy kétszeres rácskozás példáján is.

Az *oszlopos rácszat* példájában

$$\frac{1}{A_r} = \frac{1}{F \sin^2 \beta \cos \beta} + \frac{1}{F_0 \sin \beta}, \quad (6c)$$

hol  $F_0$  az oszlop keresztmetszeti területe.

A *kétszeres (András-kereszt) rácszat* példájában közelítőleg

$$\frac{1}{A_r} = \frac{1}{F \sin^2 \beta \cos \beta}, \quad (6d)$$

hol  $F$  a két egymást keresztező rácsrúd együttes keresztmetszeti területe.

### 1,33. A lehajlások differenciái

Az (a) és (f) összefüggésből

$$\Delta \eta_k = \eta_k - \eta_{k-1} = -a_k \int_0^{x_{k-1}} \frac{M(x) dx}{EI} - \iint_0^{c_k} \frac{M(x) dz dz}{EI} + \int_0^{a_k} \frac{V dx}{EA_r} + \alpha_0 a_k. \quad (9)$$

és

$$\Delta \eta_k = -a_k \sum_{s=1}^{k-1} \frac{M(x) s}{EFm^2} - \sum_{z=0}^{a_k} \frac{M(x) s (a_k - z)}{EFm^2} + \sum_{z=0}^{c_k} \frac{V s_v}{EA_r} + \alpha_0 a_k. \quad (10)$$

Ha a tartó vízszintes

$$V(x) = V(z) = V_k - \sum_0^z P, \quad (11)$$

illetve, ha a külső terhelés csak csomóponton hat

$$V(x) = V(z) = V_k. \quad (12)$$

A keresztmetszetre ható nyomaték (4) értékét behelyettesítve  $\Delta \eta_k$  fent levezetett értékébe, összefüggést kapunk a lehajlás, valamint a kezdeti nyomaték, csomóponti nyíróerők és függőleges terhelőerők közt.

Az alábbiakban feltételezzük, hogy csak a csomópontokon hatnak terhelőerők. Ha esetleg két csomópont közt hat külső erő, úgy az alábbi összefüggések minden nehézség nélkül megfelelően kibővíthetők.

Az (5) képlet alapján az  $M_0$  nyomaték minden keretben előfordul. A  $V_{ja}$  nyomaték minden  $i$ -ik keretben, ha  $i > j$  és a  $V_{jz}$  abban a keretben, ahol  $i = j$ .

Gerinclemezés tartó esetében

$$\int_0^{x_k} \frac{M(x) dx}{EI} = \sum_{i=1}^{k-1} \int_0^{a_i} \frac{M(z) dz}{EI}.$$

A fentiek figyelembevételével

$$\int_0^{x_k} \frac{M(x) dx}{EI} = M_0 \sum_{i=1}^{k-1} \int_0^{a_i} \frac{dz}{EI} + \sum_{j=1}^{k-1} V_j \left[ a_j \sum_{i=j+1}^{k-1} \int_0^{a_i} \frac{dz}{EI} + \int_0^{a_j} \frac{z dz}{EI} \right] \quad (13)$$

$$\iint_0^{a_k} \frac{M(x) dz dz}{EI} = M_0 \iint_0^{a_k} \frac{dz dz}{EI} + \sum_{j=1}^{k-1} V_j a_j \iint_0^{a_k} \frac{dz dz}{EI} + V_k \iint_0^{a_k} \frac{z dz dz}{EI}. \quad (14)$$

Továbbá rácsos merevítőtartó esetében

$$\sum_1^{k-1} \frac{M(x) s}{EFm^2} = \sum_{i=1}^{k-1} \sum' (i) \frac{M(z) s}{EFm^2}.$$

Így

$$\begin{aligned} \sum_1^{k-1} \frac{M(x) s}{EFm^2} &= M_0 \sum_{i=1}^{k-1} \sum' (i) \frac{s}{EFm^2} + \sum_{j=1}^{k-1} V_j \left[ a_j \sum_{i=j+1}^{k-1} \sum' (i) \frac{s}{EFm^2} + \right. \\ &\quad \left. + \sum' (j) \frac{zs}{EFm^2} \right] \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} \sum_{z=0}^{a_k} \frac{M(x) s (a_k - z)}{EFm^2} &= M_0 \sum' (k) \frac{s (a_k - z)}{EFm^2} + \sum_{j=1}^{k-1} V_j a_j \sum' (k) \frac{s (a_k - z)}{EFm^2} + \\ &\quad + V_k \sum' (k) \frac{s (a_k - z) z}{EFm^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

A  $\sum_i^j$  jelölés az  $i$ -től  $j$ -ig bezáróan terjedő mezőben levő főpontokhoz tartozó rudakra vonatkozó összegezést jelenti; a  $\sum'(j)$   $j$ -ik mezőben levő főpontokhoz tartozó rudakra vonatkozó összegezést jelenti.

Ezeket (9), illetve (10)-be helyettesítve

$$\begin{aligned} EI_0 \Delta \eta_k &= -M_0 \left[ b_k + a_k \sum_{i=1}^{k-1} c_i \right] - \sum_{j=1}^{k-1} V_j \left[ a_k \left( b_j^{*2} + a_i \sum_{i=j+1}^{k-1} c_i \right) + \right. \\ &\quad \left. + a_j b_k^2 \right] + V_k [r_k^2 - c_k^{*3}] + \alpha_0 a_k EI_0. \end{aligned} \quad (17)$$

E képletben *tömörszelvényű merevítőtartó* esetében  $I_0$  tetszés szerint összehasonlító tehetetlenségi nyomaték

$$\begin{aligned}
 b_k^2 &= \iint_0^{a_k} \frac{I_0 dz dz}{I} \\
 c_i &= \int_0^{a_i} \frac{I_0 dz}{I} \\
 b_j^{*2} &= \int_0^{a_j} \frac{I_0 z dz}{I} \\
 c_k^{*3} &= \iint_0^{a_k} \frac{I_0 z dz dz}{I} \\
 r_k^3 &= \int_0^{a_k} \frac{EI_0 dz}{\rho GF} .
 \end{aligned} \tag{18}$$

*Rácsos merevítőtartó* esetében  $F_0$  tetszés szerinti összehasonlító terület

$$\begin{aligned}
 b_k^2 &= \sum (k) \frac{F_0 s (a_k - z)}{F} \\
 c_i &= \sum (i) \frac{F_0 s}{F} \\
 b_j^{*2} &= \sum (j) \frac{F_0 s z}{F} \\
 c_k^{*3} &= \sum (k) \frac{F_0 s (a_k - z) z}{F} \\
 r_k^3 &= \sum (k) \frac{m^2 F s_v}{A_r} \\
 I_0 &= m^2 F_0 .
 \end{aligned} \tag{19}$$

Ha *tömörszelvényű merevítőtartó* két szomszédos csomópontja (függesztési pont) közt a tartó tehetetlenségi nyomatéka állandó

$$\begin{aligned}
 EI_0 \Delta \eta_k &= -M_0 a_k \left( \frac{\overline{a_k}}{2} + \sum_{i=1}^{k-1} \overline{a_i} \right) - \sum_{j=1}^{k-1} V_j a_j a_k \left( \frac{\overline{a_j}}{2} + \sum_{i=j+1}^{k-1} \overline{a_i} + \frac{\overline{a_k}}{2} \right) + \\
 &+ V_k a_k \left( \frac{EI_0}{\rho GF} - \frac{a_k \overline{a_k}}{6} \right) + \varkappa_0 a_k EI_0 ,
 \end{aligned}$$



hol

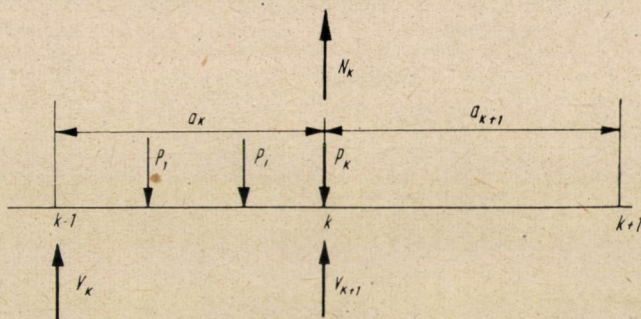
$$\bar{a}_i = \frac{I_0 a_i}{I_i} \quad (20)$$

És végül, ha a csomópontok távolsága egyenlő és a tartó tehetetlenségi nyomatéka állandó ( $a_i = a$  és  $I_c = I_0 = I$ )

$$EI \Delta \eta_k = -M_0 a^2 \left( k - \frac{1}{2} \right) - \sum_{j=1}^{k-1} V_j a^3 (k-j) + V_k a^3 \left( \frac{EI}{\rho G F a^2} - \frac{1}{6} \right) + \alpha_0 a EI \quad (21)$$

1.4. A függesztőrúdak megnyúlásának figyelembevétele

A kábel és a merevítőtartó függőleges elmozdulása a függesztőrúdak hosszváltozása következtében nem egyenlők egymással.



7. ábra

Az  $x = 0$  és  $x = l$  ponton a kábel függőleges elmozdulása  $\eta_0$  és  $\eta_l$ . Ezek értéke a  $H$  kábelernővekmény és feltételezett támaszponti elmozdulás alapján határozható meg.

Közbenő pontokon a kábelt és merevítőtartót a függesztőrúdak kapcsolják egymáshoz.

A relatív függőleges elmozdulás

$$v_k = \frac{N_k h_k}{EF_{hk}} + h_k \omega t, \quad (22)$$

hol  $N_k$ ,  $h_k$  és  $F_{hk}$  sorban a  $k$ -ik csomópontához tartozó függesztőrúdban a hasznos terhelés hatására keletkező húzóerőnövekmény, a rúd hossza és keresztmetszeti területe.

A húzóerőnövekmény a 7. ábra szerint

$$N_k = V_{k+1} - V_k + \sum (k) P, \quad (23)$$

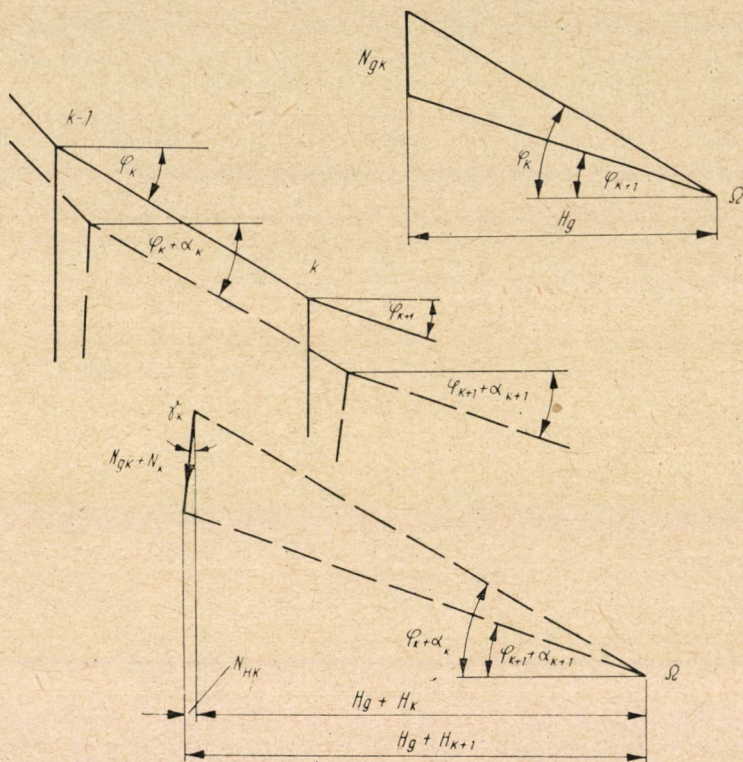


hol  $\sum^{(k)}$  a  $k$ -ik mezőben ható függőleges erőkre vonatkozik, beleértve a  $k$ -ik csomóponton ható erőt is. Ha csak csomóponti terhelés hat

$$N_k = V_{k+1} - V_k + P_k. \quad (24)$$

Ha tehát csak csomóponton hat külső erő, a (22) és (24) képlet alapján

$$\Delta \bar{\eta}_k - \Delta \eta_k - \Delta v_k,$$



8. ábra

hol, ha  $l < k < n$

$$\Delta v_k = v_k - v_{k-1},$$

továbbá

$$\Delta v_1 = \bar{\eta}_0 - \eta_0 + v_1$$

$$\Delta v_n = \eta_n - \bar{\eta}_n - v_{n-1},$$

hol  $n$  lábindex az utolsó csomópontra utal.

Ha a (22)-ik képletbe  $N_k$  helyébe a (23), vagy (24) szerinti értéket behelyettesítjük,  $\Delta\eta_k$  tartalmazni fogja a  $V_{k+1}$  és  $V_k$  mennyiségeket is.

A függesztőrúdak megnyúlásának hatása csupán nagy nyílású hidaknál jelent olyan értéket, amit érdemes számításba venni, azonban a nyomaték értékét ott is csak pár %-kal módosítja. Ezért megengedhető annak közelítő értékével számolni.

A függesztőrúd rúderönövekménye kifejezhető a (3) és (24) képletek felhasználásával is (8. ábra). A kis értékű mennyiségek elhanyagolása után

$$N_k = - (H_g + H) \left[ \frac{\Delta\eta_{k+1}}{a_{k+1}} \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right) - \frac{\Delta\eta_k}{a_k} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \right] - H \left( \frac{\Delta y_{k+1}}{a_{k+1}} - \frac{\Delta y_k}{a_k} \right) \tag{26}$$

és a teljes függesztőrúd erő, a  $\Delta\eta$  szorzójában az egység melletti  $\frac{\Delta y^2}{a^2}$  elhanyagolásával

$$N_{gk} + N_k \approx - (H_g + H) \left[ \frac{\Delta y_{k+1} + \Delta\eta_{k+1}}{a_{k+1}} - \frac{\Delta y_k + \Delta\eta_k}{a_k} \right]. \tag{27}$$

1,5. A függőhíd alapegyenletei

A (3) összefüggésbe behelyettesítve a (17), továbbá a (25) összefüggéseket, megkapjuk a függőhíd alapegyenleteit. Így jutunk a (28) középső egyenlethez, mely általában  $1 < k < n$  esetekben érvényes. A  $k = 1$  és  $k = n$  esetben a (25) egyenletet  $\Delta v_1$ , illetve  $\Delta v_n$  értékkel kell szerepeltetni.

$$V_1 \left[ 1 + \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_1^2}{a_1^2} \right)}{EI_0 a_1} (r_1^3 - c_1^{*3}) \right] - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_1^2}{a_1^2} \right)}{EI_0 a_1} b_1^2 M_0 + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_1^2}{a_1^2} \right) x_0 = R_1 - H \frac{\Delta y_1}{a_1} \left( 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_1^2}{a_1^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{c1}} \right) + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_1^2}{a_1^2} \right) \frac{\Delta y_1}{a_1} \omega t + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_1^2}{a_1^2} \right) \frac{\bar{\eta}_0 - \eta_0 + v_1}{a_1} + \Delta_1$$

.....



$$\begin{aligned}
& V_k \left[ 1 + \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)}{EI_0 a_k} (r_k^3 - c_k^3) \right] - \\
& - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)}{EI_0 a_k} \sum_{j=1}^{k-1} V_j \left[ a_k \left( b_j^{*2} + a_j \sum_{i=j+1}^{k-1} c_i \right) + a_j b_k^2 \right] - \\
& - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)}{EI_0 a_k} M_0 \left[ b_k^2 + a_k \sum_{i=1}^{k-1} c_i \right] + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \varkappa_0 = \\
& = R_k - H \frac{\Delta y_k}{a_k} \left( 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{ck}} \right) + \\
& + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \frac{\Delta y_k}{a_k} \omega t + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) \frac{v_k - v_{k-1}}{a_k} + \Delta_k \\
& \dots \dots \dots
\end{aligned} \tag{28}$$

$$\begin{aligned}
& V_n \left[ 1 + \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_n^2}{a_n^2} \right)}{EI_0 a_n} (r_n^3 - c_n^3) \right] - \\
& - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_n^2}{a_n^2} \right)}{EI_0 a_n} \sum_{j=1}^{n-1} V_j \left[ a_n \left( b_j^{*2} + a_j \sum_{i=j+1}^{n-1} c_i \right) + a_j b_n^2 \right] - \\
& - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_n^2}{a_n^2} \right)}{EI_0 a_n} M_0 \left[ b_n^2 + a_n \sum_{i=1}^{n-1} c_i \right] + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_n^2}{a_n^2} \right) \varkappa_0 = \\
& R_n - H \frac{\Delta y_n}{a_n} \left( 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_n^2}{a_n^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{cn}} \right) + (H_g + H) \left( 1 + \right. \\
& \left. + \frac{\Delta y_n^2}{a_n^2} \right) \frac{\Delta y_n}{a_n} \omega t + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_n^2}{a_n^2} \right) \frac{\eta_n - \bar{\eta}_n - v_{n-1}}{a_n} + \Delta_n.
\end{aligned}$$

A (28) képlet  $k$ -ik egyenlete egyes tagjainak értelmét külön-külön vizsgáljuk meg, és hasonlítsuk össze a Müller—Breslau-féle differenciálegyenlettel.

A bal oldalon van a  $V_k$  nyíróerő, ami a Müller—Breslau-féle egyenletben is előfordul.

$$V_k \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{y_k}{a_k} \right) r_k^3}{EI_0 a_k}$$

a nyíróerő hatása.

$$- V_k \frac{(H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right) c_k^3}{EI_0 a_k}$$

a differenciákból származó tag, ami a differenciálegyenletben már eltűnik.

$$\frac{(H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right)}{EI_0 a_k} \sum_{j=1}^{k-1} V_j \left[ a_k \left( b_j^{*2} + a_j \sum_{i=j+1}^{k-1} c_i \right) + a_j b_k^2 \right]$$

a függőleges lehajlás hatása.

$$- \frac{(H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right)}{EI_0 a_k} M_0 \left[ b_k^2 + a_k \sum_{i=1}^{k-1} c_i \right]$$

a bal oldali támaszponti nyomaték hatása.

$$(H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right) \varkappa_0$$

a baloldali támaszon a szögforgás hatása. E két utóbbi tag összege a Müller—Breslau-egyenlet integrálása után, mint integrálási állandó szerepel.

$R_k$  a külső terhelőerő okozta nyíróerő a kéttámaszú tartón.

$-H \frac{y}{a_k}$  a kábel tehermentesítő hatása.

$$H \frac{\Delta y_k}{a_k} \frac{(H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right)^{3/4}}{E_c F_{ck}}$$

a feszültség következtében bekövetkező kábel megnyúlás hatása.

$$(H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right) \frac{\Delta y_k}{a_k} \omega t$$

a hőmérsékletváltozás következtében bekövetkező kábel megnyúlás hatása.

$$(H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right) \frac{v_k - v_{k-1}}{a_k}$$

a függesztőrúd megnyúlás hatása. Ennek egyik komponense a feszültség, a másik a hőmérsékletváltozás. Ez utóbbi értéke (22) behelyettesítése után

$$(H_g + H) \left(1 + \frac{y_k^2}{a_k^2}\right) \frac{h_k - h_{k-1}}{a_k} \omega t = - (H_g + H) \left(1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2}\right) \frac{\Delta y_k}{a_k} \omega t.$$

Ha a kábel és függesztőrúd hőmérséklete egyezik, úgy a  $k$ -ik egyenletben a hőmérsékletváltozás hatása eltűnik, s ezért nincs a hőmérséklet hatása a differenciálegyenletben.

A (28) alatti egyenletrendszerben az  $\eta_0, \bar{\eta}_0, \eta_n, \bar{\eta}_n$  és  $\nu_1 \dots \nu_{n-1}$  mennyiségeket, továbbá a kábelerőnövekmény  $H$  átlagos értékét ismertnek tételezzük fel, míg a  $V_1 \dots V_n$  nyíróerők ismeretlenek. Előfordul még az  $M_1$  nyomaték és a  $\alpha_0$  szögforgás, mint ismeretlen, összesen tehát az ismeretlenek száma  $n + 2$ . A fenti egyenletrendszer  $n$  számú egyenletet tartalmaz. További két egyenletet szolgáltatnak a határfeltételek (például kéttámaszú függőhíd esetében az  $x = 0$  és  $x = l$  helyen a merevítőtartóban keletkező nyomaték zérus).

A fenti  $\eta$  értékek előre meghatározhatók a felvett  $H$  erő alapján, a  $\nu$  értékek pedig, amelyeknek a belső erőkre és alakváltozásra vonatkozó hatásuk amúgy is igen kicsi, előzetes számításokból, a (22) és (25) képletek alapján jól becsülhetők. Ez az eljárás biztosítja a kellő pontosságot.

A (28) összefüggés a konkrét tervezésnél általában egyszerűsíthető, mert azok a hatások figyelmen kívül hagyhatók, amik az adott híd esetében gyakorlatilag érdektelenek, pl. kis fesztávok esetében a függesztőrudak megnyúlása.

A (28) képlet alapján az egyes tényezőknek a nyomatéokra kifejtett hatása értékelhető. Eszerint általában a nyíróerő hatása 5%, a függesztőleppellel való helyettesítés — kis nyílású hidakat nem tekintve — 1% alatt van, a függesztőrudak megnyúlása közepes nyílású hidaknál már 1%-ot is eredményez. A kábel megnyúlása, a csomópontok vízszintes irányú elmozdulása 5—5%-os, a tehetetlenségi nyomaték változása pedig 10%-os hatást is elérhet.

### 1.6. A függőhíd alapidifferenciálegyenlete

Ha az egyedi függesztőrudakat folytonos függesztő leppellel és a rácsos merevítőtartót tömör falú merevítőtartóval helyettesítjük, akkor a (28) „differencia” egyenletrendszer helyett egyetlen differenciálegyenletet kaphatunk.

A  $V = M'$  jelölés bevezetése után a (3) összefüggésbe behelyettesítve a (9) és (25) összefüggéseket, majd a  $\lim a \rightarrow 0$  határátmenetet képezve kapjuk az

$$\begin{aligned} & M' \left[ 1 + \frac{(H_g + H)(1 + y'^2)}{EA} \right] - (H_g + H)(1 + y'^2) \int \frac{M}{EI} dx = \\ & = M'_g - Hy' \left[ 1 - \frac{(H_g + H)(1 + y'^2)^{3/2}}{E_c F_c} \right] - (H_g + H)(1 + y'^2) \alpha_0 + \\ & + (H_g + H)(1 + y'^2) \nu' + \Delta \end{aligned} \quad (28a)$$

differenciálegyenletet.



Itt

$$\Delta = - (H_g + H) \frac{3}{2} y' \eta'^2 (1 + y'^2) - \Delta H \left\{ (1 + y'^2) \eta' + \frac{(H_g + H) (1 + y'^2)^{1/2}}{E_c F_c} y' \right\}$$

$$v' = - \frac{h}{EF_h} (H_g + H) \eta'' \tag{28b}$$

Lánc esetében, ha  $F_m$  a lánc keresztmetszeti területe a nyílás közepén

$$F_c = F_m (1 + y'^2)^{1/2} \tag{28c}$$

E differenciálegyenlet azon a szakaszon, ahol a merevítőtartó nincs felfüggesztve — ilyen a támasz melletti egy-két keret —  $H_g = H = 0$  miatt

$$M' = M'_g \tag{28d}$$

alakúvá egyszerűsödik.

E differenciálegyenlet megoldása általában zárt alakban nem írható fel. Megoldására gyakorlati módszert a [9] és [10] alatti irodalom tárgyal.

### 1.7. Az alapegyenletek megoldása

A (28) alatti egyenletrendszer matrixa — az említett közelítés után — trapéz alakú, melyben az első egyenlet ismeretlenéi  $V_1$ ,  $M_1$  és  $\alpha_0$ . Minden további egyenlet egy újabb ismeretlent tartalmaz.

Ez az egyenlet a következő eljárással megoldható. Először felvesszük a  $V_1 = 1$ , és  $M_0 = 0$  értékeket és az egyenletrendszer jobb oldalát nullával vesszük egyenlőnek. Ekkor az egyenletrendszer matrixa már háromszög alakú és az ismeretlenek az alábbi úton határozhatók meg.

Az első egyenletből  $\alpha_0$  értékét meghatározva a második egyenletben már csak  $V_2$  az ismeretlen. Ezt meghatározva a harmadik egyenlet a  $V_3$  értéket szolgáltatja. Az ismeretleneket így láncolatos számítással meghatározhatjuk. Az így meghatározott  $V_k$  nyírőerőt  $S'_k$ -val jelöljük.

Mint segédmenyiségeket a számítás alkalmával megkapjuk az  $S_k$ -val jelölt nyomatók, az  $N_k^s$  függesztőrúd erő, az  $\Delta \eta_k^s$  relatív lehajlás és az  $\eta_k^s$  lehajlás értékeit.

Második lépésként a  $V_1 = 0$  és  $M_0 = 1$  értéket vesszük fel és a jobb oldalt zérusnak tekintjük. Az egyenletrendszer matrixa most is háromszög alakú. A fentihez hasonló módon meghatározva az ismeretleneket, megkapjuk a  $C'_k$ -vel jelölt nyírőerőt, a  $C_k$  nyomatók és  $\eta_k^r$  lehajlás, valamint az  $N_k^r$  függesztőrúd erő értékét.

Harmadik lépésként  $V_1 = M_0 = 0$  értéket véve fel, a jobb oldal figyelembevételével meghatározzuk az  $U'_k$ -vel jelölt nyíróerőt és az  $U_k$  nyomatékot, az  $\eta_k^u$  lehajlást és a  $N_k^u$  függesztőrúd erőt az előbb ismertett eljárás segítségével.

E mennyiségek (5), (24) és (9) képletek alapján a fentiek figyelembevételével az alábbiak szerint határozhatók meg:

$$S_k = \sum_{i=1}^k S'_i a_i \quad (29)$$

$$N_k^s = S'_{k+1} - S'_k = S''_k \quad (30)$$

$$\eta_k^s = \sum_{i=1}^k \Delta \eta_i^s \quad (31)$$

$$C_k = \sum_{i=1}^k C'_i a_i + 1^{tm} \quad (32)$$

$$N_k^c = C'_{k+1} - C'_k = C''_k \quad (33)$$

$$\eta_k^c = \sum_{i=1}^k \Delta \eta_i^c \quad (34)$$

Így

$$S_0 = 0$$

$$S'_0 = 1^t$$

$$C_0 = 1^{tm}$$

$$C'_0 = 0$$

$$U_k = \sum_{i=1}^k U'_i a_i \quad (35)$$

$$N_k^u = U'_{k+1} - U'_k + P_k = U''_k \quad (36)$$

$$\eta_k^u = \eta_0 + \sum_{i=1}^k \Delta \eta_i^u \quad (37)$$

$$U_0 = 0.$$

A két szélső alátámasztáson a nyomaték  $M_0$  és  $M_n$ , s így

$$M_0 = AC_0 + BS_0 + U_0$$

$$M_n = AC_n + BS_n + U_n,$$

ahol  $A$  és  $B$  dimenzió nélküli állandók.

A fenti feltételek ( $U_0 = S_0 = 0$ ) ismeretében

$$A = \frac{M_0}{C_0} \quad (38)$$

$$B = \frac{M_n - \frac{M_0}{C_0} C_n - U_n}{S_n}. \quad (39)$$

Közbeneső ponton a nyíróerő

$$V_k = AC'_k + BS'_k + U'_k, \quad (40)$$

a nyomaték

$$M_k = AC_k + BS_k + U_k. \quad (41)$$

A függesztőrúd erő

$$N_k = AC''_k + BS''_k + U''_k, \quad (42)$$

s a lehajlás

$$\eta_k = A\eta_k^c + B\eta_k^s + \eta_k^u. \quad (43)$$

Megjegyezzük, hogy ha  $v_k$  helyébe a (22) és (26) alapján meghatározott értéket helyettesítenénk, a (28) egyenletrendszer  $k$ -ik tagjában a  $V_{k+1}$  nyíróerő is mint ismeretlen fordulna elő. Ez esetben azonban az ismeretlenek meghatározása lényeges többletmunkával járna. Ugyanis az  $S'$ ,  $C'$  és  $U'$  nyíróerők meghatározásakor az egyenletrendszer matrixa már nem háromszög, hanem olyan trapéz alakú, melynél az első sorban két ismeretlen van.

## 2.0. A kábelerő

### 2.1. A kábelerőnövekmény átlagos értéke

A terheletlen hídon a szélső kihorgonyozások (kábelsaruk) közti távolság

$$D = \sum_1^i \sum_1^n a_k. \quad (a)$$

Itt az első  $\sum$  jel az egyes nyílásokra, a második  $\sum$  jel az egyes nyílásokban levő mezőkre utal.



Ugyanez a távolság a terhelt hídon

$$D + d + \vartheta H_0 + \delta t = \sum_1^i \sum_1^n a_k^*, \quad (b)$$

hol  $d$  a fenti két pont távolsága közti maradó csökkenés,  $\vartheta$  a fenti távolság rugalmas csökkenése a kihorgonyzásnál levő egységnyi  $H_0$  kábelerő,  $\delta$  pedig az egységnyi hőmérsékletváltozás következtében.

Megjegyezzük, mivel a hídon csak függőleges erők hatnak, a két kihorgonyzásnál levő kábelerő egyenlő egymással.

Helyettesítsük be (b) és (a) különbségébe  $a_k$ -nak (2) kifejezését és az így kapott egyenlet bal oldalát vigyük át a jobb oldalra

$$0 = - \sum_1^i \sum_1^n \left[ \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} - \frac{\Delta \bar{\eta}_k^2}{2a_k} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) + \frac{H_k + (H_g + H) \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2}}{E_c F_{ck} \cos^3 \varphi_k} a_k + \frac{\omega t}{\cos^2 \varphi_k} a_k \right] - d - \vartheta H_0 - \delta t.$$

Rendezve és az igen kis mennyiségek elhanyagolása után lesz

$$0 = - \sum_1^i \sum_1^n \left[ \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} + \frac{\Delta \bar{\eta}_k^2}{2a_k} \right] - d + t \left[ \omega \sum_1^i \sum_1^n \frac{a_k}{\cos^2 \varphi_k} - \delta \right] + \frac{H_g}{E_c F_{ck}} \sum_1^i \sum_1^n \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2} \frac{a_k}{\cos^3 \varphi_k} + \sum_1^i \sum_1^n \left[ \frac{\Delta H_k a_k}{E_c F_{ck} \cos^3 \varphi_k} - \vartheta \Delta H_0 \right] + H \sum_1^i \sum_1^n \left[ \frac{a_k}{E_c F_{ck} \cos^3 \varphi_k} \left( 1 + \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k^2} \right) - \vartheta \right].$$

Az

$$\frac{1}{\cos^2 \varphi_k} = 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \quad (c)$$

összefüggés felhasználásával és

$$L_s = \sum_1^i \sum_1^n \frac{F_{cm} a_k}{F_{ck}} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{1/2} - E_c F_{cm} \vartheta \quad (44)$$

$$L_t = \sum_1^i \sum_1^n a_k \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right) - \frac{\delta}{\omega} \quad (45)$$

$$W_1 = \sum_1^i \sum_1^n \left( \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} + \frac{\Delta \bar{\eta}_k^2}{2 a_k} \right) \quad (46)$$

$$W_2 = \sum_1^i \sum_1^n \left[ \frac{\Delta y_k \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} \frac{F_{cm}}{F_{ck}} \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{1/2} \right] \quad (47)$$

$$W_3 = \sum_1^i \sum_1^n \left[ \Delta H_k \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{1/2} \frac{F_{cm}}{F_{ck}} a_k \right] - \vartheta \Delta H_0 E_c F_{cm} \quad (d)$$

kifejezések bevezetésével

$$\begin{aligned} 0 = & -W_1 - d + t \omega L_t + \frac{H_g}{E_c F_{cm}} W_2 + \\ & + \frac{W_3}{E_c F_{cm}} + \frac{H}{E_c F_{cm}} [L_s + W_2]. \end{aligned} \quad (48)$$

Ebből az átlagos kábelerőnövekmény

$$H = \frac{W_1 - t \omega L_t + d - \frac{H_g}{E_c F_{cm}} W_2 - \frac{W_3}{E_c F_{cm}}}{L_s + W_2} E_c F_{cm}.$$

Definiáljuk most az átlagos kábelerőt úgy, hogy az elégítse ki a

$$W_3 = \sum_1^i \sum_1^n \Delta H_k \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{1/2} \frac{F_{cm}}{F_{ck}} a_k - \vartheta \Delta H_0 E_c F_{cm} = 0 \quad (49)$$

egyenlőséget. Így az átlagos kábelerő

$$H = \frac{W_1 - t \omega L_t + d - \frac{H_g}{E_c F_{cm}} W_2}{L_s + W_2} E_c F_{cm}. \quad (50)$$

$H$  átlagos „kábelerőnövekmény” értéke egyezik azzal a kábelerő növekménnyel, amit akkor kapunk, ha a csomópontok vízszintes irányú elmozdulásából származó kábelerő változás hatását elhanyagoljuk.

E képletekben  $F_{cm}$  a kábelnek tetszőleges keresztmetszete, amit célszerűségi okokból a nyílás közepén választunk.

Ha a függesztőlepel feltevésével élünk, az

$$L_s = \sum_1^i \int_0^l \frac{F_{cm}}{F_c} (1 + y'^2)^{1/2} dx - E_c F_{cm} \vartheta \quad (44a)$$

$$L_l = \sum_1^i \int_0^l (1 + g'^2) dx - \frac{\delta}{\omega} \quad (45a)$$

$$W_1 = \sum_1^i \int_0^l \left( y' \bar{\eta}' + \frac{\bar{\eta}'^2}{2} \right) dx \quad (46a)$$

$$W_2 = \sum_1^i \int_0^l \left[ y' \bar{\eta}' - \frac{F_{cm}}{F_c} (1 + y'^2)^{3/2} \right] dx \quad (47a)$$

és

$$W_3 = \sum_1^i \int_0^l \left[ \Delta H (1 + y'^2)^{3/2} - \frac{F_{cm}}{F_c} \right] dx - \vartheta \Delta H_0 E_c F_{cm} = 0 \quad (49a)$$

összefüggések érvényesek [lásd (28c)-t is].

## 2.2. A kábelerő tényleges értéke

A  $j$ -ik keret  $a_j$  hosszán a relatív vízszintes kábel elmozdulás (2) alapján az igen kis mennyiségek elhanyagolása után

$$\begin{aligned} \Delta \xi_j = \xi_j - \xi_{j-1} = a_j^* - a_j = a_j \left\{ \frac{\Delta y_j \Delta \bar{\eta}_j}{a_j^2} - \frac{\Delta \bar{\eta}_j^2}{2 a_j^2} \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) + \right. \\ \left. + \frac{H + (H_g + H)}{E_c F_{c_j}} \frac{\Delta y_j \Delta \eta_j}{a_j^2} \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right)^{3/2} + \omega t \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) \right\}. \end{aligned} \quad (51)$$

A  $k$ -ik csomópont vízszintes elmozdulása

$$\xi_k = \sum_s^k \Delta \xi_j, \quad (52)$$

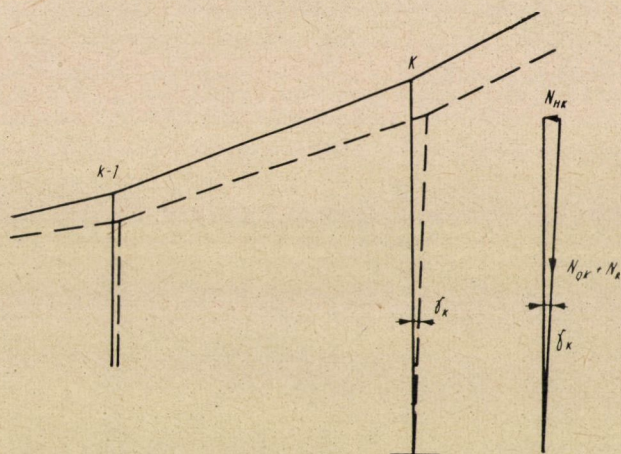
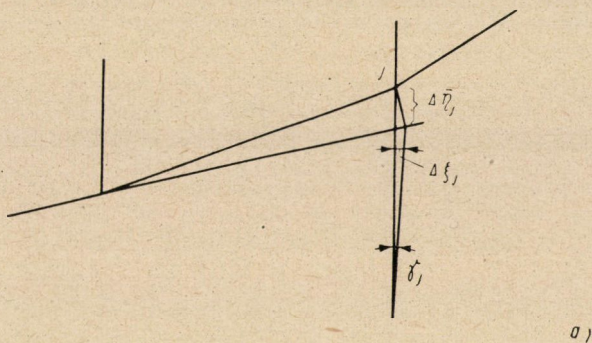
hol az  $s$ -ik csomópont az a csomópont, mely a merevítőtartóhoz képest vízszintesen nem mozdul el. Vagyis az  $s$ -ik csomópont és a merevítőtartó vízszintes relatív elmozdulást kizáróan egymáshoz rögzített. Ez rendszeren a híd közepén van.

A  $k$ -ik csomóponton levő függesztőrúd szögforgása (9a. ábra)

$$\gamma_k = \frac{\xi_k}{h_k}, \quad (53)$$

feltéve, hogy a merevítőtartó hosszváltozására nem vagyunk tekintettel.





9. ábra

A merevítőtartó hosszváltozása a normálerő és a hőmérsékletváltozás hatására következik be. A normálerő  $\Sigma \Delta H_k$ , ami kis erő és hatása elhanyagolható. A hőmérsékletváltozás okozta hosszváltozás  $\Sigma a_j \omega t_1$ . Ha ezt levonjuk  $\xi_k$  értékéből, marad a hőmérsékletváltozásra

$$\Sigma a_j \omega \left[ t \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) - t_1 \right],$$

ami közelítőleg a  $\Delta t = t - t_1$  jelölés mellett

$$\Sigma a_j \omega \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) \Delta t.$$

Vagyis  $\Delta t$  alatt a merevítőtartó és kábel hőmérsékletkülönbségét értjük.

A szögelfordulás következtében a függesztőrúdban levő rúderő vízszintes komponense (9b. ábra)

$$N_{Hk} = (N_{gk} + N_k) \gamma_k, \quad (54)$$

Az  $f$ -ik csomóponton a kábelerőnövekmény

$$H_f = H_s + \sum_{k=s}^f N_{Hk}. \quad (55)$$

Az (51)—(54) és (27) összefüggéseket (55)-be helyettesítve és a nagyon kis mennyiségeket elhanyagolva

$$\begin{aligned} H_f = H_s - \sum_{k=s}^f \frac{H_g + H}{h_k} \left\{ \frac{\Delta y_{k+1} + \Delta \bar{\eta}_{k+1}}{a_{k+1}} - \right. \\ \left. - \frac{\Delta y_k + \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} \right\} \sum_{j=s}^k a_j \left\{ - \frac{\Delta y_j \Delta \bar{\eta}_j}{a_j^2} + \frac{H}{E_c F_{cj}} \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right)^{3/2} + \right. \\ \left. + \omega \Delta t \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) \right\}. \quad (56) \end{aligned}$$

Az (56) képlet alkalmazásánál különös gonddal vigyázni kell az előjelekre. Ha kisebb sorszámú csomóponttól haladunk nagyobb sorszámú felé, továbbá  $\Delta y_j < 0$  és  $\Delta \bar{\eta}_j = \bar{\eta}_j - \bar{\eta}_{j-1} > 0$ , akkor  $\Delta \xi_j > 0$  (8a. és 8b. ábra), úgy, hogy az  $N_{Hk}$  erő húzóerő, vagyis a fenti képlet előjelhelyes. Ha nagyobb sorszámú csomópont felől haladunk kisebb sorszámú csomópont felé, továbbá  $\Delta y_j > 0$  és  $\Delta \bar{\eta}_j > 0$ , akkor  $\Delta \xi_j < 0$ , az  $N_{Hk}$  erő megint húzóerő s így a képletben a  $\sum_{k=s}^f$  jel előtti előjel pozitív lesz.

### 2.3. A kábelerő tényleges értékének meghatározása

Az (56) képletbe  $H_s$  helyébe helyettesítsük  $H + \Delta H_s$  értéket

$$\begin{aligned} H_f = H + \Delta H_s - \sum_{k=s}^f \frac{H_g + H}{h_k} \left\{ \frac{\Delta y_{k+1} + \Delta \bar{\eta}_{k+1}}{a_{k+1}} - \right. \\ \left. - \frac{\Delta y_k + \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} \right\} \sum_{j=s}^k a_j \left\{ - \frac{\Delta y_j \Delta \bar{\eta}_j}{a_j^2} + \right. \\ \left. + \frac{H}{E_c F_{cj}} \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right)^{3/2} + \omega \Delta t \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) \right\}. \end{aligned}$$

Ezt helyettesítsük (49)-be

$$\begin{aligned}
 0 = \Delta H_s \left\{ \sum_1^i \sum_{f=0}^n \left( 1 + \frac{\Delta y_f^2}{a_f^2} \right)^{1/2} \frac{F_{cm}}{F_{cf}} a_f - \vartheta E_c F_{cm} \right\} - \\
 - \sum_1^i \sum_{f=0}^n \left[ \sum_{k=s}^f \frac{H_g + H}{h_g} \right] \left\{ \frac{\Delta y_{k+1} + \Delta \bar{\eta}_{k+1}}{a_{k+1}} - \right. \\
 - \left. \frac{\Delta y_k + \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} \right\} \sum_{j=s}^k a_j \left\{ - \frac{\Delta y_j \Delta \bar{\eta}_j}{a_j} + \frac{H}{E_c F_{cj}} \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right)^{1/2} + \right. \\
 + \omega \Delta t \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) \left\{ \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right)^{1/2} \frac{F_{cm} a_j}{F_{cj}} + \right. \\
 + \vartheta E_c F_{cm} \sum_{k=s}^{k=0} \frac{H_g + H}{h_k} \left\{ \frac{\Delta y_{k+1} + \Delta \bar{\eta}_{k+1}}{a_{k+1}} - \right. \\
 - \left. \frac{\Delta y_k + \Delta \bar{\eta}_k}{a_k} \right\} \sum_{j=s}^k a_j \left\{ - \frac{\Delta y_j \Delta \bar{\eta}_j}{a_j} + \frac{H}{E_c F_{cj}} \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right)^{1/2} + \right. \\
 \left. \left. + \omega \Delta t \left( 1 + \frac{\Delta y_j^2}{a_j^2} \right) \left\{ \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{1/2} \frac{F_{cm} a_k}{F_{ck}}, \right. \right. \right. \right. \quad (57)
 \end{aligned}$$

amiből  $\Delta H_s$  kifejezhető.

Függesztő lepel feltevése esetében a fenti összefüggésekben a második  $\sum$  helyett integrál lép.

### 3.0. Hatásábrák meghatározása

#### 3.1. A hatásábrák készítésének elve

Sztatikai számításokban valamely tetszőleges abszcisszájú ( $z$ ) keresztmetszethez tartozó hatásábrának az  $x$  abszcisszához tartozó ordinátája megadja, hogy az  $x$  keresztmetszetben ható  $Q = 1$  külső erő a kérdéses keresztmetszetben milyen deformációt, illetve belső igénybevételt okoz.

Ha a terhelőerő nem egységnyi, vagy több terhelőerő hat, a szuperponálás elvének alkalmazásával járunk el.

A (28) jelű képletek azonban világosan mutatják, hogy függőhíd esetében a szuperpozíció elve csak akkor érvényes, ha  $(H_g + H)$  értéke nem változik. Ezért a számítás folyamán ennek értékét rögzítjük, több rögzített értékére meghatározva a nyírőerő, nyomaték, kábelerő és lehajlási hatásábrákat a — terheléstől függő — helyes  $(H_g + H)$  értéknek megfelelően interpolálunk.

A hatásábrákat a (28) jelű képletcsoport jobb oldalának megfelelően három rész-összegként képezzük. Ezek



1. az  $R_k$  külső terheléstől közvetlenül függő érték hatása, vagyis, amikor a jobb oldalnak csak az  $R_k$  értékét, azaz a külső terhelést vesszük figyelembe. Erre határozzuk meg először a hatásábrát, amit „p” lábindex-szel jelölünk.

2. A külső terheléstől közvetve függő  $H$  kábelerőnövekmény hatása, amikor a jobb oldalon csak  $H$  kábelerőnövekményt vesszük figyelembe. Erre elvileg nem kellene külön hatásábrát szerkeszteni, mert az 1. alatti hatásábrát a

$$-H \frac{\Delta y_k}{a_k} \left( 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{ck}} \right)$$

eredőt okozó erőrendszerrel terhelve megkaphatjuk a keresett hatást. Azonban ez meglehetősen nagy számítási munkát kívánna, és — mint később látni fogjuk —, meghatározása nem jelent különösebb nehézséget. Ezt a hatásábrát a későbbiekben  $q$  lábindex-szel fogjuk jelölni.

3. A kiegészítő hatásokat, vagyis a támaszpont és kábelerőnövekmény elmozdulását, a függesztőrúd nyúlását, és a  $\Delta$  maradéktag hatását úgy vesszük figyelembe, hogy a felsorolt hatásokat, mint függőleges eredőt okozó függőleges erőrendszerrel terheljük az 1. alatti hatásábrát és a kapott értékkel megfelelően módosítjuk az eredményt.

Az így módosított 1. alatti hatásábrát a 2. alattival összegezve kapjuk a végleges hatásábrát.

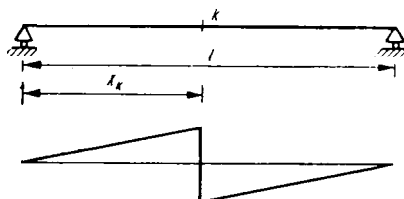
A terhelő erőrendszerrel az egyes keresztmetszetben terhelő fiktív erő nem más, mint az említett eredő erő differenciái.

### 3.2. Kéttámaszú merevítőtartó hatásábrái

#### 3.2.1. A terheléstől közvetlenül függő hatására rész

A merevítőtartót terhelje a  $k$ -ik csomóponton, melynek abszcisszája  $x_k$ ,  $P = 1^t$  függőleges erő. A (28) jelű egyenletrendszerrel a jobb oldal értéke (10. ábra)

$$R_i = \frac{l - x_k}{l} \quad x_i < x_k,$$



10. ábra

illetve

$$R_i = \frac{x_k}{l} \quad x_i > x_k.$$

Az egyenletrendszer homogén alakjának általános megoldása a 0 csomóponttól kiindulva

$$B_0 S'_0(x_i), \tag{58}$$

ugyanis kéttámaszú tartónál  $M(o) = 0$ , s így (38) szerint

$$A = 0.$$

Ha az  $n$ -ik (utolsó) csomóponttól indulunk el, a homogén alak általános megoldása

$$B_n S'_n(x_i). \tag{59}$$

Ha a jobb oldal értéke  $R_i = 1$ , úgy vezessük be az inhomogén alak kiválasztott partikuláris megoldására ( $V_1 = M_0 = 0$ ), ha a 0-ik csomóponttól indulunk ki az

$$U(x_i) = Q_0(x_i), \tag{60}$$

s ha az  $n$ -ik csomóponttól indulunk ki, az

$$U(x_i) = Q_n(x_i) \tag{61}$$

jelölést.

Ha az egyenletrendszer jobb oldala  $\frac{l-x_k}{l}$ , úgy a  $(k+1)$ -ik keretre vonatkozó egyenletrendszer a (28) egyenletcsoport alapján, ha egységnyi  $R_i$  esetében a nyíróerő  $V$

$$\begin{aligned} & -\frac{l-x_k}{l} V_{k+1} \left[ 1 + \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right)}{E I_0 a_{k+1}} (r_{k+1}^2 - c_{k+1}^{*2}) - \right. \\ & \left. - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right)}{E I_0 a_{k+1}} \right] \sum_{j=1}^k \frac{l-x_k}{l} V_j \left[ a_{k+1} (b_j^{*2} + \right. \\ & \left. + a_j \sum_{i=j+1}^k c_i) + a_j b_{k+1}^2 \right] + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right) \frac{l-x_k}{l} z_0 = \frac{l-x_k}{l}. \end{aligned} \tag{62}$$

Azonban a  $(k+1)$  keretnél a vonatkozó egyenlet jobb oldala

$$-\frac{x_k}{l} = \frac{l-x_k}{l} - 1. \tag{63}$$

Ekkor  $\frac{l-x_k}{l} V_{k+1}$  helyébe  $-\frac{x_k}{l} V_{k+1}^*$  érték lép, mert ebben a keretben a nyíróerő a jobb oldalról kiindulva meghatározott  $V_{k+1}^*$  nyíróerővel egyenlő nagyságú, de ellenkező előjelű. Így

$$\begin{aligned} & -\frac{x_k}{l} V_{k+1}^* \left( 1 + \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right)}{E I_0 a_{k+1}} \right) (r_{k+1}^3 - c_{k+1}^{*3}) - \\ & - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right)}{E I_0 a_k} \sum_{j=1}^k \frac{l-x_k}{l} V_j \left[ a_{k+1} (b_j^{*2} + a_j \sum_{i=j+1}^k c_i) + \right. \\ & \left. + a_j b_{k+1}^2 \right] + (H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right) \frac{l-x_k}{l} \alpha_0 = \frac{l-x_0}{l} - 1. \end{aligned} \quad (64)$$

(64) és (62) egyenlet különbségéből

$$\begin{aligned} & \left\{ \frac{l-x_k}{x_k} V_{k+1} - \left[ -\frac{x_k}{l} V_{k+1}^* \right] \right\} \left\{ 1 + \right. \\ & \left. + \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right)}{E I_0 a_{k+1}} \right\} (r_{k+1}^3 - c_{k+1}^{*3}) = 1. \end{aligned} \quad (65)$$

S így a  $(k+1)$ -ik mezőben a bal és jobb oldalról kiindulva számított nyíróerő különbség

$$\frac{1}{t_{k+1}} = \frac{1}{1 + \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k+1}^2}{a_{k+1}^2} \right)}{E I_0 a_{k+1}} (r_{k+1}^3 - c_{k+1}^{*3})}. \quad (66)$$

Az inhomogén egyenletrendszer teljes megoldása

$$\begin{aligned} V_i &= B_0(x_k) S'_0(x_i) + \frac{l-x_k}{l} Q'_0(x_i) \quad i < k \\ -V_i &= B_n(x_k) S'_n(x_i) + \frac{x_k}{l} Q'_n(x_i) \quad i > k. \end{aligned} \quad (67)$$

A nyomaték pedig

$$\begin{aligned} M(x_i) &= B_0(x_k) S_0(x_i) + \frac{l-x_k}{l} Q_0(x_i) \quad i < k \\ M(x_i) &= B_n(x_k) S_n(x_i) + \frac{x_k}{l} Q_n(x_i) \quad i > k. \end{aligned} \quad (68)$$



A  $k$ -ik csomóponton a jobb és bal oldalról számított nyomatékok egyenlők egymással, a  $(k + 1)$  mezőben a jobb és bal oldalról kiindulva számított nyíróerő közti különbség pedig (66) alapján  $\frac{1}{t_{k+1}}$ . Így

$$B_0(x_k) S_0(x_k) + \frac{l - x_k}{l} Q_0(x_k) = B_n(x_k) S_n(x_k) + \frac{x_k}{l} Q_0(x_k) \quad (69)$$

és — mivel a jobb oldalról vett nyíróerő ellenkező előjelű, mint a bal oldalról vett —

$$B_0(x_k) S'_0(x_{k+1}) + B_n(x_k) S'_n(x_{k+1}) + \frac{l - x_k}{l} Q'_0(x_{k+1}) + \frac{x_k}{l} Q'_n(x_{k+1}) = \frac{1}{t_{k+1}}. \quad (70)$$

A (69) és (70) képletek alapján

$$B_0(x_k) = \frac{- \left[ \frac{l - x_k}{l} Q_0(x_k) - \frac{x_k}{l} Q_n(x_k) \right] S'_n(x_{k+1}) + \left[ \frac{1}{t_{k+1}} - \frac{l - x_k}{l} Q'_0(x_{k+1}) - \frac{x_k}{l} Q'_n(x_{k+1}) \right] S_n(x_k)}{S_0(x_k) S'_n(x_{k+1}) + S_n(x_k) S'_0(x_{k+1})}$$

$$B_n(x_k) = \frac{\left[ \frac{l - x_k}{l} Q_0(x_k) - \frac{x_k}{l} Q_n(x_k) \right] S'_0(x_{k+1}) + \left[ \frac{-1}{t_{k+1}} - \frac{l - x_k}{l} Q'_0(x_{k+1}) - \frac{x_k}{l} Q'_n(x_{k+1}) \right] S_0(x_k)}{S_0(x_k) S'_n(x_{k+1}) + S_n(x_k) S'_0(x_{k+1})}. \quad (71)$$

Ha a merevítőtartó középére szimmetrikus

$$\begin{aligned} Q_0(x_k) &= Q(x_k) \\ Q'_0(x_{k+1}) &= Q'(x_{k+1}) \\ Q_n(x_k) &= Q(x_{n-k}) \\ Q'_n(x_{k+1}) &= -Q'(x_{n-k}) \\ S_0(x_k) &= S(x_k) \\ S'_0(x_{k+1}) &= S'(x_{k+1}) \\ S_n(x_k) &= S(x_{n-k}) \\ S'_n(x_{k+1}) &= -S'(x_{n-k}). \end{aligned}$$

S ekkor

$$\begin{aligned}
 B_0(x_k) &= \frac{\left[ \frac{l-x_k}{l} Q(x_k) - \frac{x_k}{l} Q(x_{n-k}) \right] S'(x_{n-k}) + \\
 &+ \left[ \frac{1}{t_{k+1}} - \frac{l-x_k}{l} Q'(x_{k+1}) + \frac{x_k}{l} Q'(x_{n-k}) \right] S(x_{n-k})}{-S(x_k) S'(x_{n-k}) + S(x_{n-k}) S'(x_{k+1})} \\
 B_n(x_k) &= \frac{\left[ \frac{l-x_k}{l} Q(x_k) - \frac{x_k}{l} Q(x_{n+k}) \right] S'(x_{k+1}) + \\
 &+ \left[ \frac{-1}{t_{k+1}} - \frac{l-x_k}{l} Q'(x_{k+1}) + \frac{x_k}{l} Q'(x_{k+1}) \right] S(x_k)}{-S(x_k) S'(x_{n-k}) + S(x_{n-k}) S'(x_{k+1})} = B_0(x_{n-k}).
 \end{aligned} \tag{72}$$

Így az  $x_k$  helyen támadó  $P = 1$  hatására keletkező nyomaték a merevítőtartó  $z$ -ik keresztmetszetében, vagyis a  $z$  keresztmetszet nyomatéki hatásábrájának  $x_k$  helyen levő ordinátája

$$\begin{aligned}
 m_p(z, x_k) &= B_0(x_k) S_0(z) + \frac{l-x_k}{l} Q_0(z) \quad z \leq x_k \\
 m_p(z, x_k) &= B_n(x_k) S_n(z) + \frac{x_k}{l} Q_n(z) \quad z \geq x_k.
 \end{aligned} \tag{73}$$

Ha a merevítőtartó középre szimmetrikus, úgy

$$\begin{aligned}
 S_0(z) &= S(z) \\
 S_n(z) &= S(l-z) \\
 Q_0(z) &= Q(z) \\
 Q_n(z) &= Q(l-z) \\
 B_n(x_k) &= B_0(l-x_k).
 \end{aligned}$$

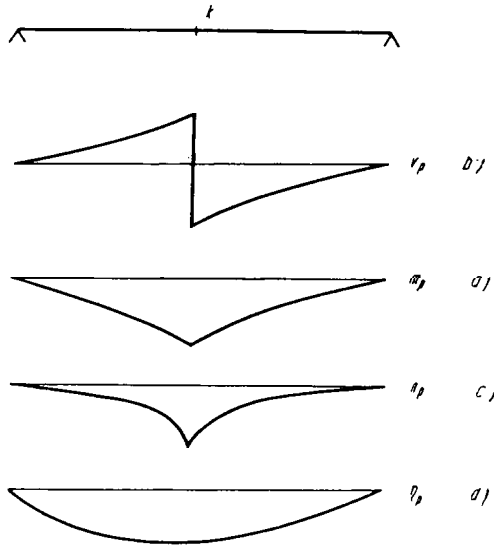
S így szimmetrikus merevítőtartó esetében (11a. ábra)

$$\begin{aligned}
 m_p(z, x_k) &= B_0(x_k) S(z) + \frac{l-x_k}{l} Q(z) \quad z \leq x_k \\
 m_p(z, x_k) &= B_0(l-x_k) S(l-z) + \frac{x_k}{l} Q(l-z).
 \end{aligned} \tag{74}$$

A nyíróerő hatására (40) alapján (11b. ábra)

$$v_p(z, x) = B_0(x) S'_0(z) + \frac{l-x}{l} Q'_0(z) \quad z < x$$

$$v_p(z, x) = B_n(x) S'_n(z) + \frac{x}{l} Q'_n(z) \quad z > x. \quad (75)$$



11. ábra

A függesztőrúd hatására (42) alapján (11c. ábra)

$$n_p(z, x) = B_0(x) S''_0(z) + \frac{l-x}{l} Q''_0(z) \quad z < x$$

$$n_p(z, x) = B_n(x) S''_n(z) + \frac{x}{l} Q''_n(z) \quad z > x. \quad (76)$$

S végül a lehajlási hatására (11d. ábra)

$$\eta_p(z, x) = B_0(x) \eta_0^s(z) + \frac{l-x}{l} \eta_0^q(z) \quad z \geq x$$

$$\eta_p(z, x) = B_n(x) \eta_n^s(z) + \frac{x}{l} \eta_n^q(z) \quad z \geq x, \quad (77)$$

hol  $\eta_0^s$ ,  $\eta_n^s$ ,  $\eta_0^q$  és  $\eta_n^q$  jelentése a képletekből kiolvasható.



Ugyanezek felírhatók a szimmetrikus merevítőtartóra is

$$v_p(z, x) = B_0(x) S'(z) + \frac{l-x}{l} Q'(z) \quad z < x \quad (78)$$

$$v_p(z, x) = -B_0(l-x) S'(l-z) - \frac{x}{l} Q'(l-z) \quad z > x$$

$$n_p(z, x) = B_0(x) S''(z) + \frac{l-x}{l} Q''(z) \quad z < x \quad (79)$$

$$n_p(z, x) = B_0(l-x) S''(l-z) + \frac{x}{l} Q''(l-z) \quad z > x$$

$$\eta_p(z, x) = B_0(x) \eta^s(z) + \frac{l-x}{l} \eta^q(z) \quad z < x \quad (80)$$

$$\eta_p(z, x) = B_0(l-x) \eta^s(l-z) + \frac{x}{l} \eta^q(l-z) \quad z > x.$$

A fenti  $p$  lábindexű hatásábrákat még a kiegészítő hatással módosítani kell. Ez a módosítás az alábbiak szerint történhetik.

Az  $x_k$  helyen ható  $Q = 1^l$  külső erő hatására meghatározzuk a kiegészítő hatásokat, vagyis a támaszpont és kábelalátámasztás elmozdulását, a függesztőrúd nyúlását és a  $\Delta_i$  maradék tagokat. Ezek a (28) egyenletrendszer jobb oldalán vannak és értékük a  $j$ -ik egyenletnél  $\delta R_j$ . Ilyen függőleges erőt okoz a  $j$ -ik csomóponton ható

$$\delta r_j = \delta R_j - \delta R_{j-1} \quad (81)$$

erőrendszer. Ezzel az erőrendszerrel terhelve az  $m_p(z, x)$  nyomatéki hatásábrát, a  $\delta m_p(x_k)$  nyomatékokat kapjuk.

A korrigált nyomatéki hatásábra ordinátája az  $x_k$  helyen

$$\bar{m}_p(z, x_k) = m_p(z, x_k) + \delta m_p(x_k). \quad (74a)$$

Hasonlóképpen határozhatók meg a többi hatásábrák korrekciói is.

### 3.22. A terheléstől közvetve függő hatásábra rész

A  $H = 1$  kábelerőnövekmény hatására a (28) egyenletrendszer jobb oldalának a terheléstől közvetve függő része a  $k$ -ik egyenletnél

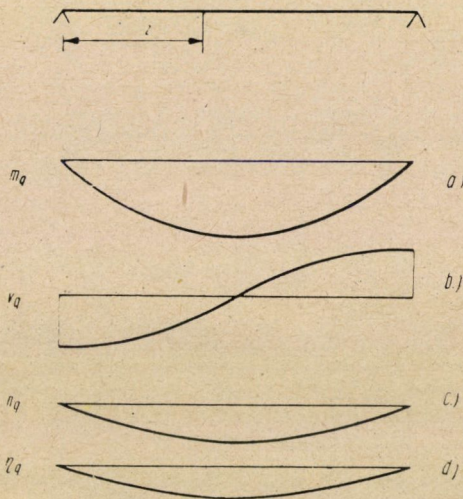
$$-\frac{\Delta y_k}{a_k} \left( 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{ck}} \right).$$

A (28) egyenletrendszert az 1,7. pont alatt részletezett módon megoldva, a homogén alak bennünket érdeklő megoldása  $S(x)$  egyezik a (3,21) alatti  $S(x)$  értékkel. Az inhomogén alak megoldását úgy választjuk ki, hogy  $V_1 = M_0 = 0$  és  $\eta_0 = \bar{\eta}_0 = \eta_n = \bar{\eta}_n = v_k = 0$ .

Ezen egyenletrendszer megoldását  $U'(x)$ -szel jelöljük.

A merevítőtartó tetszőleges  $z$  keresztmetszetében keletkező nyomaték (39) figyelembevételével (12a. ábra)

$$m_q(z) = - \frac{U(l)}{S(l)} S(z) + U(z). \tag{83}$$



12. ábra

Hasonlóképpen a nyíróerő (12b. ábra)

$$v_q(z) = - \frac{U(l)}{S(l)} S'(z) + U'(z). \tag{84}$$

A függesztőrúd erő (12c. ábra)

$$n_q(z) = - \frac{U(l)}{S(l)} S''(z) + U''(z), \tag{85}$$

s végül a lehajlás (12d. ábra)

$$\eta_q(z) = - \frac{U(l)}{S(l)} \eta^s(z) + \eta^u(z). \tag{86}$$

Ha a kábelerő értékében keletkező növekmény az  $x_k$  helyen ható  $P = 1$  függőleges erő esetében  $\eta_H(x_k)$  — amit a (3,23) pontban határozunk meg —, úgy

a merevítőtartó tetszőleges  $z$  keresztmetszetében keletkező nyomaték, vagyis a nyomatéki hatására ordinátája

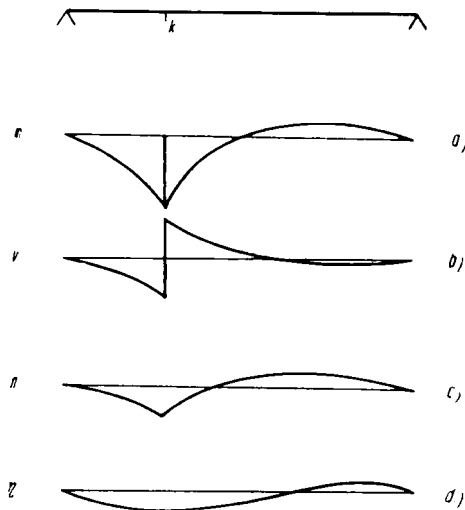
$$m_q(z)\eta_H(x_k), \quad (87)$$

hasonlóképpen a nyíróerő hatására ordinátája

$$v_q(z)\eta_H(x_k), \quad (88)$$

a függesztőrúd erő hatására ordinátája

$$n_q(z)\eta_H(x_k), \quad (89)$$



13. ábra

és a lehajlási hatására ordinátája

$$\eta_q(z)\eta_H(x_k). \quad (90)$$

És a teljes hatásábrát a terheléstől közvetlenül és közvetve függő hatására részek összege adja meg (13. ábra).

### 3,23. Kábelerő hatására

A kábelt elmetszve képzeljük. Ha itt egységnyi eltolódást iktatunk be, a merevítőtartó függőleges elmozdulási ábrája szolgáltatja a  $H$  hatásábrát.

A számítást úgy hajtjuk végre, hogy az átmetszett és  $(H_g + H)$  átlagos kábelerővel terhelt kábelt további  $\delta H = 1$  kábelerőnövekménnyel terheljük.

A  $H_g + H$  kábelerő esetében a  $\delta H = 1$  elemi növekmény hatására a merevítőtartó függőleges elmozdulását már meghatároztuk a 3,22. pontban.

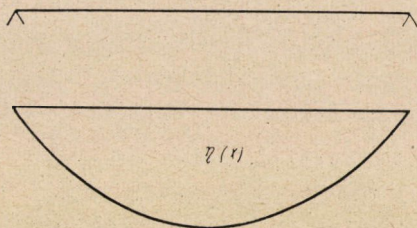


A  $(H_g + H)$  kábelerőhöz tartozó  $\delta H$  elemi kábelerőnövekmény esetében — ha a kábelt elmszve gondoljuk — 2,1. meggondolásának figyelembevételével, minthogy  $W_3 = 0$  és  $t = 0$ , a kábel elvágott részén a (48) képlet a következő alakot veszi fel

$$0 = -W_1 - d + \frac{H_g + H}{E_c F_{cm}} W_2 + \frac{\partial H}{E_c F_{cm}} L_s.$$

Ha a vízszintes elmozdulást  $d$  helyett  $u$ -val jelöljük és  $\delta H = 1$ , az átmetszési ponton a vízszintes irányú elmozdulás

$$u = \frac{L_s}{E_c F_{cm}} - W_1 + \frac{W_2}{E_c F_{cm}} (H_g + H). \quad (91)$$



14. ábra

Az átmetszési ponton keletkező egységnyi relatív elmozdulás esetében a kábelerő elemi növekménye  $\frac{1}{u}$ , így egységnyi relatív elmozdulás esetében a merevítőtartó függőleges irányú elmozdulása (14. ábra)

$$\eta_H(x_k) = \frac{\eta_q(x_k)}{u}, \quad (92)$$

amí már a  $H$  hatására ordinátáit adja meg.

### 3,3. Hatásábra a többtámaszú merevítőtartón

A kéttámaszú merevítőtartós függőhíd hatásábrái a 3,2. pont alapján határozhatók meg.

Többszármű merevítőtartó esetén a folytatólágosság hatását is figyelembe kell venni.

Az  $x$  helyen működő  $P = 1^t$  erő hatására a merevítőtartó kéttámaszú törzstartójának támaszpontjai fölött szögforgás és így relatív szögforgás keletkezik a két szomszédos kéttámaszú merevítőtartó ugyanazon támasz fölötti végpontjai közt. E relatív szögforgást a támaszpontokon keletkező nyomaték szünteti meg.

Kéttámaszú merevítőtartó esetén külön határozhatjuk meg az erőjátékot az

1.  $R_k$  külső terheléstől függő érték hatására,
2. a külső terheléstől közvetve függő  $H$  kábelerőnövekmény hatására s végül
3. a támaszpont, kábelalátámasztás, függesztőrúd nyúlás és maradék tag hatására.

Többtámaszú merevítőtartó esetén is ugyanezt kell meghatároznunk, de a többtámaszú tartón.

Határozzuk meg először a támaszponti nyomaték okozta belső erőket és alakváltozást, majd oldjuk meg a többtámaszú merevítőtartót.

### 3,31. $A$ támaszponti nyomaték hatása

A kéttámaszú merevítőtartó bal oldalán terheljen  $M_0$  külső nyomaték. Mivel más közvetlen terhelőerő nincs,  $M_n = 0$ , és  $U(x) \equiv 0$ , s így (38) és (39) alapján

$$A = \frac{M_0}{C_0} \quad (a)$$

és

$$B = -\frac{M_0 C_n}{C_0 S_n}. \quad (b)$$

Az állandók ismeretében az eredő, nyomaték, függesztőrúd erő és lehajlás meghatározható a (40)—(43) képletek alapján, hol azonban  $U(x) \equiv 0$ . Az iránytangens értékét pedig az

$$\eta'_k = \frac{\Delta \eta_k}{a_k} = A \frac{\Delta \eta_k^c}{a_k} + B \frac{\Delta \eta_k^s}{a_k} \quad (93)$$

összefüggés adja meg. Ez a merevítőtartó súlyvonalának iránytangense.

Ez a számítás valamennyi nyílásra elvégzendő.

Ha a szélső nyílásokban levő merevítőtartók nincsenek felfüggesztve, akkor a támaszponton ható egységnyi nyomaték hatására keletkező belső erők, valamint elmozdulások a szokásos módon határozhatók meg.

### 3,32. $A$ többtámaszú merevítőtartó megoldása

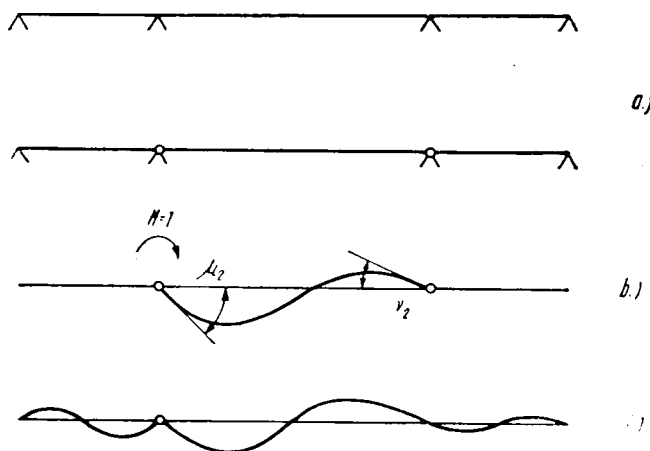
A továbbiakban olyan háromnyílású merevítőtartón végezzük el a számítást, mely a középső nyílás közepére szimmetrikus (15a. ábra).

A középső nyílás — mint kéttámaszú tartó — baloldali támaszát terhelő egységnyi pozitív nyomaték hatására keletkező szögforgás a baloldali támaszon (15b. ábra).

$$\eta' = \mu_2. \quad (a)$$

A jobboldali támaszon

$$\eta' = \nu_2. \quad (b)$$



15. ábra

Hasonlóképpen a jobboldali támaszon terhelő egységnyi negatív nyomaték hatására a jobboldali, illetve baloldali támaszon keletkező szögforgás

$$\eta' = -\mu_2,$$

illetve

$$\eta' = -\nu_2.$$

A jobboldali nyílás — mint kéttámaszú tartó — bal oldalán támadó egységnyi pozitív nyomaték hatására a baloldali támaszon a szögforgás

$$\eta' = \mu_1.$$

Hasonlóképpen az első nyílás jobboldali támaszpontja felett támadó egységnyi negatív nyomaték hatására a nyomaték alatti szögforgás

$$\eta' = -\mu_1.$$

A kéttámaszú tartókból álló rendszerben az 1. támasz felett a baloldali nyílásban levő merevítőtartót  $-M_1$ , a második nyílásban levő merevítőtartót



$+M_1$ , a 2. támasz felett pedig a második nyílásban levő merevítőtartót  $-M_2$ , a harmadik nyílásban levőt pedig  $+M_2$  külső nyomaték terhelje.

A középső nyílás jobb oldalán a szögforgás (a) és (b) szerint

$$\operatorname{tg} \alpha = M_1 \nu_2 - M_2 \mu_2.$$

A jobboldali nyílás bal oldalán keletkező szögforgás

$$\operatorname{tg} \beta = M_2 \mu_1.$$

A folytonosság miatt azonban  $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \beta$ , s így

$$M_2 = M_1 \frac{\nu_2}{\mu_1 + \mu_2}. \quad (94)$$

A szögforgás a középső nyílás bal oldalán

$$\operatorname{tg} \gamma = M_1 \mu_2 - M_2 \nu_2 = M_1 \left( \mu_2 - \frac{\nu_2^2}{\mu_1 + \mu_2} \right).$$

A baloldali nyílás jobboldali támasza felett a szögforgás pedig

$$\operatorname{tg} \delta = -M_1 \mu_1.$$

A nyomatéki hatására képezhető úgy is, hogy a vizsgált helyen egységnyi szögforgást iktatunk be, s az így kialakuló függőleges eltolódásabra azonos a keresett hatásábrával (15c. ábra).

Az 1. támasz felett egységnyi szögforgás esetén

$$\operatorname{tg} \gamma - \operatorname{tg} \delta = 1,$$

vagyis

$$M_1 \left( \mu_2 - \frac{\nu_2^2}{\mu_1 + \mu_2} \right) + M_1 \mu_1 = 1.$$

S ebből

$$M_1 = \frac{\mu_1 + \mu_2}{(\mu_1 + \mu_2)^2 - \nu_2^2}. \quad (95)$$

Illetve (94) alapján

$$M_2 = \frac{\nu_2}{(\mu_1 + \mu_2)^2 - \nu_2^2}. \quad (96)$$

Az  $M_1$  és  $M_2$  nyomatékok ismeretében a baloldali nyomatéki hatására ( $x$  a baloldali támaszponttól mérve)

$$m_1(l_1 - x) = M_1 \eta_1^m(l_1 - x), \quad (97)$$

hol  $\eta^m(x)$  az  $x = 0$  helyen ható egységnyi nyomaték hatására keletkező függőleges eltolódás a kéttámaszú merevítőtartón. A lábindex a nyílás számára utal. A szimmetria miatt

$$\eta_1^m(l_1 - x) = \eta_3^m(x).$$

De (a), (b) és (40) alapján

$$\eta^m(x) = \dot{\eta}^c(x) - \frac{C(l)}{S(l)} \eta^s(x). \quad (98)$$

A középső nyíláson

$$m_2(x) = M_1 \eta_2^m(x) + M_2 \eta_2^m(l_2 - x). \quad (99)$$

S végül a jobboldali nyíláson

$$m_3(x) = M_2 \eta_1^m(x). \quad (100)$$

A támaszponti nyomatéki hatására ismeretében a többi hatására már könnyen előállítható.

A vizsgált nyílást kéttámaszúnak képzelve, a  $z$  keresztmetszet hatásábráját már ismerjük. E hatásábrával adott hatáshoz járul a terheléstől, illetve annak helyétől függő támaszponti nyomatékkal okozott hatás.

### 3.33. Nyomatéki hatására

Nyomatéki hatására esetén a támaszponti nyomaték hatását keressük a  $z$  keresztmetszetben.

A középső nyílás bal oldalán terhelő  $M = 1$  külső nyomaték hatására a vizsgált  $z$  helyen keletkező nyomaték értéke a (40) képlet alapján meghatározható, és értéke

$$m_m(z) = C(z) - \frac{C(l)}{S(l)} S(z). \quad (101)$$

Ezzel a faktoriall kell szorozni a (97) szerinti  $m_1(x)$  ábrát, hogy megkapjuk a bal oldalon levő folytonosság hatását. Mivel a 2. támaszpont nyomatéki hatásábrája szimmetrikus az 1. támaszponthoz képest, a jobboldali 2. jelű támasznál a folytonosság hatását megkapjuk, ha  $x$  helyébe  $(l_2 - x)$ -et és  $z$  helyébe  $(l_2 - z)$  értéket helyettesítünk.

Először határozzuk meg az  $x$  helyen támadó  $P = 1$  hatására keletkező nyomaték értékét a külső terheléstől közvetlenül függő értékek hatására.

A többtámaszú tartó nyomatéki hatásábrája három hatására összegeként képezhető. Ezek: a kéttámaszú merevítőtartó és a két támaszpont nyomaték hatásábrái. A kéttámaszú merevítőtartó hatásábráját a (74) kép-

let adja meg, a támaszponti nyomatékokét a (97)—(100) képletek. Így a hatására a középső nyíláson

$$m_{p2}^t(z, x) = m_{r2}(z, x) + m_{m2}(z)m_2(x) + m_{m2}(l_2 - z)m_2(l_2 - x), \quad (102)$$

a baloldali nyílásra

$$m_{p1}^t(l_1 - z, l - x) = m_{p1}(l_1 - z, l_1 - x) + m_{m1}(l_1 - z)m_1(l_1 - x), \quad (103)$$

a jobboldali nyílásra

$$m_{p3}^t(z, x) = m_{p1}(z, x) + m_{m1}(z)m_1(x). \quad (104)$$

Az  $m_p^t(z, x)$  nyomatéki hatására a kiegészítő hatásokra módosítandó a (74a) képletnek megfelelően.

A terheléstől közvetve függő értékek hatására keletkező nyomatéki ábrát a kéttámaszú merevítőtartóra a (83) képlet adja meg.

A többtámaszúság folytán keletkező támaszponti  $M$  nyomaték a támaszponti nyomatéki hatására megfelelő szakaszának a

$$-\frac{\Delta y_k}{a_k} \left[ 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{ck}} \right]$$

eredőt okozó teherrel, vagyis

$$\begin{aligned} & - \left\{ \frac{\Delta y_k}{a_k} \left[ 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_k^2}{a_k^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{ck}} \right] - \right. \\ & \left. - \frac{\Delta y_{k-1}}{a_{k-1}} \left[ 1 - \frac{(H_g + H) \left( 1 + \frac{\Delta y_{k-1}^2}{a_{k-1}^2} \right)^{3/2}}{E_c F_{ck-1}} \right] \right\} \end{aligned} \quad (105)$$

koncentrált erőkkkel való leterhelésével határozható meg.

A feltételezett szimmetria miatt az így okozott két  $M_q$  támaszponti nyomaték egyenlő egymással. (83) és (101) figyelembevételével a  $z$  helyen keletkező nyomaték a középső nyíláson

$$m_{q2}^t(z) = m_{q2}(z) + M_q [m_{m2}(z) + m_{m2}(l - z)]. \quad (106)$$

A jobboldali nyíláson

$$m_{q3}^t(z) = m_{q1}(z) + M_q m_{m1}(z). \quad (107)$$

A baloldali nyílásban  $z$  helyébe  $l_1 - z$  helyettesítendő.

Megjegyezzük, hogy ugyanez az érték kapható a (102)—(104) szerinti hatásábrák megoszló teherrel való leterhelése útján is.



A (105)—(106) adta nyomatók  $H = 1^t$ -ra vonatkozik és így ezzel, mint tényezővel kell megszorozni a (114) képlet alapján számítható  $\eta_H^t(x)$  kábelerő hatásábrát, ami a terheléstől közvetve függő értékek hatásábrája lesz. Végül ehhez hozzá kell adni a terheléstől közvetlenül függő  $m_\ell^t(x)$  hatásábrát.

Ily módon a nyomatóki hatásábra

$$m^t(z, x) = m_p^t(z, x) + \eta_H^t(x) m_q^t(z). \quad (108)$$

### 3,34. Eredő hatásábra

Az eredő hatásábra meghatározása a nyomatóki hatásábráéhoz hasonló módon történik.

A  $P = 1^t$  hatására az eredő hatásábrát a kéttámaszú tartón a (79) képlet adja meg.

A támaszponti nyomatók hatásábrája a (97)—(100) képletek alapján határozható meg.

Egységnyi támaszponti nyomatók hatására az eredő (101) alapján

$$m'_m(x) = C'_{(x)} - \frac{C(l)}{S(l)} S'_{(x)}. \quad (109)$$

$P = 1^t$  hatásábrája a terheléstől közvetlenül függő hatásra a közbelső nyíláson

$$v_{p_2}^t(z, x) = v_{p_2}(z, x) + m'_{m_2}(z) m_2(x) + m'_{m_2}(l_2 - z) m_2(l_2 - x). \quad (110)$$

A terheléstől közvetve függő hatásra az eredő a középső nyíláson

$$v_{q_2}^t(z) = v_{q_2}(z) + M_q [m'_{m_2}(z) - m_{m_2}(l_2 - z)]. \quad (111)$$

A szélső nyílásokon hasonlóképpen határozható meg az eredő hatásábra.

Az eredő hatásábra az összes hatások figyelembevételével — hasonlóan a nyomatóki hatásábrához —

$$v^t(z, x) = v_p^t(z, x) + \eta_H^t(x) v_q^t(z). \quad (112)$$

### 3,35. Lehajlási hatásábra

A merevítőtartó kéttámaszú tartójának  $\eta_p(z, x)$  lehajlási hatásábrája a terheléstől közvetlenül függő hatásokra ismert.

Az egységnyi támaszponti nyomatók hatására a  $z$  pont függőleges eltolódásának értéke meghatározható, így az  $\eta_p^t(z, x)$  és  $\eta_q^t(z)$  is kiszámítható.

A többtámaszú merevítőtartó lehajlási hatásábrája az előbbiekhöz hasonlóan

$$\eta^t(z, x) = \eta_p^t(z, x) + \eta_H^t(x) \eta_q^t(z). \quad (113)$$

### 3,36. Kábelerő hatására

A kábelerő hatásábrát a 3,23. pontban tárgyaltak alapján határozzuk meg.  $H = 1^t$  hatására a merevítőtartó függőleges eltolódása (lásd 3,35. pont)  $\eta_q^t(x)$ . Az elvágva képzelt kábelnél a relatív eltolódás  $u^t$ . Ez utóbbi értékét (91) helyesen adja.

A lehajlási hatására ily módon

$$\eta_H^t(x) = \frac{\eta_q^t(x)}{u^t}. \quad (114)$$

### 3,4. Az állandó terhelés hatása

Az állandó terhelés — így pl. az önsúly azon részének figyelembevétele, amit a kábel és merevítőtartó együttesen visel — ugyanúgy történik, mint a hatására alapján számolt egyéb szerkezeteknél: az állandó teherrel kell leterhelni a hatásábrákat.

### 3,5. A hőmérsékletváltozás hatása

Képzeljük a kábelt elvágva. A hőmérsékletváltozás hatására az elvágás helyén keletkező relatív eltolódás

$$\Delta l = \omega t L_t. \quad (a)$$

A kábelerőnövekmény egységéből ugyan itt a relatív eltolódás  $u$ .  $H_t$  kábelerőnövekmény esetében a relatív eltolódás

$$\Delta l = H_t u. \quad (b)$$

Mint hogy a kábel nincs elvágva, relatív eltolódás nem mutatkozhatik s így az (a) és (b) szerinti eltolódás összege 0. Ebből a hőmérsékletváltozás okozta kábelerőnövekmény

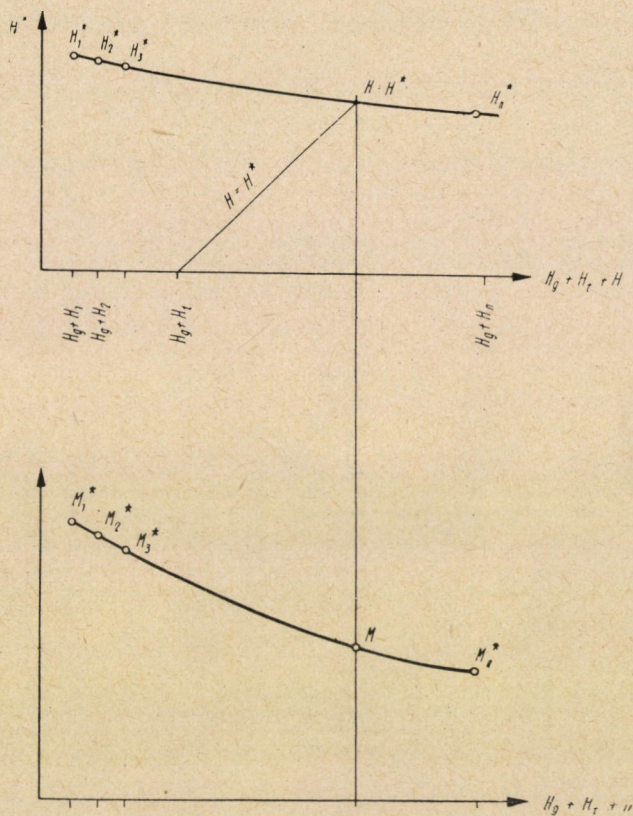
$$H_t = - \frac{\omega t L_t}{u}. \quad (115)$$

A hatására a  $H_t$ -vel szorzott (105) alatti értékkel, mint hőmérsékleti fiktív teherrel terhelendő.

### 3,6. A hatásábrák felhasználása

A hatásábrák alapján az igénybevételek, illetve alakváltozások meghatározása már elvégezhető. Például a merevítőtartó nyomatéka az alábbiak szerint határozható meg.

Különböző állandónak feltételezett  $(H_g + H_1)(H_g + H_2) \dots (H_g + H_n)$  kábelerőhöz meghatározva a vizsgált  $z$  keresztmetszet nyomatékai hatás-ábráját az  $M_1, M_2 \dots M_n$  mértékadó nyomatékokat, és az azokat okozó  $h_1, h_2 \dots h_n$  mértékadó terhelte szakasz hosszakat kaphatjuk. Megjegyezzük, hogy az  $M_1, M_2 \dots M_n$  mértékadó nyomatékokban a hőmérsékleti fiktív



16. ábra

teher hatása és az állandó teher hatásának azon része is bennfoglaltatik, amit a kábel és a merevítőtartó együttesen visel (3., 4).

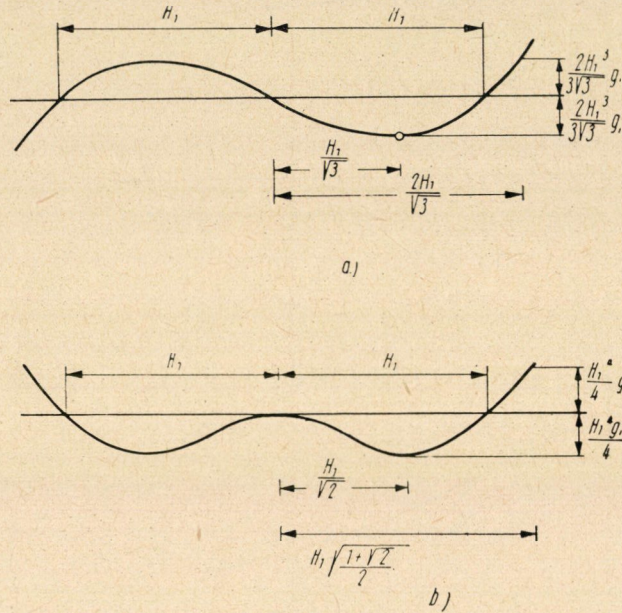
Ezen  $h_1 \dots h_n$  terhelte szakasz hossz a megfelelő  $H_1 \dots H_n$  kábelerőhöz tartozó  $\eta_{H1} \dots \eta_{Hn}$  hatására leterhelése alapján  $H_1^*, H_2^* \dots H_n^*$  kábelerő-növekményt eredményez, beleértve az állandó tehernövekményt és a hőmérsékletváltozás hatását is. E pontok összekötése adja a  $H^*$  görbét  $(H_w + H)$  függvényében.

A 16a. ábrán ábrázoltuk a  $(H_w + H_1) \dots (H_w + H_n)$  függvényeképpen a fenti  $H_1^*, H_2^* \dots H_n^*$  kábelerő-növekményt, vagyis abban az esetben, amikor



a figyelembe vett terhelés a feltételezett kábelerő esetén nyomaték szempontjából mértékadó. Ezek közül az a  $H_i$  kábelerő érvényes, amelynél  $H_i = H_i^*$ . Ezt a  $H_i$  kábelerőt megkapjuk, ha a  $H = H^*$  összefüggést ábrázoló  $45^\circ$ -os egyenest metszésbe hozzuk a felrakott  $H^*$  kábelerő-függvénnyel.

A 16b. ábrán  $(H_w + H)$  függvényében az  $M_1, M_2, \dots, M_n$  nyomaték felrakása után ábrázoltuk a mértékadó nyomatékokat. A tényleges  $H_i$  kábelerőhöz tartozó  $M_i$  nyomaték adja a kérdéses keresztmetszetben keletkező mértékadó nyomatékokot.



17. ábra

A hatásábra alapján való számolások esetén különböző felvett  $(H_w + H)$  értékek alapján meghatározva a hatásábrát, a közbenső szakaszok értékét lineárisan interpolálták. Ha  $H_1 \dots H_n$  értékeit elég sűrűn vették fel, ez az eljárás a gyakorlati számítás szempontjából elég pontos, de ahol a kábelerő %-os változása nagyobb, sok pont meghatározására van szükség. Ez azonban — különösen ha a merevítőtartó tehetetlenségi nyomatékának változását is figyelembe vesszük —, már lényeges többletmunkát jelent.

A fentiek alapján célszerű a hatásokat másodfokú parabola segítségével interpolálni.

Az összefüggés azonban nem másodfokú. Tételezzük fel, hogy az eltérés harmadfokú (17a. ábra), ez esetben a hiba, mint egyszerűen belátható

$$\Delta = g_1(H - H_1)(H + H_1)(H - 0) = g_1H^3 - g_1H_1^2H, \quad (\text{a})$$

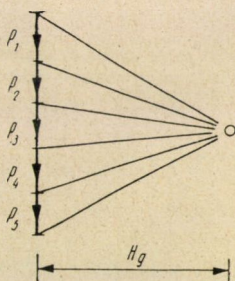
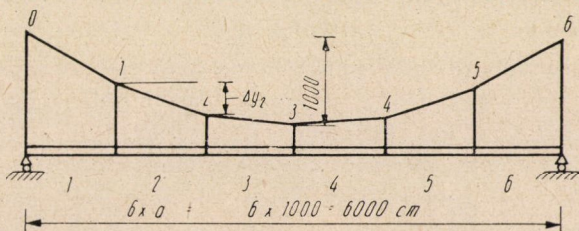


hol  $g_1$  állandó. A szélső érték helye

$$0 = \frac{d\Delta}{dH} = 3g_1 H^2 - g_1 H_1^2, \quad \text{amiből } H = \pm \frac{H_1}{\sqrt{3}}$$

és a maximális hiba itt, vagyis a  $-H_1 + H_1$  közötti szakaszon  $H$  értékének (a)-ba való helyettesítése után

$$\Delta = -\frac{2H_1^3}{3\sqrt{3}}g_1.$$



18. ábra

Ugyanekkora hiba keletkezik a

$$H = \frac{2H_1}{\sqrt{3}} \sim 1,15 H_1 \tag{b}$$

kábelerőnél is.

Ha negyedfokúnak tételezzük fel a hibát (17b.), úgy a hiba

$$\Delta = g_2(H - H_1)(H + H_1)(H - 0)^2 = g_2 H^4 - g_2 H_1^2 H^2.$$

Hasonlóképpen meghatározva (a  $H = \frac{H_1}{\sqrt{2}}$  helyen) a maximális eltérést

$$\Delta = \frac{H_1^4}{4} g_2.$$

Ugyanakkora a hiba

$$H = H_1 \left| \frac{1 + \sqrt{2}}{2} \right| \sim 1,1 H$$

kábelerőnél.

Mivel  $\frac{1}{1,15} = 0,87$  és  $\frac{1}{1,1} = 0,91$  elég közel van egymáshoz, így a hibára mind harmadfokú, mind negyedfokú parabola jellegű összefüggést tételezve fel, a belső és külső pontokon közel egyforma a hiba, ha a  $H'$  érvényességi szakaszának közepén és az érvényességi szakasz 0,9-ében kívánjuk meg azt, hogy az interpoláló görbe helyes legyen.

Ezek előrebocsátása után, ha a számításba jöhető kábelerő szakasza  $H_{\max}$  és  $H_{\min}$  közt van, úgy érdemes

$$H_k = \frac{H_{\max} + H_{\min}}{2}$$

kábelerő középértékre, valamint a

$$H_1 = H_k - 0,9 \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2},$$

illetve

$$H_2 = H_k + 0,9 \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2},$$

kábelerőre meghatározni a hatásábrákat.

Megjegyezzük, hogy mivel  $H_i$  erő bizonyos mértékig függ a feltételezett  $(H_w + H)$  kábelerőtől, a kábelerő meghatározása fokozatos közelítéssel történik, vagyis a kábelerő ismeretében egy javított  $H_i$  kábelerőből kiindulva határozzuk meg  $H$  értékét.

#### 4.0. Példa

Példának azt a lánchidat választjuk, amit ECERVÁRY: Függőhidak általános elméletének alapjai matrix számítás felhasználásával c. tanulmányában vizsgált (18. ábra).

Adatok:

Nyílás  $l = 6000$  cm

függesztőrudak távolsága  $a = \frac{l}{n} = \frac{6000}{6} = 1000$  cm

Merevítőtartó tehetetlenségi nyomatéka:  $I = 475000$  cm<sup>4</sup>

Rugalmassági tényező (kábel és tartó):  $E = 2100$  t/cm<sup>2</sup>

A lánca legnagyobb belógása:  $f = 1000$  cm

A lánca keresztmetszete  $F_c = 104$  cm<sup>2</sup>

Csomóponti önsúly  $P = 20^t$

Hasznos teher: 1. és 2. csomópont terhelése:  $28,4^t$

3 csomópont terhelése:  $14,1^t$



A számításban ugyanazokat az elhanyagolásokat tesszük, mint az eredeti példában, vagyis a bevezetésben említett 2—9 alatti feltevést.

Az I. és II. táblázatban az önsúly és hasznos teher hatására a kéttámaszú tartón keletkező nyíróerőt és hajlítónyomatékot határozzuk meg.

Az önsúly hatására a hajlítónyomaték közepén (I. táblázat)

$$M = 90^t \cdot a = 90 \cdot 1000 \text{ cm.}$$

S így a kábelerő

$$H_g = \frac{M}{f} = \frac{90^t \cdot 1000 \text{ cm}}{1000 \text{ cm}} = 90^t.$$

$H = 62,37^t$  kábelerőnövekmény mellett végezzük el a számítást. (A  $H = 60^t$ -hoz tartozó kábelerő hatására letérhelése  $H = 62,4^t$  kábelerőnövekményt adott.)

I. táblázat

Csomópont	Mező száma	$P_i$ (tonnában)	$\sum_1^{k-1} P_i$	$V_{pk} =$ $= \sum_1^n \frac{P_i}{2} \dots \sum_1^{k-1} P_i$	$M_{pk}$ $= a \sum_1^{i-1} V_k$	$H \frac{\Delta y_k}{a}$ $= \frac{62,37}{90} V_{pk}$
0		0				
1	1	20	0	50		34,65
2	2	20	20	30	50a	20,79
3	3	20	40	10	80a	6,93
4	4	20	60	-10	90a	-6,93
5	5	20	80	-30	80a	-20,79
6	6	0	100	-50	50a	-34,65

A 18. ábrából

$$\frac{\Delta y_k}{a_k} = \frac{P_k}{H_g}$$

Így

$$H \frac{\Delta y_k}{a_k} = \frac{H}{H_g} P_k.$$

Az I. táblázatban a

$$\frac{H}{H_g} V_k = \frac{62,37}{90} V_k$$

mennyiségeket is meghatároztuk.

II. táblázat

Csomópont	Mező száma	$Q_i$	$\sum_1^{k-1} Q_i$	$Q_i (n-i)$	$V_{Qk} = \sum_1^n \frac{1}{2} Q_i (n-i) - \sum_1^k Q_i$	$M_{Qk} = a \sum_1^{k-1} V_i$	$V_{Qk-H} = \frac{\Delta y_k}{a}$	$V_{Qk-H} \frac{\Delta y_k}{a} = 0,97451$
0		0		0		0		
1	1	28,2	0	14,1	49,35	49,35 a	+ 14,70	+ 15,085
2	2	28,2	28,2	112,8	21,15	70,5 a	+ 0,36	+ 0,369
3	3	14,1	56,4	42,3	-7,05	63,45 a	-13,98	-14,346
4	4	0	70,5		-21,15	42,3 a	-14,22	-14,592
5	5	0	70,5		-21,15	21,15 a	- 0,36	- 0,369
6	6	0	70,5		-21,15	0	+ 13,50	-13,853

Továbbá

$$\frac{H_g + H}{EI} a^2 = 0,15275$$

és

$$\left(1 - \frac{H_g + H}{EI} \frac{a^2}{6}\right) = 0,97451,$$

végül

$$\frac{\frac{H_g + H}{EI} a^2}{1 - \frac{H_g + H}{EI} \frac{a^2}{6}} = 0,15675.$$

A nyíróerő vagyis  $S'(x)$  és  $U'(x)$  segédfüggvény számítása a (28) képletcsoport segítségével történik, de az itt nagyon egyszerűsödik

$$V_k \left(1 - \frac{(H_g + H)}{EI} \frac{a^2}{6}\right) - \frac{H_g + H}{EI} a^2 \sum_1^{k-1} V_j (k-j) + (H_g + H) x_0 = R_k - H \frac{\Delta y_k}{a}.$$

$S(x)$  számítása: A jobb oldal zérus

$$V_1 = 1,$$

így

$$(H_g + H) x_0 = - \left(1 - \frac{H_g + H}{EI} \frac{a^2}{6}\right) = - 0,97451$$

és általában

$$V_k = \frac{\frac{H_g + H}{EI} a^2}{1 - \frac{H_g + H}{EI} \frac{a^2}{6}} \sum_1^{k-1} V_j (k-j) - \frac{(H_g + H) x_0}{1 - \frac{H_g + H}{EI} \frac{a^2}{6}} = 0,15675 \sum_1^{k-1} V_j (k-j) + 1.$$

III. táblázat

Csomópont	Mező száma	$V_{sk} = S'(x_k)$	$\frac{1}{a} M_{sk}^* = \sum_1^k V_{sj} =$ $= \frac{1}{a} S(x_k)$	$\sum_1^{k-1} V_j (k-j)$	$15,675 \sum_1^{k-1} V_j (k-j)$
0	1	1,0	0		
1	2	1,1568	1,0		
2	3	1,4948	2,1568	1,0	0,15675
3	4	2,0672	3,6517	3,1568	0,49481
4	5	2,9636	5,7187	6,8083	1,06718
5	6	4,3245	8,6823	12,5271	1,96358
6			13,0069	21,2094	3,32451

A III. táblázatban határoztuk meg  $S'(x)$  és  $S(x)$  értékeit.  $U(x)$  meghatározása : A jobb olda<sup>1</sup>

$$R_k - H \frac{\Delta y^k}{a} \text{ és } V_1 = 0.$$

Az első egyenlethől

$$\frac{(H_g + H) \alpha_0}{1 - \frac{H_g}{E I} \frac{H}{a^2}} = 15,085.$$

IV. táblázat

Csomópont	Mező száma	$U_{uk} = U'(x_k)$	$\frac{1}{a} M_{uk} = \sum_1^k V_{ij} =$ $= \frac{1}{a} U(x_k)$	$\sum_1^{k-1} V_j (k-j)$	$15,675 \sum_1^{k-1} V_j (k-j)$
0	1	0	0	0	0
1	2	-14,715	0	0	0
2	3	-31,737	-14,715	0	0
3	4	-39,264	-46,452	-14,715	- 2,3066
4	5	-38,477	-85,716	-61,167	- 9,5877
5	6	-43,722	-124,193	-146,883	-23,024
6			-167,915	-271,076	-42,491



Az  $U(x)$  és  $U'(x)$  mennyiségeket a IV. táblázatban határoztuk meg. Ha  $x = 0$  helyen a nyomaték zérus, úgy  $A = 0$ ,

$$B = \frac{U(l)}{S(l)} = \frac{167,915}{13,007} = 12,9098.$$

A hajlítónyomatékokat az V. táblázatban határoztuk meg.

A lehajlás

$$\eta_k = \frac{M_k(\text{rug}) - M_k}{H_g + H}$$

V. táblázat

Csomópont	$M_k - 12,9098 \cdot U(x_k)$ (tm)
0	0
1	129,10
2	131,28
3	6,89
4	-118,88
5	-121,07
6	0

VI. táblázat

Csomópont	$M(\text{rug})$ (tm)	$M(\text{rug}) - M_k$ (tm)	$\eta_k$ (cm)
0	0	0	0
1	147,0	17,90	11,75
2	150,6	19,32	12,68
3	108,0	3,91	2,51
4	-131,4	-12,52	-8,22
5	-135,0	-13,93	-9,15
6	0	0	0

A rugalmas elméleti  $M(\text{rug})$  nyomatékot a  $H_g$   $l_i$  kábelero mellett határoztuk meg.

$$M_k(\text{rug}) = M - H_y = M_Q - \frac{H}{H_g} M_P.$$

A lehajlást a VI. táblázatban határoztuk meg.

## IRODALOM

1. MÜLLER—BRESLAU: Theorie der durch einen Balken versteiften Kette, 1881.
2. MELAN: Theorie der eisernen Bogenbrücken und der Hängebrücken, 1888.
3. JOHNSON—BRYAN—TURNEAURE: The Theory and Practice of Modern Framed Structures, 1929.
4. STEINMAN: A generalized Deflection Theory for Suspension Bridges, 1934.
5. GODARD: Recherches sur calcul de la résistance des tabliers des ponts suspendus, 1894.
6. RODE: New Deflection Theory, 1930.
7. SELBERG: Design of Suspension Bridges, 1946.
8. PEERY: An Influence-Line Analysis for Suspension Bridges, 1954.
9. SZIDAROVSKY: A Practical Solution for Stiffened Suspension Bridges of Variable Inertia Moment and its Application to Influence-Line Analysis, 1958. Acta Technica Tom, XIX. Fasc. 3—4.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Függőhidak méretezésénél a függőleges irányú lehajlás hatását az ún. lehajlási elmélet figyelembe veszi, azonban ez az elmélet és az azon alapuló gyakorlati számítás igen sok egyszerűsítő feltevést tesz. Ennek következtében a számítási eredmény pontossága nem éri el a statikai számításokban megkívánt pontosságot.

A tanulmány a fenti lehajlási elméletet tovább fejleszti, az eddig elhanyagolt hatásokat figyelembe veszi, majd a nyert elméleti eredmények megoldására gyakorlati számítási eljárást mutat be, a tervezés céljára az eredményeket „hatásábra eljárásra” alkalmazza, és végül egy egyszerű számpéldát közöl.

# SZERKESZTŐ ELJÁRÁS A KÜLPONTOS IGÉNYBEVÉTEL FESZÜLTSGKÉPLETÉBEN ELŐFORDULÓ ÁLLANDÓK MEGHATÁROZÁSÁRA\*

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

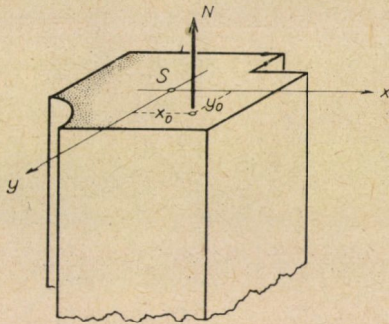
AZ MTA ÉPÍTÉS- ÉS KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1958. október 9-én]

## I. Bevezetés

Az egyenestengelyű rudak külpontos igénybevétele példájában az  $N$  derék-erő okozta  $\sigma$  derékfeszültségek az ún. háromtagú képlettel igen egyszerűen számíthatók, ha a rúdkeresztmetszet főtengelyei és a főinercianyomatékok adottak. Ha ezek az adatok nem ismeretesek, a feszültségek számítására az egyszerű háromtagú képlet helyett az általánosabb alakban felírt

$$\sigma = N \left( \frac{1}{F} + \frac{\xi_0 x}{I_y} + \frac{\eta_0 y}{I_x} \right) \quad (1)$$



I. ábra. A külpontos derék-erő helyzete

háromtagú képletet lehet használni [1]. E képletben  $x$  és  $y$  a keresztmetszet két *tetszőleges*, de egymásra merőleges súlyponti tengelyét, illetve e két tengely alkotta koordináta-rendszerben mért derékszögű koordinátákat jelenti (I. ábra),

\* Az Acta Technica XXVI. kötet 3–4. sz. füzetében angol nyelven megjelent cikk kivonata.



a  $\xi_0$  és  $\eta_0$  mennyiségek jelentése pedig :

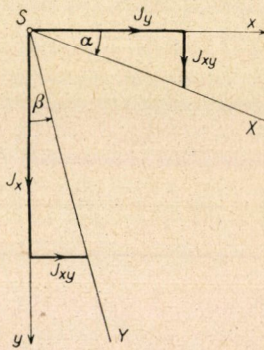
$$\begin{aligned}\xi_0 &= I_y \frac{x_0 I_x - y_0 I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2}, \\ \eta_0 &= I_x \frac{y_0 I_y - x_0 I_{xy}}{I_x I_y - I_{xy}^2}.\end{aligned}\quad (2)$$

A többi betűjel magyarázata :  $x_0$  és  $y_0$  a derékerő  $N_0$  támadáspontjának koordinátái,  $F$  a keresztmetszeti idom területe,  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_{xy}$  pedig a keresztmetszeti idom másodrendű nyomatékai az  $x$ ,  $y$  tengelykeresztre.

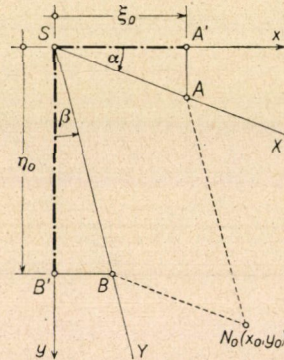
A  $\xi_0$  és  $\eta_0$  értékek (2) jelű képletei nehezen megjegyezhetők. Helyettük az alábbiak a  $\xi_0$ ,  $\eta_0$  értékek meghatározására egyszerű szerkesztő eljárást ismertetnek.

## 2. A $\xi_0$ és $\eta_0$ értékek megszerkesztése

Először is meghatározzuk a vizsgált keresztmetszet síkjában az  $x$ ,  $y$  tengelyekhez, mint semlegestengelyekhez tartozó hajlítási síkok  $Y$ ,  $X$  nyom-



2. ábra. Az  $X$  és  $Y$  nyomvonalak



3. ábra. A  $\xi_0$  és  $\eta_0$  értékek

vonalait. A szerkesztés menete a 2. ábrából olvasható le. Ezután az  $N$  derékerő  $N_0$  támadáspontjából a nyomvonalakkal párhuzamosakat húzunk (3. ábra), s ezek mindegyikét a másik nyomvonallal átmetszjük. Végül megállapítjuk az így kapott  $A$  és  $B$  metszéspontok  $x$ , illetve  $y$  koordinátáját, vagyis az  $SA'$  és  $SB'$  távolságok előjeles mérőhosszait. Ezek a mérőhosszak — állítjuk — a keresett  $\xi_0$ ,  $\eta_0$  értékekkel azonosak :

$$\xi_0 = SA', \quad \eta_0 = SB'. \quad (3)$$



A fenti állítás bizonyítására az 1. és 3. ábra alapján felírható

$$x_0 = SA \cos a + SB \sin \beta,$$

$$y_0 = SA \sin a + SB \cos \beta$$

vetületi összefüggéseket használhatjuk fel. E két egyenletből

$$SA = \frac{1}{\cos a} \cdot \frac{x_0 - y_0 \operatorname{tg} \beta}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} \beta},$$

$$SB = \frac{1}{\cos \beta} \cdot \frac{y_0 - x_0 \operatorname{tg} a}{1 - \operatorname{tg} a \operatorname{tg} \beta}.$$

Innét az 1. és 3. ábrából leolvasható

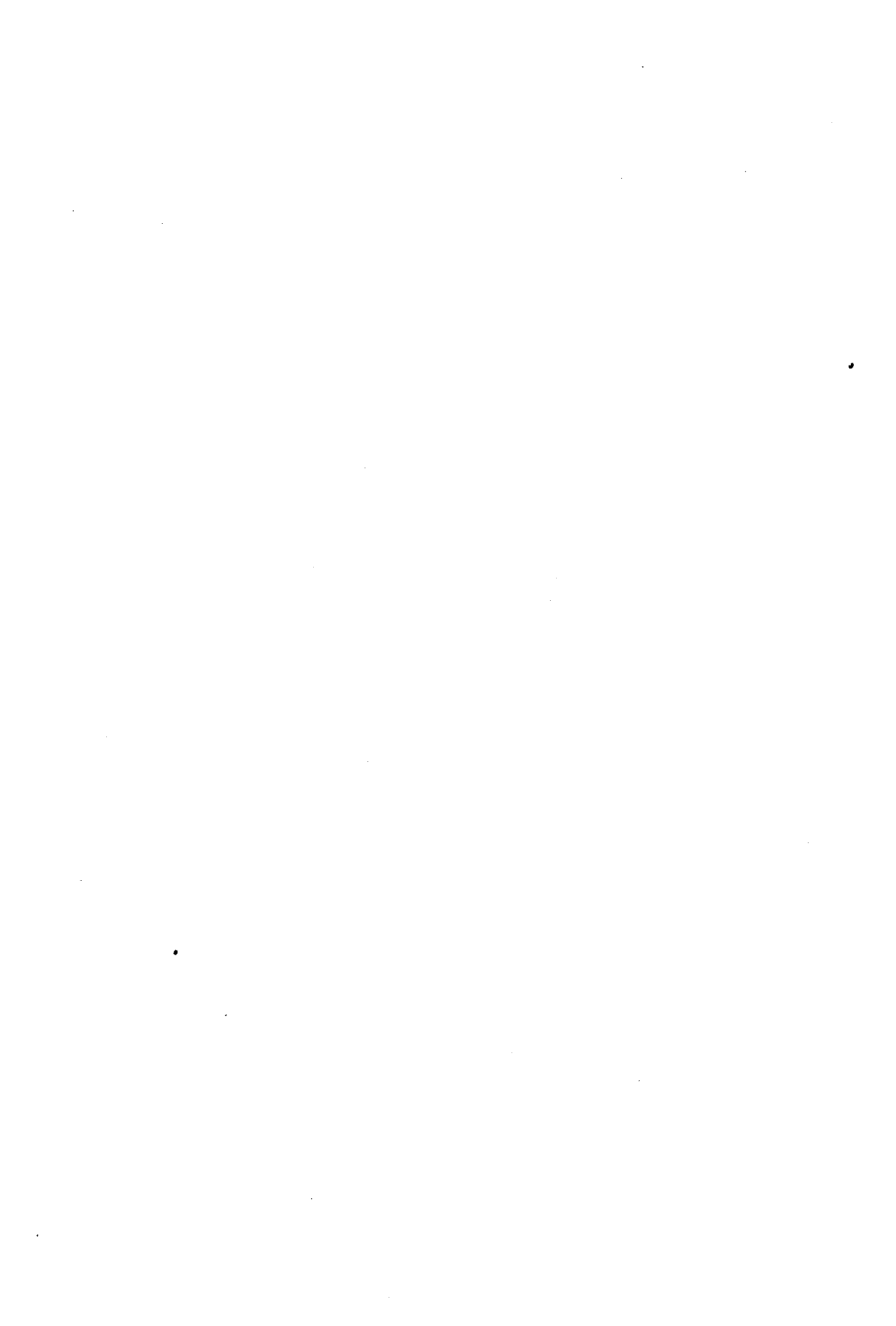
$$\operatorname{tg} a = \frac{I_{xy}}{I_y}, \quad \operatorname{tg} \beta = \frac{I_{xy}}{I_x},$$

$$SA' = SA \cos a, \quad SB' = SB \cos \beta$$

összefüggések figyelembevételével a (3) állítás következik.

#### IRODALOM

1. STÜSSI, F.: Vorlesungen über Baustatik (1946), p. 189. Verlag Birkhäuser, Basel.
2. MARIN, J.: Strength of Materials (1948), p. 159. Macmillan Company, New York.



# A SZOKOLYAHUTAI VASGYÁRTÁS TÖRTÉNETE\*

VASTAGH GÁBOR  
A KÉMIAI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1959. jan. 11-én]

A Pest megyei Szokolya községhez tartozó Szokolyahuta (ma Királyrét) a név, a lakosságban élő elmosódott emlékezés és számos félreismerhetetlen maradvány tanúsága szerint a múltban vaskohászat színhelye volt. Úgy látszik, hogy a vasmű egyes részei 1900-ban még álltak [1]; sőt egyes romjai 1920-ban is megvoltak [2].

A közelebbi és a távolabbi környéken számos régi kis vasbánya és vasérc-kutatás található és a geológiai kutatás is foglalkozott a szokolyahutai vasérc-előfordulással. PAPP [3] említi az igen elszórt limonitfészkeket és közli, hogy ezekre 1851-ben adományozás történt. A különböző, hozzáférhető vagy beomlott bányákat a lehetőséghez képest alaposan megkutatták LIFFA és VIGH [4], SZUROVY [5] és legújabban LENGYEL [6]. Diploma-dolgozat formájában VARGA GYULA foglalkozott Szokolyahuta vidéke geológiájával. Az említett, az 1850-es évekből származó adományozások történetét feldolgozta SCHLEICHER [7]. A különböző kutatók a ma már csak kis részben járható bányák megnevezését és helyét nem adják meg teljesen egységesen, ami azok azonosítását néha megnehezíti. A második világháború alatt némelyik bányában újra folytattak még kismérvű vasérctermelést. De LENGYEL (i. h.) kutatásai tisztázták az érctelepek keletkezésének a körülményeit: azok az andezitek kilúgzásából és belső medencékben való leülepedéssel jöttek létre. Így, sajnos, semmi remény nincsen arra, hogy a mai termelési viszonyoknak megfelelő méretű vasérc-telep esetleg még fellelhető lenne. Megjegyezzük, hogy bár geológusaink nagyszámú régi bányát regisztráltak, az egykorú térképek és okiratokból kivehető, hogy volt néhány olyan helyen is bánya, amelynek a közelebbi fekvése ma ismeretlen.

Úgyszólván teljesen feledésbe merült ellenben, hogy a régi bányákat mikor művelték és hogy a vaskohó mikor működött. E tekintetben az idézett irodalmi helyeken semmi utalást sem lehet találni. Ennek a kérdésnek a tanulmányozása már csak ipartörténeti szempontból is érdekesnek látszott. Az nyilvánvaló volt, hogy a kohó a XVIII. században működött. De az ezen kor-

\* Az MTA Műszaki Tudományok Osztálya 1958. évi pályázatán jutalmat nyert mű.



szakot is tárgyaló ipartörténeti művek [8] nem említik Szokolyahutát. Pedig, amint a továbbiakban látni fogjuk, az itten folyó vasgyártás a maga idejében nem volt jelentéktelen üzem.

Szokolya a XVIII. században bányászati közigazgatás szempontjából a selmeci kerülethez tartozott és így az ottani bányabírószági levéltárban található is a szokolyai bányászatra és kohászatra vonatkozó adatok [9]. Viszonylag gazdagnak mondható anyagot találtam azonban a Magyar Országos Levéltárban. Szokolya ugyanis, mint az (ipoly)pásztói uradalom része, a XVIII. században az Esterházy hercegi család birtoka volt; és mivel a vasmű családi vállalkozás volt és nem is volt bérbe adva, a család levéltári anyagában a sorsa úgyszólván végig követhető.

Az itteni vasbányászatról az első adat Bécsben az udvari kamara által 1700. április 23-án kiállított engedély [10], amely KOLLBACHER Lambert Mátyást (későbbi okiratok szerint „Legationsrath zu Ofen”) felhatalmazza arany-, ezüst- vagy más ércekre kutatni és bányákat nyitni. Az említett okirat szerint KOLLBACHER már addig is jelentős kutatási munkát végzett volna. Úgy látszik, hogy egy vagy két évvel a fenti időpont előtt másokkal társulva kezdett hozzá a kutatáshoz. Meglepő az okiratnak az a kitétele, hogy a (selmeci) bányahatóság nem működvén a nevezett területen („alldieweillen der Zeit kein Bergericht in Niederhungern sich . . . befindet”), az adományozott bányatelkek kijelölését és az egész bányajogi eljárást a budai Cameral Administration végezné. Kötelezi az okirat az engedélyest az urbura beszolgáltatására, és itt ismét fontos megállapítás, hogy a közelben sehol alkalmas vasolvasztó nem működött („weillen ihro Mayst. zum Aufschmelz selbiger Ohrten die Gelegenheit nicht haben”), tehát az urburát készpénzzel kell megváltania. Kötelezi továbbá a földesúr járandóságának megadására.

Ezután hosszú ideig semmi hír nincsen KOLLBACHER szokolyai vállalkozásáról. Majdnem bizonyosnak vehető, hogy ezen idő alatt a nem távoli Nagybörzsönyben foglalkozott az ottani nemesérc-előfordulások bányászatával. A [10] alatt idézett adományozás valóban feljogosítja őt arany- és ezüst-ércek kutatására; egy másik okirat ([13]) pedig ezt kimondottan Nagybörzsönyre is állítja. A [13] alatti második idézet szerint az ezüst bányászatában az elmúlt nehéz időkben veszteségei voltak.

Végre 1720 novemberében jelenti az udvari kamarának STAMPFER báró [11], hogy KOLLBACHER Szokolyán másfél öl vastag telért talált „aus Lauter ganzen schön blauen Ärtzten . . . welehe sich in gleicher ganze zu . . . ziehen”, amelyet sok kibúváásával Nógrád irányában fél óra járására lehet követni. Ez az ércvagyon („mächtige Kluff”) több évszázadra alapja lehet a bányászkodásnak. STAMPFER báró azután dagályosan fejtegeti a bányászat hasznát az ország felvirágzására, de azért megvizsgálja a kérdést, vajon az itt létesítendő vasmű nem fogja-e az örökös tartományok vasiparát veszélyeztetni. Végül is azonban arra a következtetésre jut, hogy nem, mivel itt inkább öntött

árak gyártására kellene berendezkedni, azonkívül pedig vasbádóg gyártására, ami kitűnően alkalmas tető fedésére (ónozott bádóg: „Eysen—Verzünte Plöch”). Szükséges lenne azonban, hogy KOLLBACHER a telért felmérje, meggyőződjék róla, hogy a 9 láb vastagságú és annyi helyen kibúvó telér a kibúvási helyeken is ilyen vastag-e és tartalmazza-e a szép kék érceket. Ha a kutatás eredményes, kohót és hámort is kell építeni, amiből idővel nagy vasmű keletkezhetik, ami a töröktől csak nemrégén visszafoglalt területeket elláthatná vasáruval.

Mai ismereteinkkel, még ha figyelembe vesszük is a régebbi kisebb termelési méreteket, sajátságosnak tűnhetik fel, hogy az itteni vasérc-előfordulást olyan jelentékenynek tartották. A bányák, legalábbis a tartósabban műveltek, két hely körül csoportosulnak: Szokolyahuta közvetlen környékén és a Vashányahegy—Ólhegy oldalában. De SCHLEICHER említi [7], hogy a két hely között fekvő Szélesmezőn is történt még 1851-ben adományozás egy állítólag 2 öl vastag telérre. Ennek a lelőhelynek a pontos fekvése ugyan ma ismeretlen, de könnyen lehet, hogy KOLLBACHER is ismerte. (Egy 1771-ben készült térképen [19] a Szélesmezőn fel van tüntetve „Veres föld bánya”.) Ma nyilvánvaló, hogy az egész itteni előfordulás nem telérszerű, de az ércelőfordulásoknak ez a látszólag egy vonalban való fekvése kelthette KOLLBACHER-ben a hitet, hogy egy összefüggő, nagy telérrel van dolga. A Szokolyahuta környékén található érc túlnyomórészt limonit, csak alárendelten található hematit. Az okiratokban többször is kiváló minőségűnek vélt „kék érc” talán Glaskopf lehetett; vagy talán a hematit kék megjelenési formája. Ma ilyen ércet nem lehet ott találni.

Egy 1724-ből Hieronymo de PRATY „Eysenbergwerckhs Verwalter zu Lansiz”-től származó szakvélemény [12] szerint KOLLBACHER a vasművet harminc egynéhány éve kezeli, a bánya kitűnő állapotban van, egyre jobb érceket találnak éspedig acéllal keverve (?). Mintegy 6000 mázsa van kibányászva, aminek a feldolgozásához most már csak egy tótkemence (Bauer-schmelz) lenne szükséges. Az érceket az (olvashatatlan szó) lakatosmesterekkel kipróbáltatták, a belőle készült abroncsvas, sínvas, patkóvas jobb mint a stájerországi. Az erdőkből fa bőven nyerhető.

De úgy látszik nem sok történt most sem, mert KOLLBACHER egy keltezés nélküli, nyilván 1725-ben a Helytartótanácsához intézett beadványában [13] panaszolja, hogy bár STAMPFER báró igen kedvező véleményt adott a vállalkozásáról, ő a Kamarától a végleges engedélyt máig sem kapta meg. Pedig ő azóta állandóan dolgoztatott, megegyezett a földesúrral, sok költséget befektetett és a naponta dúsabban található ércekből legalább 6000 mázsát kibányászott. Az ezekből készített „Huef Eysen, Huef Nägel, Gätter und Ring Eysen” jobbnak bizonyult a stájerországi vasnál és mázsánként 8—10 forintjával adható el. Így ideje, hogy olvastót és kis hámort építsen, de ez számára anyagilag nagy megterhelés lenne, ezért két évre kölcsönt kér a

Helytartótanáctól, amiért nemcsak a teljes vagyonával, hanem a gazdag vashányájával is jótállana; felajánlja a tanácsnak, hogy néhány bányarésszel vállaljon érdekeltséget. A huzavonát a stájerországi vaskohók tulajdonosai befolyásának tulajdonítja.

1727-ben a Besztercebányáról való Adam Gottlieb WERNER vizsgálta meg KOLLBACHER megbízásából a „Schmölz Hütten, Holz, Wasser und Eysenstein Grueben”-t [14]. Nagyon dicséri, csodálja, hogy eddig nem használták ki, hiszen már más nem is hiányzik, mint hogy 1000 forint költséggel olvasztót, árkokat és vízduzzasztót létesítsenek. Ő hozott is már magával egy kőművesmestert, abban a hitben, hogy a kohó építését hamarosan megkezdheti.

De ez úgy látszik még mindig nem történt meg. Legalábbis KOLLBACHER, aki magát most mint „Gewester Kaysl. Cameral Administrations Rath zu Ofen, dieses Eysen Wercks Fundator” írja alá, egy legkorábban 1731-ben kelt írásban [15], amelyből megtudjuk, hogy bár különben (1728-ban és 1731-ben) a selmeci bányabíróság is megerősítette az adományozást, még mindig csak a kohó és a hámor tervezett felállításáról beszél. Hivatkozik WERNER „Berg Inspector und Schmölzmeister” jó véleményére. Nagy mennyiségű ércet bányászott már ki és abból újabb próbaolvasztást is végzett. („Und nochmahlen grosse Proben von dreyssig und mehr Zehnten Ärtz machen Zass.”) A címzés nélküli, de nyilván az uradalomnak szóló írásban kéri egy kuxa (részjegy) átvételét, hogy annak árából az említett üzemeket felépíthesse. Mihelyt a kohó felépül, több családot kíván letelepíteni, akik „Kötten, Trächt, Haken, Pfann, Sicheln, Sengsen, Dankhlzeug und dergleich Arbeithen”-t készítenének.

Egy 1733 márciusában kelt, aláírás nélküli, de nyilvánvalóan bányászakértőtől származó vélemény [16] szerint a szokolyai vashányát ismét bejárta és részletes leírását közli a pontos fekvése szerint ma már nem azonosítható bányának.

1736-ból fennmaradt egy kimutatás [17], amelyben KOLLBACHER közli a vasmű bányatársulat részeseinek a nevét. Egy-egy kuxa a bányavagyon 1/16-a, és 5 rész különböző világi és egyházi méltóságok birtokában van. A maga számára, mint fundator 4/16-ot tart meg. A fennmaradó 7 részből egy vagy több részt Esterházy Ferenc és József grófok készek átvenni. A hercegnek is felajánlja, legyen bányarészes a társaságban; ha nem akar, a neki járó földesúri résszel elégíti őt ki, kéri a herceg döntését. Utóiratként említi, hogy a kohó építése elhúzódik, de hogy az olvasztás és árusítás ne szenvedjen késedelmet, javasolja, hogy addig is, amíg a hámor felépül, a gróf Esterházy-féle tatai hámorban készeljék ki a vasat.

Utoljára 1736. július 11-én találkozunk KOLLBACHERTŐL származó írással [18]. Panaszolja, hogy bányatársai közül már hárman meghaltak (ezek nyilván még a régebbi, eredeti bányatársulat tagjai voltak), nincsen már barátja vagy olyan társa, aki hajlandó lenne közreműködni a bánya művelésében, ő maga is már hajlott korú, így a vasművet át kívánja adni a hercegnek.



De mivel ő összes vagyonát ebbe fektette bele, s volt társainak is tartozik, kéri, hogy megfelelően kártalaníttassék. Itt is kiemeli, hogy az ottani ércekből olvasztott vas milyen jó minőségű. De most is leszögezi, hogy a kohó és a hámor építése még hátra van. Hogy a próbaolvasztások, „die öffters an unterschiedlichen Ohrten von diese Eysen Ärtz gemachte grosse Proben” hol történtek, azt KOLLBACHER sajnos itt sem nevezi meg, pedig ennek ismerete számunkra igen érdekes lenne.

Részletesen foglalkoztunk KOLLBACHER tevékenységével, részint egyes érdekesebb vonatkozásai miatt, de főleg amiatt, hogy megmutassuk: bár úgy látszik jelentékenyebb mennyiségű vasércet bányászott ki, de tervezett kohóját nem építette fel, sőt talán az építését sem kezdte el. Pedig az kétségtelen, hogy a század elején Szokolyahután már volt valamilyen kohó. Erről azonban határozott adatokat az átnézett jelentékeny levéltári anyag dacára nem sikerült megtudnunk [19].

Hogy mi lett KOLLBACHER sorsa, nem állapítható meg [20]. Sőt a következő, Christoph von METZBERG részéről benyújtott különböző ajánlatok keletkezésének idejét sem tudjuk. Ezeknek ugyanis nincsen dátuma és a Repositoryben az előbbi aktához vannak csatolva; de a velük közvetlenül összefüggő, alább még részletesebben ismertetendő ügydarab keltezése 1746-ból való.

METZBERG az egyébként csak töredékesen olvasható okiratban [21] kétségbe vonja, hogy KOLLBACHER olyan sokat fektetett volna be a bányába, kétségbe vonja, hogy 6000 mázsa ércet bányászott volna ki, amiből 2000 mázsa vasat tudna olvasztani, „ich habe keine armeren Stain am Eisen noch nit gesehen” ... ebből legfeljebb 300 (egy másik beadványa szerint éppenséggel csak 100) mázsát lehetne nyerni. A KOLLBACHER nyitotta bányák már be is omlottak. Ajánlatot tesz, hogy ha az előfordulás egyáltalán hasznosítható, a maga költségén nyit új bányákat és épít kohót stb., ha 15 évre (a másik okirat szerint 12 évre) azt szabadon használhatja; utána majd átadja az uradalomnak.

Különösen érdekes azonban az 1746-ból származó, részletes ajánlata [22] a bányák és a kohó berendezésére és felépítésére, amit WACHTL consiliarius (nyilván azonos a régens Wachtllal) széljegyzeteivel ellátva approbált. Ha nem is lett semmi ebből a tervezett vállalkozásból, érdekesek a technikai részletek.

Eszerint METZBERG kötelezné magát, hogy a saját költségére nagyolvasztót (alta fornax) épít „secundum delinationem” (kár, hogy a rajz a Levéltár anyagában nincsen meg). Az építéshez szükséges tűzálló köveket (lapides ignem supportantes quod potissimum et maximum esset) az uradalom területről fogja beszerezni, nemkülönben a téglákat itt égettetni, a faanyagot itt vásárolni. Épít egy 12×8 öl nagyságú szénpajtát; épít továbbá a munkások számára lakóházakat, amelyben az írnok számára is gondoskodik helyről. Az írnokkal kapcsolatban az uradalom kikötése, hogy az a vasmű összes

tartozását és követelését úgy tartsa nyilván, hogy arról az uradalom bármikor tájékozódhassék. A bánya mellett is épít a munkások és a szerszámok számára épületeket, továbbá ércelőkészítő telepet (tabernam separatoriam separandi aeris causa). Ahol a hajtóerő lehetővé fogja tenni, hámort is létesít (molam unam cum duobus malleis). Az uradalom megjegyzése erre, hogy ez nem igen fog menni, mert nincsen elég víz ... de ám próbálja meg. Fát és faszenet esetleg szomszéd uradalmakban is vásárolhat. Óvadékként letesz 1000 Dukátot; és a nagyolvasztó üzembehelyezésétől kezdve fizet az uradalomnak évente 200 F-ot. Azt a kérését, hogy kisebb büntető ügyekben a bányamunkások ne az uradalomnak legyenek alávetve, elutasítják; nemkülönben azt, hogy METZBERG maga árusíthasson számukra húst, kenyeret, bort, sört és pálinkát, mert ez az uradalom joga. Ha 12 év lejárt, az egész berendezés kártérítés nélkül az uradalom tulajdonába megy át. Azt a kérését, hogy külföldről a vas behozatala Magyarországra meggátoltassék „ubi Hungaria eadem abundaret”, az uradalom a lehetőségekhez képest támogatni fogja. És végül jön egy utólagos klauzula: mivel a szokolyai erdők a Dunán való faértékesítés szempontjából kedvezően fekszenek, a szénégetéshez stb. szükséges fát a vállalkozónak az uradalom diósjenői birtokán kell, éspedig tövön megvásárolnia; a kivágás és a szállítás költségei is őt terhelik. A Börzsöny-hegységet közelebből ismerők tudni fogják, mennyire súlyosbító kikötés volt ez, az akkori szállítási viszonyok mellett.

Talán éppen ezek a különben is eléggé egyoldalúan az uradalom érdekeit szem előtt tartó feltételek voltak az okai annak, hogy METZBERG vállalkozásából sem lett semmi.

Időközben azonban az uradalom is érdeklődni kezdett az értékesnek látszó előfordulás iránt. Így SIMONYI András inspector már 1734-ben felveti a szokolyai birtok revíziójával kapcsolatban vasmű létesítésének a gondolatát [23].

Ezután hosszú ideig semmi sem történik a vasmű létesítése körül, legalábbis az okiratokban több évtizedig nem történik róla említés. Újra felmerül a vasmű létesítésének a gondolata, amidőn értesülünk, hogy CZIBULKA József „faber ferrarius” próbálkozása vasmű létesítésére sikertelen volt. Erről egy 1769—1770-ben folyt bányajogi per iratai tudósítanak [24]. Ez a per egybefonódik a hercegi uradalomnak a váci püspökséggel folytatott birtokhatár miatti perével és eléggé áttekinthetetlen: csak az egybekötött birtokjogi ügyiratok egy vastag kötetet tesznek ki. De érdekes az a megjegyzés ezekhez, hogy a hercegi uradalom és a váci püspökség között a Szokolya és a püspökség nógrádi birtoka közötti terület miatt már évekkel ezelőtt érc miatt súlyos differencia merült fel. Az iratok és térképek szerint főleg a Vasbánya-hegy környékéről volt szó.

CZIBULKA 1759-ben a selmeci bányabíróságtól engedélyt kapott Szokolyán vasérekutatásra. Úgy látszik azonban, hogy már egy-két évvel előbb

kutatott ott, hámort is akart építeni, de az uradalom az engedély kiadását megtagadta. Ezért a királynőhöz fordult, hogy az szerezzon a bányabíróság döntésének érvényt. Ennek folyományaképpen gróf PÁLFFY Miklós ország-bíró két ízben is (egyszer a Helytartótanács nevében) az uradalomhoz fordult. Az uradalom hosszas fejtegetéssel elutasítja CZIBULKA kérését, tagadja keresetének jogosságát.

A következő évben pedig (1770. május 4.) Bogschanban (Németbogsán) keltezve Adam RÖSCH „Hammerschaffer und erster Beamter” és Joh. Franz MATSEL „Bergwercks Chyrurgus” mint „der Metallurgie, vorderlich Eisen-Schmöltz und Hammer Manipulation wohlkündige Subjecta” fordulnak a herceghez egy kérvényben [25], amely szerint tudott dolog, hogy két évvel ezelőtt Nógrádverőce határában, a Migazzi hercegi uradalom területén (vulgo : váci püspökségi terület) két olvasztókemencét („Blau—Öfen”) és egy vas-hámort építettek, hogy az itt található vasércet kiolvasszák és tovább feldolgozzák, sőt hogy az engedélyesnek („Schmölz oder Hohen Ofen Meister Franz DIMASCHEK”) a hercegi uradalom szenítő fa beszerzését is biztosította. A kérelmezők most, arra hivatkozván, hogy Verőcétől nem messze Szokolyán is kitűnő vasérc található, engedélyt kértek, hogy a hercegi uradalom területén, Szokolya határában két Blau-Feuert és egy hámort létesíthessenek, amely évi 7500 öl (így!) vasércet dolgozna fel. Összefoglalva a dolgot azonban az, hogy CZIBULKA idézett perirataiban is szó van egy „a se erectae molae cudendi ferri . . . cum et bona episcopatii Vaciensis” nem Szokolyán, hanem Nógrád megyei területen. Más helyen is mondja, hogy a váci püspök engedélyével az ő területén hámort létesített volt. Végleg érthetetlen aztán, hogy később CZIBULKA (pontos dátum sajnos hiányzik) önmagáról mondja, hogy mint volt bogsáni „Blausteiner und frischer Hammer Schmidt Meister”-nek Migazzi püspök engedélyt adott egy „Eysen Hammer Berg Werck” létesítésére, „welches in totu verfertiget ist,” de különböző bogsáni mesterek (köztük az említett DIMASCHEK is) őt abból kismizmizték.

Az ügy tehát eléggé zavarosnak látszik. Sajnos, sem a váci püspöki levéltárban, sem annak a Pest megyei levéltárban deponált gazdasági levéltári részében nem sikerült további adatokat találnom. Annyi azonban bizonyosnak látszik, hogy valahol Nógrádverőce területén (feltehetően a Morgó völgyben, de már Szokolya falu alatt) ha csak rövid ideig is, de működött vaskohó és hámor. Az egyik iratból az is kiderül, hogy ennek valahol Kismaros határában volt a vasércbányája, de ez az ércek kifogyása miatt megszűnt, az uradalom pedig nem engedte meg a bányászkodást a saját területén.

Innentől kezdve azonban nem szűnt meg az uradalom érdeklődése vasmű építése iránt. 1774-ben és 1775-ben megvizsgáltatta a vasbányákat egy körmöci bányatiszttal (Huttmann), Jacobus HUBERrel, aki néhány vájárt is hozott magával. HUBER két terjedelmes jelentésben számol erről be [26]. A legtöbb bánya a ma is ismert területen feküdt (Döbröczi-patak, Vasbánya-



hegy, Szállások, de volt a Bajdázó-völgyben is). HUBER véleménye általában bizakodó, de mint szakemberé, behatóbb feltárások hiányában óvatos. Ugyancsak 1774-ből származik a selmeci bányabíróság az uradalom részére kiállított, eredetiben fennmaradt engedélyokirata a bányaművelésre [27].

Nyilván evvel az érdeklődéssel függ össze az is, hogy az uradalom 1774-ben elkészítette a [19] alatt másodikként idézett térképet. A készítője Leopold SCOPP (Schopp), akinek a nevével még lesz dolgunk [28]. A térképen a régi időkben fennmaradt rudimentumok és az új vasműhöz tervezett létesítmények egyaránt fel vannak tüntetve. Így látható a szén-patakvölgyi víztároló (lásd 1. ábra), a Zlebi-patakvölgyi víztároló, egy régi zúzó (1. ábra B), és persze a régi kohó is (C).

A térképbe idegen kézzel, magyarul bejegyezték az egyes műtárgyak rendeltetését: „Hámor”, „Olvasztó”. A víztárolóból a kohóba a „régí Canalis”, a hámorokhoz az „újj Canalis” vezet (egyébként ennek jelölése németül is „neuer Graben”). Érdekes egy ceruzával eszközölt bejegyzés, amely a szén-patakvölgyi tavat és a bajdázó-völgyi tavat elválasztó hegyhátba van rajzolva (1. ábra A). Úgy tetszik, mint hogyha a felső duzzasztóból az erővizet a hegy alatt kihajtott táróban szándékoztak volna átvezetni. A tervezett (és később megépített) két hámor azonban nem a SCOPP által kitűzött helyen épült fel. A vízvezető tárna sem került kivitelezésre.

Végre 1776. február 5-én értesülünk határozott formában arról, hogy a „Malleatura föll építésében ... fölöttebb sok dolghaik” lesznek [29]. De amint egy későbbi iratban olvassuk, már 1775-ben elkezdtek volt a bányák művelését és a régiek által elkezdett tárnák rendbehozatalát, valamint új aknák mélyítését. A bányák művelését 1776-ban és 1777-ben is folytatták [30]. A bánya és a kohó építésének ügyeit egy ideig HÓBOR János tisztartó intézte és az ő leveleiből, jelentéseiből értesülünk az építés részleteiről. HÓBOR hivatali székhelye Vámosmikola volt és innen járt át hetenként egyszer Szokolyára, ami még a mai közlekedési viszonyok mellett is kissé körülményes út. Írja is egyik levelében [31], hogy a „Bánya körül ... egészségét, ruháját, kocsiját és lovait vesztegeti”. HÓBOR, amint látni fogjuk, a kohó ügyében nagyobb utazásokat is tett. A vasmű létesítésében nagy lelkesedéssel járt el. („Plenipotentiarius Regens Uramnak, nékem érdemem fölötte való kegyes Patronusomnak ... nálam hagyott promemoriáját naponta szemem előtt tartom”. — „A Vass vermet, ahol az ércz ásattatik ... Istennek légyen Hála, naponként magunkat jobb reménsséggel táplálhattuk”. — „Én az Szokolai Vass Bánya körül minden nap és minden felül dolgoztatok .. az Ur Istennek Szent áldása bennünket biztat” stb.).

Előbb a kohót építették fel, a hámor valamivel későbbre maradt. 1776. december 27-én írja [32] „már az olvasztó Kemencze lassanként beis sindöleztetik”. De az építkezés elég lassan mehetett. 1777 áprilisában megtekintette a besztercei és a póniki (Pojník, Zólyom megye) vaskohókat [33] és elhozta

onnan szakértőként OKUTA János olvasztómestert és bemutatta Szokolyán a már említett SCOPP úrnak, aki „eőtet ... observálta és nagyon approbálta az eő értelmességét”. Kéri a regenst, járja ki a Bányakamaránál, hogy OKUTA állását változtathassa; az igéri, hogy „az Olvasztó Kemenczéket circiter két Holnapok alatt minden szükséges requisitumaival együtt föl állítja ... úgy hogy az harmadik holnap felé az operatiok ... el kezdődhetnek”.

OKUTA szakértelme még sem lehetett valami kiváló, mert HÓBOR ugyanazon év májusában azt írja [34], hogy „a mostani Schmölz Meister Clementis THOMAS ... valaki az eő munkálkodását megtekinti, kiki azt állítja, hogy ezen Schmöltzer az eő mesterségét ... fundamentaliter érti ... hanem az épületnek tetejét vagyis födelét egy helyen ki köll szaggattatnom, mert azt mondja, hogy Blau Tüzzel semmit sem tehet, hanem szükséges az Hochofen és aki ezen Blau Feuerhez való Kemenczének építését javasolta, az csupán csak héjába való költségeket okozni ... akarta. ...de lehet mostanában ... kevés költséggel helyre hoztattatnom”.

Végre egy 1778. január 5-én kelt jelentésből [35] arról értesülünk, hogy a kohó — úgy látszik csak rövid idő óta — üzemben van. De közben még mindig sok nehézség mutatkozott. Így szeptember 27-én jelenti [36] Anton ALESCH számvívő, hogy elrepedt a kemence medencéje, de különben is vízhiány volt, így a kemencében „medve” keletkezett. Új medencét vettek a váci kőfaragótól, amit be is helyeztek, de egyelőre víz hiánya miatt még nem indulhattak meg. Az alsó tó ugyan több napos esőtől eléggé megtelt, de a gát nem tartja a vizet, az máris kifolyt belőle. A felső tó falának építését még csak elkezdték. Megtudjuk ebből az írásból, hogy nemrégén a régens személyesen járt itt, a munkák ellenőrzése végett. Ebből is látni, milyen nagy súlyt helyezett és reményeket fűzött az uradalom az itteni vasműhöz. Érthető hát az a türelmetlenség, hogy HÓBORnak még 1778. október 28-án kelt jelentésére is azt jegyzi meg a régens [37]: „Hogy olvasztásnak szép folyamattya vagyon, igen örülök, de jobban örülnék, ha már egyszer eladni való vasunk is volna”. Sőt még az 1779. február 11-i jelentésre is az a régens észrevétele [38], „... vaiha már egyszer ... vasat nyuttani, hámorozni és abbul hasznót is mutatni lehetne”. Majd 1779 márciusában jelenti HÓBOR [39], hogy az itt készült nyersvasból elvisz Besztercebányára, hogy az ottani hámorban történő készelés után annak minőségét megállapíttassa.

A kohó építése közben persze a hámor építését is elkezdték. Az említett, szeptember 27-én kelt jelentésből [36] erről határozottan értesülünk és a régensnek HÓBOR jelentéséhez írt megjegyzéséből megtudjuk, hogy HÓBOR „az Hámorhoz kívántató két fujót ... az Besztercei Cameránál tsináltatja ... pedigh mondottam ... ott igen későre készülnek el... de télen is akármi kémény üdőkben is a fujókat elhozattassa, hogy az Hámor már egyszer minden fogyatkozás nélkül lehessen”. Megtudjuk azt is, hogy a hámor berendezésénél szakértőként egy, az alsó-magyarországi bányavárosokból való Kunst-

meister működött közre. De a selmeci bányabíróshoz benyújtott „Extractus” csak az 1780. évben végzett munkák között sorolja fel a hámorhoz vezető erővízcsatorna létesítését [40].

Közben, amint láttuk, a bányák megnyitása, sőt már az érc termelése is folyt. Már 1776 februárjában írja HÓBOR [28], hogy az említett, szakértőként felkért HUBER „nálunk eörökösen kíván meghmaradni”. Ugyanekkor már fuvarozták is a fejtett ércet az épülő kohóhoz. OKUTA olvasztómester is nagyon dicsérte „Vass Bányának tartósságát és a vas érczet”.

Időközben azonban HÓBOR tisztartót, 1779 vége felé valamilyen visszaélés miatt elbocsátották (bár ő erősen hangsúlyozza ártatlanságát). A helyét ADAMY Márton tisztartó, a későbbi inspector foglalja el. ADAMY jelentései nélkülözik HÓBOR írásainak a közvetlenségét, de a kohó ügyeivel nagyobb szakszerűséggel foglalkoznak.

Vége 1780. február 23., 24. és 25-én megtörtént a kohó és a hámor rendszeres üzembe vétele, amiről két jegyzőkönyv is tanúskodik [41]. Az egyiket GEDEON János táblabíró (Tabular Assessor), a másikat ADAMY és még két uradalmi alkalmazott írta alá. Szakértőként Franciscus Süß Schmöltz Meister működött. A szemle különböző hiányosságokat állapított meg, amelyekkel a kohó műszaki ismertetésénél még foglalkozunk. Most csak azt emeljük ki, hogy főleg GEDEON az erővíz elégtelenségét és a vízduzzasztók gyenge kivitelét erősen hangsúlyozta. Az bizonyos, hogy az üzem eleinte a megindulásakor nehézségekkel küzdött, aminek jele pl. a GEDEON említette két medve is.

Nem lehet pontosan keltezni, de nyilvánvalóan a vasmű építése közben készült el Johann BEDECZY (Rédeczy?) szakértői jelentése is [42]. Ő eléggé kedvezőtlen képet ad: a gátak gyengék és a vizet áteresztik, víz különben is kevés van, az ércelőfordulás bizonytalan és gyenge; szerinte a vasmű még a felhasználta fa árát sem fogja behozni.

ADAMY 1780. április 14-én terjesztette „alázatos representationalis Punctumait” a plenipotentiaris régens elé [43]. Ezek nagy része a kohó és a hámor berendezésével és üzemével foglalkozik. A jegyzőkönyvek és Punctumok alapján már megkísérelhetjük, hogy egyes műszaki adatokat megállapítsunk.

Így azt már tudjuk, hogy nagyolvasztó és nem ún. tótkemence épült. Az olvasztó minden valószínűség szerint fedett épületben állt. Mindenesetre kéménye volt és nem nyílt torkú volt [44]. A kohóban két vízikerek volt, ezek egyike a fujtatókat, a másik a zúzókat hajtotta. A kohó tűzálló beléséhez való köveket a váci kőfejtőből hozatták [36] és [45]. És bár a jegyzőkönyvek szerint ezek legfeljebb egy tüzet bírának ki, áprilisban ADAMY mégis azt javasolja már, hogy a „Kemenczéhez kívántató 12 darabb Köveket ... jó volna ... készen tartani. Azon Kövek Váczy Keővágóban pr 26 F szerződnek meg ... (és ha itt lennének) az Kemencének folamattyában ... akadályokat ... azonnal helyre lehetne hozni”. A kohó adag-felhordója úgy látszik nagyon meredek volt és amellet mégsem vezetett elég magasra. Javasolják, hogy



több vasbányát nyissanak meg, mert „az olvasztásnak hamarosabb folyamattjára ... igen szerencsésen esne, ha egy alkalmatossággal két vagy három féle Ércz olvasztatna, mert egy Bánya beli Ércz mellett ... több munka és Consumptio találkozik”. Az érceket úgy látszik nem pörkölték, legalább is erre vonatkozóan semmi adatot sem lehet találni. Megítélésünk szerint az itteni ércek összetétele a pörkölést nem is tette szükségessé. (A található vasérccek összetételéről a geológiai irodalom tájékoztat, főleg [6] alatt.)

De ADAMY szerint „Olvasztó Mester különösen panaszkodik a Hutmánosra ... hogy Bányában lévő Vass Ércznek művelésében igen kevés gondja legyen a Hevérekre, mivel sok haszontalan követ és agyagot az Érczcel keverve ásnak, mellyeknek olvasztására aztán csak szén vesztegetődik ... Bányákban talált Érczet fortélyosan el is rejtett, hogy szükségnek idejében elő lehessen venni ... eő a Vass bányákban sehol sem Huttmanoskodván a Vass Kőhöz annyira nem ért, mintsem ezüst Bányáknak Cultivatiojához”. Javasolja tehát, hogy vegye át az olvasztómester a bányák üzemvezetését is, „eő tudja, minémü Ércz az olvasztásra alkalmatosabb”.

A kohóban dolgozó „legényeknek se éjjelek se napok a nyugodalomra elégséges nem lehet, mert valamint az Kemence megindulván sem éjjelt, sem nappalt sem pedig Ünnepet nem pihen, úgy a körülötte lévő legényeknek is vagy a Kemenczében vagy Vassban valami kár ne essen szüntelen való vigyázással nem nyukhatnak ... oly nagy Tüz mellett nagy Hőség-től és Világtól mind szemekben fogyatkozván, mint pedig Testekben forrózást el annyira szenvednek, hogy Szemeik Könyvben lábbadozván leginkább az Vassnak ki hordássával egészben lankadva maradnak”.

A racionálisabb üzemvezetés végett szükséges, hogy „mind az olvasztó productumát, mint pedig a Hámorban készitendő Vasakat (46) igazán meg lehessen mázsálni” egy 12 mázsa teherbírású mázsa beszerzése, mert „ha csak aszerint fog az Anser mázsáltatni, mint mostan praeter esse ... igen káros léssen, mert ha eddigh való productuma az olvasztónak valóságos statusa szerint újra meg mázsáltatván, sokkal több Vas fog az Anzerekben találtatni, az Olvasztó Mester ugyan ... declarálja, hogy ... mázsa számra önteni fogh ... így szintén mindet azonnal mázsáltatni ... lehet”.

A hámorban az említett jegyzőkönyvek szerint négy vizikerék volt; ezekből kettő a fúvókat hajtotta, kettő pedig a verő és a nyújtó kalapácműveket. A helyszín tanulmányozására, valamint a [73] alatt idézett térkép mellett levő rajz szerint is bizonyos, hogy a víz esését a hámor két lépcsőben, két-két egymás után beiktatott vizikerékkel használta ki. A hámor vasból készülő berendezését, úm. „csapok, ülők, formák és Vas Ládák, Kalapácsok ... kerék agy csapok és egyébbb nagyobb formák ... mostani olvasztásnak folyamattjával meg öntetvén ...” maga a kohó készítette el. Teljesen azonban a hámor 1780 áprilisában még nem készült volt el, mert olvassuk, „kívánatos, hogy csak egy Hámor is járhasson, mely a másik az az Strek Hámorra kévántató Vasokat készithesse...”.

Körülbelül ezen időponttól kezdve azután mind a kohó, mind a hámor is rendszeres üzemben volt. A nyersvas évi termelése így alakult [47]:

1778.	611 mázsa	17	font
1779.	9	„	43
1780.	1815	„	—
1781.	1727	„	54 1/2
1782.	1118	„	42
Összesen	5281 mázsa	56	1/2 font

aminek az értéke, egy mázsát 2 forintjával számítva, 10 563 forint 13 denár. Az utolsó évről (amikor különben a nyersvas ára 2 F 50 den-ral is előfordul) azt is tudjuk, hogy a hámor 139 mázsa 44 3/4 font kovácsolt vasat is termelt (ennek az értéke mázsánként 7 Ft). A nyersvas készülésekor 25% „Abgang frifocale”-val számoltak.

1783-ban kereken 1840 mázsa ércből 12 hétig tartó kampányban 589 mázsa nyersvasat termeltek. Kovácsolt vas termeléséről ismét nincsen szó. A vasmű kimutatott vesztesége erre az évre 2036 forint 45 59/64 denár [48].

Érthetetlen, hogy egy másik, ugyancsak 1783-ra vonatkozó eredmény-mérleg, amit szintén GLUDOVICS igazgató, azonkívül HOHENRAIN pénztáros írtak alá (az előzőt GLUDOVICS és NAGY György mázsamester) erre az évre 319 mázsa és 72 font nyersvas és 114 mázsa és 13 font kovácsolt vas készítését mutatja ki. Ez a mérleg pedig erre az évre 329 Ft 14 4/12 denár nyereséget mutat ki [49].

A szabatos számvitel úgy látszik nem tartozott a kohó tisztségének az erényei közé, amire más példát is látunk.

Fennmaradt az 1784-ből származó, részletes eredmény-mérleg, amelyben azonban sajátos módon a kovácsolt vastermelésről nem esik szó [50]. Fennmaradt továbbá egy, feltételezhetően szintén ezen (vagy talán valamivel későbbi) évekből származó, keltezés és aláírás nélküli, annak idején „Deductio ferri in Malleatura Szokol” címen iktatott kimondott önköltségszámítás [51]. Az érdekes iratokat terjedelmük miatt sajnos nem tudjuk e helyen közölni.

Az uradalom igen nagyra volt az itt termelt vas minőségével. Hiszen 1781-ben azt írja a régens [52]: „Tsak igaz dolog az, hogy a Szokolai Vass a Steyriai Vasshoz hasonló következőképpen sokkal felül haladgya a Tóth Vassat”. Bár vannak persze ellenkező vélemények is. Így, a gombaszögi kohó Curatora kedvezőtlenül nyilatkozott a szokolyai vasgyártásról [53].

A kohó termelése, ha elég volt a hajtóerőül szolgáló víz, egyik adat szerint 24 óránként 15 bécsi mázsa volt [51]. De úgy látszik, ezt csak kivételesen érthette el, mert más adatok szerint a termelése napi 9–10 mázsa, vagy 18 nap alatt 189 mázsa [31, 43]. Egy-egy egész kampány termelési eredményét nézve napi 7–8.7 mázsa adódik [48, 50]. Egy mázsa ércből a kihozatal 19–25–33 font nyersvas volt. A faszénfogyasztás egy mázsa vasra volt 6.7–7.4–16 pozsonyi mérő. Egyik érdekes adat szerint egy adagban („Giechta”) van 332 font érc, 11 1/4 mérő faszén és 90 font adalék („Fluss Stein”; nyilván a közelben fejthető lajtamészkö); az adalék megolvasztása szerintük a szénfogyasztás 25%-a. A kampány adatai alapján naponta átlag 13 adagot olvasztottak.

Megkíséreltük a termelési adatokat összehasonlítani az egykorú híres gombaszögi vaskohóéval, amelyre vonatkozó adatokat találtunk, de erre sajnos nem volt mód. Utóbbi helyen ugyanis a felhasznált érc mennyiségét mérőben, a faszénfogyasztást pedig fuvarban adják meg.

A vasmű eléggé változatos cikkeket termelt. Mint a régi vaskohók általában, a nyersvason kívül ez is közvetlenül készített öntött vastárgyakat. Egy 1782-ből származó összeállítás [54] szerint 1780 és 1781-ben csak a saját uradalmaknak összesen 291 mázsa 72 font-nyi öntött vasárut szállított, úm. „öntött csüvöket, vasbéli Instrumentumokat (a hegyesdi hámorba), kazányokat”. (Nem öntött vasáru a más rovat alatt kimutatott „nagyobb fajta sündöl szögek”.) Láttuk fentebb, hogy a hámor számára is mennyiféle öntött vastárgyat készített. Kovács üllő, kalapács, kerék, tengely, tengely-csap, mozsár, „Abriss szerint készülő csüvek és tornyos Vass kálhák”, szerszámok, hamuzsír főző „kazányok” voltak a készülő öntött vastárgyak között. Sőt, midőn a herceg az eszterházi kastély számára ajtó és ablaktáblát kívánt öntött vasból, az olvasztómester ezek elkészítésére is vállalkozott volna, de részletesen kifejti, hogy célszerűbb lenne, ha azokat „a Hámorban koholt vékony Pléhek-ből készítenék”. Az öntés faminták segítségével alakított agyagformákba történt; ezek kiszáradása nyáron is két hétig tartott. (Egy felsorolás viszont, beszél készleten levő „önteményekről formában”, ezek a „kazányok” és mozsarak, és „önteményekről homokban”, ezek úgy látszik kisebb tárgyak voltak (55).

A hámorban, amint éppen láttuk, készült bádog; ezenkívül „leginkább Rót—Ráff (kerékabroncs), Spassing, Gatter (rúd) ... Streck (tehát általában nyújtott) és Or (? , nyilván kikovácsolt, szer) kikoholt vas”, valamint patkók. Az épülő kéméndi hídra „valami 60 circiter vagy 70 mázsa vasat kiadott formák szerint ... koholtattak”. (A koholás szó az egykori iratokban mindig a nyersvasnak kovácsolt vassá való kezelését jelenti.) Azt láttuk, hogy a kovácsolt vasat a nyersvasból 25% veszteséggel készítették [47, 57]. A készült nyersvas egy részét egyébként a hercegi uradalom hegyesdi és véglesi hámorába szállították kezelés végett.

A termelt árut részben a hercegi uradalom más uradalmaiba szállították (többször visszatérő panasz, hogy ezen áruk jóváírása nem történt meg), részben úgy látszik maguk értékesítették nagyvásárok alkalmával; de helyben is történt eladás. Csak panaszoznak, hogy bár az árujuk jobb minőségű, mint a felvidéki, annak olcsóbb ára miatt azzal nehezen tud konkurrálni. „Vajha ... bizonyos Kalmár akadhatna, aki az egész hámor kész vasat el hordaná ...” „Vajha oly áros zsidó akadhatna, aki Contractus szerént ... innend a Kazányokat emoveálná”. A kalkulációval nehézségeik voltak. Így az említett kéméndi híd alkatrészeiről kérde ADAMY inspector: „... még nem tudom micsoda Árát a Tettes Ur Méltóztatik szabni az Mázsanak.”

A vas árát különféleképpen adják meg, az nemcsak a cikk, hanem az egyes időszakok szerint is változott. A „Deductio ferri ...” [51] és a mérleg [68] szerint egy mázsa kovácsolt vas ára 7 Ft volt. Öntött vasáru (vízvezetéki cső, szerszámok, hamuzsír-főző üstök) mázsáját 10 Ft-tal számolták el [55], de van adat 7 Ft-os árra is [68]. A nyersvas (lúdvás) 2 Ft-ot ért (i. h.). Ugyan-



akkor azonban a felvidéki eredetű kovácsolt vas ára a váci vásáron 6—7 Ft volt [52]. Sőt néha még olcsóbb árat is látunk: „Pesten, Budán, Váczon s itt körülöttünk ezen (ti. a szokolyai) vassnak híre vagyon ugyan, de vevő reája nem érkezik, mivel a Fölföldi ... Hámorokból maguk a Hámorosok minémü vass vasárosok teszik öt forintért mázsáját leszállítják és ezekkel mi vasunknak noha amannál jobb és tartósabb distractioja éppen nem lehet” [56].

A kohó üzemvezetését, ideértve az öntvények készítését is, az olvasztómester végezte. A conventioján kívül (ami 1780-ban és 1784-ben is 12 Ft volt havonta, bár kérte a felemelését 16 Ft-ra), járt neki minden mázsa elkészített öntvény után 1 Ft 25 den. ADAMY tisztartó azt javasolta, hogy a 12 Ft conventio helyett, amit megkapott, akár dolgozott a kohó, akár szünetelt vízhiány miatt, ezentúl kapja a fizetését mázsa szerint „... ilyen formán a Massának is további folyamattýára és jobb deductiora iparkodni fogh a Smelez Majster”.

A kohóban (a hámor nélkül) 5 vagy 6 legény dolgozott: két első legény (primus sodalis, Schmöltz Geselle), két felhordó talicskázó, trakács, egy salaklehúzó (truszkár), valamint egy zúzókezelő (budár, Buchart) [57]. Ezek heti bére 2 Ft és 1 Ft 50 den. között volt; ADAMY javasolta a felemelését.

A hámorról már kevesebbet tudunk. Sőt voltaképpen még abban sem vagyunk egészen bizonyosak, hogy valóban két, különálló hámor működött-e. Legalábbis a vasmű megindulásakor, 1780 februárjában felvett, már idézett jegyzőkönyv határozottan egy hámorról beszél, mondván, hogy a hámor a négy vizikerekével szer és nyújtó hámor volt. Ezzel szemben ADAMY tisztartó szintén már idézett jelentése szerint 1780 áprilisában kívánatos, hogy „csak egy ... Hámor is járhasson ..., a másik Hámorra ... vasakat készíthesse”, ... „... úgy az egyik Hámor is ... Szent István nap után két hétre dolgozhat”. Ugyanez év júniusában pedig olvassuk, hogy „... néhány napok múlva az egyik Hámor megindul”. Az alább még tárgyalandó térképeken is két, a víz esését tehát két lépcsőben kihasználható hámor van feltüntetve; HOHENRAIN térképén ugyan csak egy, de az ábrázolt terület-kivágás olyan, hogy nincsen kizárva a második hámor létezése sem. A még alább tárgyalandó mérleg [68] viszont ismét „Két friss faerre épült Hámor”-t említ, ami azonban persze kétféleképpen is érthető. (A latin nyelvű példánya inkább egy hámor mellett szól: „Structura malleaturalis in duplicis fris fáer cum omnibus necessariis”). Hogy valóban felépült-e a két különálló hámor, mint ahogyan az kétségkívül eleinte tervbe volt véve, a megbízhatónak látszó VÁLY térképe alapján sem mondható teljes határozottsággal ki: az egyik vízvezető csatornát ugyanis „alveus ... fodiendus est”-nek jelöli, vagyis mint kiásandó árokról beszél róla. (VÁLY térképének a Legendája, utólagos javítások miatt is, helyenként csak nehezen olvasható.) Mivel a második hámornak VÁLY térképe szerint megállapítható helyén időnként szántóföldi művelés folyt, határozott

véleményt mondani nem lehet. A terep alakulása vízierő kihasználását valószínűvé teszi, de hogy valóban hámor volt-e, nem állapítható meg.

A hámor munkaviszonyairól is csak annyit tudunk, amennyit a „Deductio ferri . . .” elárul. A hámor vezetését úgy látszik egy kovácsmester látta el, akinek a havi konvenciója 8 Ft volt. A hámorban dolgozókat egy helyen lakatosnak is mondják. 1783-ban ezek hárman voltak [49].

A teljesség kedvéért röviden össze kell foglalnunk azt is, amit a szokolyahutai régi bányászatról tudunk. Ez amúgy sem sok, a hutmannok részletes jelentései az üzem megindulása után elmaradnak, vagy pedig nem maradtak fenn [58].

Az 1771-ben felvett térkép [19] a már említett szélesmezői bánya (és a régi kohó helyének „Huta Bánya” megjelölésén kívül (talán a Várhegy és az üdülő helyén levő régi bányák?) főleg a Vasbányahegy déli lejtőjét és a Hegypói patak mellékét jelöli meg, mint „Vass Bánya pataka”, „Vass Bánya partja”, sőt érdekes módon (hiszen ma itt bánya nem ismeretes) a patak jobb oldalára is bejelöl „Locus fodinae ferri”-t. Feltételezhetően ezek nagyjából KOLLBACHER régi feltárásainak a maradványai, bár nem lehet teljesen kizárni azt sem, hogy talán valamiféle vasbányászat azóta is folyt itt.

Bizonyosra vehető, hogy a kohó működésének ideje alatt a legtartósabban, talán az egész időszak alatt művelt bánya a St. Nicolai—Stollen volt. Ez azonosítható a mai geológiai irodalomban lukácsszállási bányának nevezett két tárnával. (Ennek kismérvű művelése folyt a második világháború alatt.) Az említett SCOPP-féle térképbe utólag eszközölt bejegyzés ugyanis ebbe a völgybe írta: „Nicolai—St.” Mivel pedig az egyik hutmanni jelentés a Nicolai—Stollent az Elisabeth—Thalban levőnek mondja, nyilván a patak itteni részének mai neve (Zlebi-patak) eltorzítása az Elisabethnek [59]. Ezen bányának aránylag jelentékenyebb hányója is tartósabb művelése mellett szól. Hogy a ma ismert, egymás felett levő két tárnabejárat melyike volt a régi bányáé, ma már nem állapítható meg. A kohó megindulásakor, az említett jegyzőkönyv tanúsága szerint 8 hevér dolgozott a St. Nicolai—Stollenben.

De műveltek bányát a kohó működésének ideje alatt másfelé is; így pl. bizonyos, hogy a Vasbányahegyen is. Mind a már idézett Scopp-féle, a régi állapotokra visszanyúló, mind a még tárgyalandó Vály-féle térkép a Szokolyahutáról ide vezető utat „via mineralis”-nak jelöli és fel is tüntet ott „régii tárnát”. Sőt a Vály-féle térkép legendája szerint a vasbányahegyi bányában jelen időben „minera ferri . . . foditur” — viszont az ugyanott feltüntetett bányászlakásokat elhagyatottaknak („etiam iam deserta”) mondja. (Aminek persze az is lehetett az oka, hogy a bányászok közben beköltöztek lakni Szokolyára.) Egyébként a Hohenrain-féle térkép alsó szélén is kivehető a Vasbányahegynek megfelelő helyen egy tárnabejárat jelzése. De hogy a ma itt látható sok nyom közül melyik volt a bányájuk, az ma már nem állapítható meg. Az mindenesetre bizonyos, hogy sokfelé nyitottak bányákat [60].

Az uradalom különben kérte, hogy a szokolyai vasgyár után fizetendő urbura megszüntetessék ; úgy látszik, ez a kérése sikerrel is járt. Legalább is a bányabíróság referense 1783-ban, hivatkozva a [30] alatt említett mérleg kedvezőtlen eredményére, „még ha a kiadások felét gondosabb vizsgálattal el kellene is esetleg vetni”, indokoltnak tartja, hogy ez a most induló új vasmű felmentessék az urbura fizetése alól. Egy valamivel későbbi bányahatósági ügyirat valóban úgy értelmezhető, hogy a vasmű az urbura-fizetés alól (ideiglenesen?) felmentést kapott [61].

A vasmű állandó, szakmunkásain kívül dolgoztak itt szokolyai jobbágyok is, elsősorban az érc, a faszén és a kész vas fuvarozásán. Napszámosok is előfordulnak a kimutatásokban. A kohó és a vízierőművek építésében is számottevő jobbágymunka volt. ADAMY kiemeli : „jól szolgáló emberek a Szokolaiak — kiváltkép az Hámor és Hutta körül” [62], bár viszont egy más alkalommal, gát építésével kapcsolatban megállapította, hogy „egy Hevérnek munkája több . . . mintsem két három Robotos munkásé”.

A vasmű felső irányítását és ellenőrzését, amint láthattuk, sok minden egyéb munkája mellett a tiszttartó végezte. De már 1778-ban olvassuk Hóbornál, hogy van Szokolyán egy számtartó, aki azonban henyél. Erre a régens észrevétele, hogy „. . . nem mint számtartó, hanem mint Contractor vagyon az Vass Bányához rendölve . . . kötelessége vagyon az vasérczeknek és abból származó Vassnak a számát a Protocollumában igazán beírni . . . és pénzt adjustálni . . . és el fog végeztetni, hogy egy perceptor és Mázsa mester rendöltessék”. Később ADAMY javasolja a Punctumaiban, hogy egy Curator Malleaturae Szokolensis titlust viselő tisztviselő állíttassék be, „ki az robotosokról, Mineráról, Vassról, eöll Fákról és más egyéb Materialékról számot adna”. Végül aztán látjuk, hogy egy 1782 októberében kelt levelet GLUDOVICS András, EGYED Ferenc és NAGY György, mint Szokola Hutta vasmű „tiszttséghe” írják alá [63]. Az olvasztómester nem tartozott a tiszttséghez, őróla harmadik személyben beszélnek [64]. NAGY Györgyöt már ismerjük, mint a fentebb említett jegyzőkönyv egyik aláíróját, ahol is „ponderum magister”-ként szerepel ; Gludovicssal ezentúl gyakran találkozhatunk, mint „Director des Eisenwerckes”-el. Mai szemmel nézve azért talán túlzottnak tűnik fel a három főnyi adminisztratív személyzet ennél a vasműnél.

Az új település nevét eleinte Szent Miklós völgyének, Valle St. Nicolai mondották [30, 36, 68]. Csak későbbi iratokban olvassuk a Fodina Szokolense, Sokolaer Hütte és a nekünk olyan kedves Szokolai Hutta elnevezést. (Utóbbi először [63] alatt.)

A három tisztnek, egyes térképek és különböző iratok szerint Szokolyahután volt három különálló szolgálati lakóháza. Fizetésükről, illetve természetbeni juttatásaikról (búza, rozs, zab, széna, tűzifa, só, bor, hízott disznó) [50, 57, 68] tájékoztatnak [65].

A vasmű tiszttségviselői között nem mindig volt valami jó egyetértés, amint



az különben kis vidéki helyeken nem is olyan ritka jelenség. Így 1783-ban GLUDOVICS igazgató BODENSEER pénztárost „Huntzwut, du Broth umsonst fresser, faulzenr, du Schwengl”-nek nevezte. A perlekedésbe persze beavatkozott a Domina Directorissa és a Domina Perceptorissa is. Az ügynek a pénztáros váratlan halála vetett véget [66]. Máskor meg arról olvasunk, hogy mivel a víz hiánya miatt a vasmű szünetelni kénytelen, a haszontalan tisztviselők orrvadászattal töltik az idejüket! [67].

1782. június 28-án ADAMY vagyonmérleget készített, amelyben a vasművel kapcsolatban felmerült valamennyi kiadást, valamint az ingatlanok, berendezések és a készárúk értékét feltünteti [68]. Az igen érdekes mérleget, amely a tőkészolgálatot is figyelembe veszi, annak kisebb hiányosságai dacára (pl. nyilvánvalóan szükséges kiadások nincsenek minden évben) érdekesnek véljük a Megjegyzések között teljes egészében közölni. Elégtétellel állapítja meg ADAMY, hogy „202405 F. 48 den. álló extractust eluáltam”.

Más szempontok szerint állítottak fel egyesített vagyon- és eredménymérleget 1783-ban GLUDOVICS igazgató és BODENSEER pénztáros [30]. Ez, ha nem is ilyen részletesen, feltünteti az 1775 óta munkabérre, fizetésekre (conventio), anyagbeszerzésre fordított kiadásokat, a jobbágyi szolgáltatásokat, az uradalomnak azt a veszteségét, hogy termelt fáját nem adta el a Dunán szállítva, Pesten, hanem szénné égette; mindez összesen kitesz 194 241 Ft 5 5/24 den. Ezzel szemben a bevétel csak 10 563 Ft 13 denár volt. (Ennyi volt az értéke az első öt év termeléseként feltüntetett nyersvasnak, mázsáját 2 Ft-tal számítva. Sajátságos, hogy a termelt kovácsolt vas értékét nem állították be a mérlegbe.) Ezen, ma idegennek ható módon összeállított mérleg szerint tehát a vasmű erős veszteséggel dolgozott volna. Sőt GLUDOVICS egy ZÖGMEISTER inspectorhoz intézett levelében kifejti, hogy ő a vasmű veszteségét még nagyon is szűken vette fel [68a].

Innentől kezdve azonban a vasműre vonatkozó adatok igen meggyérülnek. Pedig, hogy dolgozott, arról van adat 1785, 1786, 1787 és 1788-ból [69]. De ezekből az adatokból már csak igen keveset tudunk meg. 1787-ben jelenti ADAMY, hogy mennyibe kerülne a vas fuvarozása Kismarosig, illetve onnan a Dunán Budáig. Az 1787-ben készített, Vály-féle térkép is amellet szól, hogy a vasmű még dolgozott.

Időközben ugyanis az uradalom vezetésében nagy változások történtek. Míg régebben, mondhatni patriarchális módon, az összes ügyeket a tiszttartó intézte, tehát pl. az erdők kezelését is, most már megjelenik a Forstmeister (sőt HOHENRAIN leveleiben maitre de forêt). A vasműnek is, először 1782-ben, Directora van. Ezekből a levelekből azonban a vasműről semmit sem tudunk meg, az azokban jelzett részletesebb jelentések nincsenek meg [70], mint ahogy általában is a levéltári anyagban az Acta Dominiorum addig vaskos évi kötegei jelentéktelenné zsugorodnak. Az uradalmak igazgatását jobban centralizálják és a vasműre vonatkozó további jelentések, elszámolások a hercegi

uradalmak kismartoni Zentral-Direktion-jához, tehát számunkra jelenleg hozzáférhetetlen helyre kerülnek [71].

Így sajnos azt sem tudjuk pontosan, hogy a vasmű mikor szüntette be a működését. 1791-ben még szállítanak innen üstöket Kaposvárra és szó van nyersvas szállításáról a véglesi hámorba. De ugyanezen évben már azt olvassuk, hogy a régi szokolyai hámor („antiqua Malleatura Szokolensis”) rönkök fűrészelésével foglalkozik [72]. Úgy értendő-e ez, hogy egyelőre a szorosabb értelemben vett malleatura (hámor) szüntette be a működését és a kohó még működött? Sok jel szól ezen feltevés mellett. 1793 augusztusáról azt olvassuk, hogy a szokolyai hámor és olvasztóból már csak teljesen értéktelen vasalkatrészek maradtak fenn („ex Malleatura et Domo liquefactoria Szokolensi remanere nonnulla instrumenta diversaue fragmenta ferri, quorum omnium . . . Dominium nullum lucrum acciperet . . .”) [73]. Teljes világosságot a kohó végső sorsára azonban csak a kismartoni anyag ismeretében lehetne deríteni.

És ezzel megszűntette működését az annyi reménységgel elkezdett és olyan lelkesedéssel vezetett szokolyahutai vaskohó. Nem adatott meg néki, mint garadnavölgyi társának, hogy egy másik Diósgyőrnek, a magyar ipar egy másik büszkeségének legyen a kiindulása.

Felmerül persze a kérdés, mi volt a vasmű beszüntetésének a közvetlen oka. Ismeretes, hogy a régebbi időkben egy vaskohó működését három tényező determinálta: a vasérc, a faszén és a vízierő. Bár mai ismereteink alapján tudjuk, hogy tartós bányászkodást a szokolyai ércvagyon nem tett volna lehetővé, a régiek az akkor feltárt készleteknek nem jutottak a végére és — bizonyosan legalábbis eleinte, ameddig forrásaink szólnak — többnyire az ércek bőven töréséről olvasunk [74]. Lehet persze az is, hogy az ércek általában elég kis vastartalma (és az ezzel járó nagyobb faszénfogyasztás) is belejátszott a megszüntetésbe. És, bár az okiratok tanúsága szerint a harmincas évektől kezdve egyre lendületesebb a fával Pest felé folytatott kereskedés, akár maga az uradalom, akár a jobbágyok részéről (ezek az ún. taxafával), faszén hiányáról az átnézett iratokban egyetlen esetben sem olvassunk [75].

Annál több bajt okozott azonban a vízhiány. Bár, amint azt alább még ismertetjük, minden lehető megtettek hajtóvíz biztosítására, minduntalan arról olvasunk, hogy a vasmű az üzemét vízhiány miatt korlátozza vagy teljesen megáll. Így 1780 júniusában olvassuk, hogy „. . . ha víznek apadása miatt az olvasztó meg nem állíttatik, de . . . víztartó Gátból elfogyott a vizünk . . . ha csak nyolc—kilenc Nap alatt valami Zápor essővel meg nem tellik . . . az olvasztás meg áll”. Majd júliusban „nyári száraz üdő miatt a víz nem győzhette tovább a Massa kerekét . . . tíz óra tájban véghül annak meg költett állapotnia”. Vagy 1781 júliusában „Oly nagy szárazság vagon, hogy minden vízerek és források kifogytak . . . a víztartó gát egészen kiszáradt

... mind Massa mind Hámornak pihenni kellett ...". Nem hiányoztak a különböző plánok sem, hogy legalább a hámort bővebb vízzel hajtóerő mellé telepítsék; így felmerült a Diósjenői tó lefolyása, Léva, Vámosmikola; szóba került, hogy az egyik frissítő tüzet áthelyezik Véghlesre (61., a HKG okirat). 1787-ben maga herceg Esterházy Miklós kívánja megállapíttatni, hogy a „Szokolyai vasgyár vízhiányán hogy lehetne segíteni és a nevezett vasgyár továbbra is fennmaradjon vagy megszüntessék” [76]. A kérdést kivizsgálás végett NÉMETH és ZÖCHMEISTER inspectoroknak adták ki. Némethék meg akarták állapítani, hogy vajon nem lehetne-e a vas olvasztását célszerűbb módon végezni, de a szokolyai olvasztó éppen üzemben kívül volt („... der Ofen nicht zugerichtet und hinzu nothwendige Kohlen Vorrath nicht vorhanden...”), így a gombaszögi kohóba vitettek egy-egy fuvar jó és silány ércet, a próbaolvasztás elvégzése végett. Igért végleges jelentésük nem volt feltehető [77].

\* \* \*

Mi maradt meg mindezekből a régi létesítményekből? Ha a többnyire jól felismerhető bányabejáratokra nem vagyunk tekintettel, csak a régi erővízrendszer sok helyen még jól követhető maradványai hirdetik a régi tevékenység nyomát.\* Ezenkívül csak a kohó salakhányója és egy-két elsalakosodott tégladarab maradt fenn. Szokolyahután csak a jelen század folyamán is uradalmi központ és kastély, erdőhivatal, végül üdülő, továbbá erdei vasúti forgalmi telep, közúzó, sodronykötélpálya, gazdasági épületek létesültek, amelyek úgyszólván teljesen megsemmisítettek minden egykori maradványt. Ha nem maradt volna fenn a vasműről néhány térkép, majdnem semmit sem lehetne rekonstruálni a múltból.

A már említett [19] Scopp-féle térképet már ismertettük. Ezen az akkor még csak tervezett két hámor helye nyilván tévedés: azon a helyen nem áll még olyan esés rendelkezésre, hogy a víz erejét két lépcsőben lehetett volna kihasználni. A térkép különben feltünteti mind a régi, mind a tervezett új vízierő-hasznosításoknál rendelkezésre álló esést.

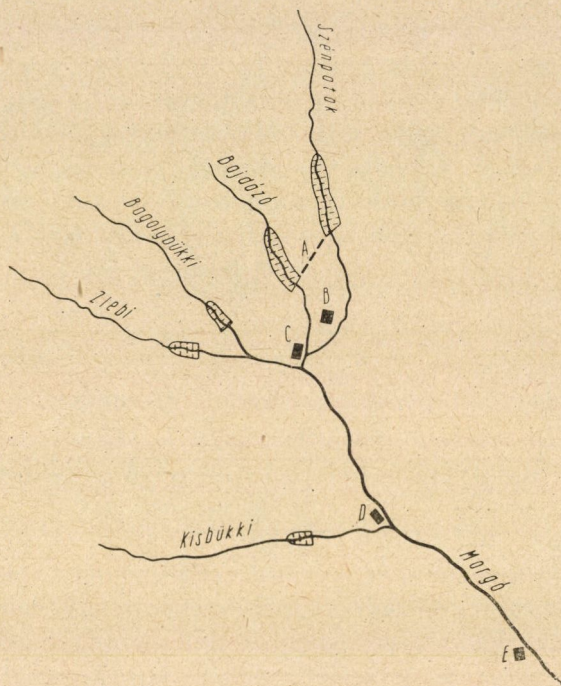
Igen jó térkép és az épületek és az erővíz-rendszer valódi fekvéséről hű képet ad Georg VÁLY „Planum magnam vallem Szokolensem ... cum elevationes et casu aquae supra verum Horizontem Libellatione ... exhibens” térképe 1787-ből [78]. Különösen értékeljük ezen a térképen, hogy a lehetőség szerint pontos felméréssel és szintezéssel készülvén, igyekezett a hajtóerőről is képet adni: a Legendában a vízvezető árkoknak nemcsak a hosszúságát, hanem a rendelkezésre álló esést is megadja, közli ezenkívül a víztárolók köbtartalmát, sőt a bennük tárolható víz súlyát is. Látszik tehát, hogy a

\* A mai szokolyahutai ún. halastó azonban csak az 1920-as években készült, de nyilván teljesen a régi bajdázó-völgyi duzzasztó helyén.



vízierő tekintetében az akkori ismereteknek megfelelő teljes képet kíván nyújtani.

A legérdekesebb térkép azonban, bármilyen primitíven is van megrajzolva, egy sajnos dátum nélküli térkép: „... des Hochfürstlichen Szokolaer



1. ábra

Eissenwerkes dessen Zusammen Hang und beynahlige Situation ... désigné par Wolfgang HOHENRAIN" [79] (2. ábra). A vízvezető árkok vonalvezetése részben derékszögű, az egyes műtárgyak ábrázolása és egymástól való távolsága nem méretarányos, a két víztároló (a bajdázóvölgyi és a szénpatáki; lásd az 1. ábrán) tájolása a valósághoz képest közel  $90^\circ$ -kal el van fordítva. Egyebekben azonban a vízvezető rendszer a bonyolult összeköttetéseivel helyesen van feltüntetve, hasonlóképpen az is, ahol az árkok fa aqueductus-ként vannak vezetve. Kár, hogy a valószínű alsó hámor már hiányzik. A térkép Legendája elveszett, de az egyes épületek rendeltetésére azért következtetni lehet. *K* a kohó, *Z* a zúzó, *I* a szénpajta, *1*, *2* és *3* a tisztalakok, *4* ezekhez tartozó istálló, *5*, *6* és *8* istállók, *9*-ről feltételezzük, hogy az olvasztómester lakása; *U* a hámor.

Érdekessége ennek a térképnek, hogy ha csak körvonalaikban is, de a kohónak és a hámorinak az ábrázolása látható rajta. A zúzó és kohó a mai üdülő fölötti alacsony dombhátról (észak felől) nézve vannak ábrázolva. Elöl

a zúzó, mögötte a kohó épülete a kéménnyel; balról az erővizet vezető fa csatorna.

A hámort dél felől ábrázoló rajzon jól kivehetők két szintben a fából készült vízvezető csatornák, azok tiltói, továbbá a vízikerekek. A felső vízi-kerék hajtóerejét nyilván egy függőleges, ún. királytengely vitte át a hámor épületébe. Mivel a rajzon mindkét szinten csak egy-egy kerék látható, az idézett jegyzőkönyv viszont négy kerékről beszél, fel kell tételeznünk, hogy a kerekek egymás mellett, szimmetrikusan voltak elhelyezve, ami némileg szokatlan elrendezés. A rajzon feltűnik a vízikerekeknek az eséshez képest kicsi átmérője: ha a rajz méretarányos (már pedig a melléje rajzolt lépték nyilván erre utal), a felső kerék átmérője 1,05, az alsóé 1,6 öl, míg a rajz szerint a kihasználható esés  $3+3$  öl. Számunkra, akik megszoktuk a ma már ugyan, sajnos, alig-alig látható patakalmok vízikerekeit, sajátságos elrendezés ez. A magyarázatot csak nemrégem találtam meg: a hámorok vízikerekei a szokottnál kisebbek voltak, hogy azok a lehető leggyorsabban forogjanak (a nehéz kalapács másodpercenként 10 ütést végzett), és a vizet, részben annak kinetikai energiát is adva, a ferdén lefutó, a rajzon is látható surrantó csatornával, így vezették a kerékre. (Hogy ez nem lett volna-e másként, esetleg jobb hatásfokkal megoldható, más kérdés.) A fordulatszámot a kalapácsnál dolgozó mester a tiltónak az épületből történő szabályozásával (ez a rajzon mind a két tiltónál, jól kivehető) változtatta [80]. Abból a körülményből, hogy ezen a térképen vízzel megteltnék csak a bajdázóvölgyi tárolót ábrázolja, a szén-patak völgyi még üres, posványos terület (haragos zöld szín), vajon arra következtethetünk, hogy HOHENRAIN működése elején (tehát 1784-ben) a már 1782-ben épülőben levő szén-patak völgyi víztároló még mindig nem készült el?

Az ismertetett térképek és a helyszín gyakori bejárása alapján tehát a következőket mondhatjuk a vasmű egyes részeinek elhelyezéséről. A zúzó és olvasztó a mai királyréti üdülő kertje helyén, a Szén-patak völgybe vezető út mentén állt, a beszögellő kőfal közelében. Az egyik hámor lejjebb, a Morgó patak bal partján, a mai sertéshízaló helyén feküdt. Közelebbit erről ma már lehetetlen megállapítani. A másik hámor megint ez alatt, de a patak jobb oldalán, a Szokolyára vezető út alsó hídja közelében kellett hogy feküdjön. De jól rekonstruálható a zúzónak, az olvasztónak és a hámornak a működéséhez szükséges erővíz biztosítását szolgáló rendszer. Tudjuk, hogy bányavidékeken ez életkérdés volt és sokszor az akkori műszaki tudás legmagasabb fokán álló bonyolult árok- és víztároló rendszer létesítését tette szükségessé. A Szokolyahután létesített ilyen berendezés, az összes adott lehetőségek felhasználásával igen figyelemre méltónak mondható és megérdemli, hogy legalább írásban rögzítsük az emlékét [81].

Az okiratok gyakran beszélnek gátak és csatornák építéséről, magasztásáról, víztartó „kasnyákról”, deszkából létesített aquaeductusokról, a felső Nagy

Patak töltésről (ez utóbbi, láttuk, 1782-ben még épülőfélben volt, de nagy reményeket fűztek hozzá és a mérlegben is jelentős összeggel fordult elő, nyilván mert a magja falazat volt), vízikerekekről stb. Egyszer olvassuk [36], hogy épül a felső tó, ami akkor nyilván a bajdázóvölgyi duzzasztó lehetett (1. ábra), továbbá, hogy ennek elvezető árka (nyilván csak részben) falazattal volt beboltozva. Mind a Vály-féle, mind a Hohenrain-féle térképen jól felismerhető az is, hogy az erővizet pl. a völgynyílások előtt, sőt a patak fölött is (nyilván fából készült) aquaeductusokon vezették át.

Három völgyrendszer vizeit gyűjtötték össze. A legfelső volt a Büdös-tói hegynek aljában létesített völgyzárógát, amely a Szén-patak völgy és a Cseresznyésvölgy patakjainak vizét egyesítette és elég nagy terjedelmű duzzasztott tavat képezett (1. ábra). Duzzasztóul kőből épített, falazott gát szolgált, amely a ma is jól felismerhető maradványai alapján mintegy 3,5 m magas lehetett. A gát nagy része még ma is megvan, de egyik végét a későbbi korban a víz szabad lefolyása végett úgy látszik mesterségesen megnyitották. A vizet a Bajdázó-völgy alsó részén létesített duzzasztóba vezették; az árok felső része még felismerhető. A régi, ismeretlen kohónak itt lett volna a zúzó-műve (1. ábra B.), de ennek az elhasznált vize már nem folyhatott a Bajdázó-tárolóba, csak vissza a patakmederbe.

A második, lejjebb a Bajdázó-völgyben fekvő víztároló helyén a mai királyréti ún. halastó terül el, így esetleges maradványairól mit sem tudunk. VÁLY térképe szerint a felső tóból jövő víz az alsóba magába volt levezethető, szükség esetén azonban közvetlenül az alsó tóból már a kohóba vezető árokba is.

A harmadik duzzasztómű a Vasfazékvölgy és a Nagyinóc felől jövő vizet tárolta, a Zlebi-patak völgyében. A tároló közvetlenül a Lukácsszállási bánya felett feküdt; mintegy 1.8 m magas, úgy látszik, egyszerű földhányásból készült maradványai ma is jól felismerhetők. Az itt felduzzasztott víz, a völgy szűkebb volta miatt, valamivel kisebb medencét képezett. Az itt gyűjtött vizet azonban nem külön csatornába vezették tovább, hanem, a szükségnek megfelelően, szabályozhatóan, a patak medrébe engedték. Felvette közben a Bagolybükki völgyben felismerhető duzzasztó vizét is és a lejjebb fekvő hámorok hajtására szolgált; vagy pedig a patakmederből eltérítve, egy a térkép szerint is nyilván fából készült csatornán a kohóhoz vezették. Közvetlenül a kohó felett egyesült a fent leírt, az első és második tárolóból jövő erővízzel és hajtotta a zúzó és a kohó fúvóinak vízikerekeit.

A két fő patak (Zlebi és Szénpataki) egyesülése után, mikor is ezek a kohó vízikerekeinek az elfolyó vizét is felvették, közvetlenül egyesülésük alatt egy újabb vízkivételi művet tüntet fel a térkép, amely az egyesített patakvizet egy, a patak jobb oldalát kísérő lankás hegyoldalon húzódó erővíz csatornába terelte. Ennek a csatornának a nyomai közel egy km hosszúságban még ma is jól kivehetők és az csapadékos időjárásakor még ma is visz némi vizet. A csatorna keresztmetszete jelentékenyen meghaladja egy egyszerű

patakmalom szokott méretű csatornáját, jeléül, hogy a hámorban valóban jelentékeny hajtóerőt használtak. Több kisebb vízmosást fa aqueductusokkal hidalt át ez a vízvezeték. Így érkezett a felső hámor épületével egy vonalba, amikor is a hegyoldalból szintén fából készült aqueductuson átvezették a patak fölött, az annak bal oldalán állott felső hámorba (1. ábra D.). Előbb azonban ez a hajtóvíz kibővült még a Kisbükki völgyből folyó patak vizével, amit a térkép szerint szintén fából készült aqueductuson vezettek bele; a helyszíni adottságok miatt azonban valószínűleg csak az alsó kerékszintre. Egyébként a Kisbükki-patak vizét is tárolták egy kisebb méretű duzzasztóban.

A hámor vízikerekeiről elfolyó erővíz visszajutott az itt már Morgó nevet viselő patakba. De rögtön utána egy újabb vízkivételi mű ismét egy a jobb parton vezetett árokba terelte, amely az alsó, második hámor hajtásához vitte azt. Ennek a csatornának a nyomai azonban az újabbkori létesítmények miatt ma már nem ismerhetők fel.

Az egész bonyolult rendszer szép példája annak, hogy aránylag nem nagy hajtóvízmennyiséget milyen ügyesen tudtak több vízlépcsőben kihasználni. Hazánk mai területén ilyen összefüggő, a vizet mint hajtóerőt hasznosító rendszer nem ismeretes. Ha ideszámítjuk a különböző tiltókat, zúgókat, árapasztókat, túlfolyókat stb., amiket részben a térképek is feltüntetnek, valamint a kivitelhez természetszerűen szükséges szintezést, az a berendezés a maga idejében figyelemre méltó mérnöki alkotásnak mondható. Persze, a közép-magyarországi klíma szárazságát még ilyen kiterjedt vízgyűjtő-rendszerrel sem lehetett ellensúlyozni. Így a vízhiányon mindez gyökeresen nem tudott segíteni.

\*

A kohó megállapított helye és a patakmeder között még jól felismerhető az egykori salakhányó. Ennek köbtartalma, hozzávetőleges mérés szerint 250—300 m<sup>3</sup>, ami átlagos 3-as fajsúlyával számítva, 750—900 tonnának felel meg. Amint láttuk, a feldolgozott érc, vagy helyesebben a fémkihozatal átlag 25% volt. Figyelembe véve az alább közölt salak-elemzéseket, ez a salakmennyiség, persze teljesen hozzávetőleges számítással, 3700—4400 bécsi mázsa vas termelésének felelne meg. Szokolyahután, tekintettel a klimatikus viszonyokra, évi 24 termelési héttel számolhatunk; legfeljebb 6 hónapig dolgozhatik egy évben. írja GLUDOVICS [30]. (Gombaszögön évi 40 héttel számoltak.) Ha napi 10 mázsa termelést veszünk fel, a ma látható salak alig több mint két, legfeljebb három év termelésének felelne csak meg. De mivel némely év termelése, amint különben láttuk is, nyilván kevesebb volt, másrészt SZEBÉNYI [2] közlése szerint az üdülő egész parkjának a területén megtalálható 0.5—1 m mélységben a kohósalak, bízást a ma nyíltan látható salakmennyiség többszörösével számolhatunk.



A salak túlnyomó része világos színű és erősen hólyagos. Sötét színű, üveges darabot csak elvétve lehet találni. A salaknak ez a hólyagos volta nyilván arra mutat, hogy kis hőmérsékleten dolgoztak, a salak nem olvadt eléggé meg és így a gázok nem illanhattak belőle el. A salakok savanyú volta is amellet szól, hogy az nehezen olvadó volt. A vizsgált salakok ugyanis, mint az alábbi táblázat adatai mutatják, biszilikát-típusúak voltak.

Meglepő azonban, hogy Szokolyahután még egy salak előfordulást találtam. A Bagolybükki völgy alsó részén, az 1. ábrán látható kis víztároló felett a völgy bal oldalán van egy kb.  $200 \times 200$  m-es terület, ahol ha nem is összefüggően, de szétszórva, kohósalak található. Ennek a salaknak a legnagyobb része kék színű és üveges; nem olyan jellegzetesen hólyagos, mint a voltaképeni kohó salakja, amelyhez különben összetételében hasonlít (lásd a táblázatot). Csak ritkábban találhatók sötét színű, tömöttebb salakdarabok. Utóbbiak, összetételük alapján lehetnek bucatűzhely-salakok, tehát esetleg igen régi eredetűek. De a kék színű, üveges salak összetétele alapján határozottan nagyolvasztó-salaknak mondható. Az előfordulás helyén: egy lankás domboldalon, vízierő alkalmazása fűvók hajtására teljességgel kizárt. Eredete így eléggé rejtélyesnek mondható; talán valamilyen kézi hajtású fujtatóval működhetett, de a folyamatában azért nagyolvasztó-jellegű kemence terméke ez. Az a körülmény, hogy dombtetőre telepítették, talán arra mutat, hogy a szélnek, mint a természetes huzatnak a segítségét vették igénybe. Utalok itt a rudabányai Hutatető kiterjedt salak előfordulására. De a Hutatető salakja buca-tűzhely eredetű; míg itt, amint mondtuk, a salak túlnyomórészt nagyolvasztó jellegű. Így az eredete teljesen bizonytalan [82].

A salakminták analizisét az alábbiakban közlöm [83].

	I. %	II. %	III. %	IV. %	V. %	VI. %
SiO <sub>2</sub> ...	59,44	62,29	57,74	56,80	63,08	46,43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...	9,28	8,11	8,26	8,05	9,29	5,49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ...	6,89	3,03	3,10	2,91	6,78	40,27
MnO ...	1,03	1,59	1,14	0,98	1,39	3,20
CaO ...	20,99	16,22	27,50	29,14	17,74	5,66
MgO ...	3,06	5,13	1,56	1,54	2,23	
TiO <sub>2</sub> ...	0,30	0,31	—	—	nem lett meghatározva	nem lett meghatározva
S .....	nyom	—	0,06	0,05	nem lett meghatározva	nem lett meghatározva

- I. Kékes színű, hólyagos salak.
- II. Kék színű, üvegesebb salak.
- III. „Szürke salak”.
- IV. „Kék salak”.
- V. Üveges, kék salak a Bagolybükki völgy alsó részéről.
- VI. Tömött, sötét salak ugyaninnen.

Őszinte köszönetet kell mondanom a Magyar Országos Levéltár dolgozóinak : Dr. BAKÁCS István, Dr. BARACZKA Istvánné, BOGDÁN István és Dr. DÁVID Zoltán, valamint a Levéltárak országos központja helyettes vezetőjének, Dr. BARACZKA Istvánnak, akik tanácsaikkal, útmutatásaikkal, nehéz szövegrészek olvasásával, sőt néha buzdításukkal is állandóan segítettek a munkámban.

## MEGJEGYZÉSEK ÉS IRODALOM

1. THIRING G.: Budapest környéke. Budapest 1900, 339. o. Tudomásunk szerint az egyetlen újabbkori megemlékezés, amely az itteni kohászat időpontjáról legalább közelítő adatot közöl. („Vasolvasztója vagy száz év óta szünetel.”)
2. Ezt a felvilágosítást (valamint több más értékes adatot) SZEBEŒNYI FERENC, azelőtti szokolyai római katolikus lelkésznek köszönhetem.
3. PAPP KÁROLY : A magyar birodalom vasérc- és kőszénkészlete. Budapest 1915, 252. oldal.
4. LIFFA AURÉL és VIGH GYULA : Földtani Intézet Évi jelentése 1929—1932, 235.
5. SZUROVY GÉZA : Földtani Közlöny, 80, 7 (1950).
6. LENGYEL ENDRE : Földtani Intézet Évi jelentése 1954, 105 ; Földtani Közlöny 87, 165 (1957).
7. SCHLEICHER ALADÁR : MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei 9, 415 (1953).
8. M. kir. Kereskedelemügyi miniszter : A Magyar Korona Országainak gyáripára : Vas- és fémipar. I. Vasgyártás. Budapest 1901. — FUTÓ MIHÁLY : A magyar gyáripár története. I. k. Budapest 1944. Érdekes, hogy nem említi pl. *Fényes Elek* sem.
9. SCHLEICHER ALADÁR, a Kohászat Történeti Bizottság elnöke 1957 őszén Selmeceen a régi bányabíróági és a főbányagrófi iratokat őrző szlovákiai központi bányászati levéltárban az 1800-ig terjedő időszakra vonatkozó, Szokolyahutát illető iratokat talált. Mivel az utóbbi helyen mindig csak magánbányászat folyt, elegendő volt a bányabíróági iratokat keresni, mert a főbányagrófi levéltár csak a kincstári bányászatra vonatkozó iratokat őrzi. KISZELY GYULA, a Kohászat Történeti Bizottság titkára a szóban forgó iratokról fényképmásolatokat készíttetett és azokat rendelkezésemre bocsátotta ; ezért mindkettőjüknek őszinte köszönetemet fejezem ki.
10. Magyar Országos Levéltár, Esterházy hercegi család levéltári anyaga. (A továbbiakban ezt az anyagot *OLE.*-val fogom jelölni.) Repositoryum 23, Fasciculus GG. No. 1949.
11. *OLE.* Repos. 23, Fascic. GG. No. 1950.
12. *OLE.* Repos. 23, Fascic. GG. No. 1957.
13. *OLE.* Repos. 23, Fascic. GG. No. 1955. — A Helytartótanács *OLH.* Miscellanea Fascicul. 23. No. 178. alatt foglalkozott az ügyel. Itt a kibányászott érc mennyiségét 10,000 mázsának mondják. Abból a körülményből, hogy a kiolvasztott („liquefactum et excoctum”) vasból edényeket („crateres”) is készített KOLLBACHER, arra lehet következtetni, hogy öntött vasárut is készített. Kár, hogy ez az irat sem említi : hol történt ez a próbaolvasztás?
14. *OLE.* Repos. 23, Fascic. GG. No. 1952.
15. *OLE.* Repos. 23, Fascic. GG. No. 1951.
16. *OLE.* Repos. Fascic. GG. No. 1953.
17. *OLE.* Repos. 23, Fascic. GG. No. 1954. — A szöveg esetleg értelmezhető úgy is, hogy az olvasztó építését valóban elkezdte.
18. *OLE.* Repos. 23, Fascic. GG. No. 1956. KOLLBACHER ekkor már valóban nem volt jómódú ember. 1727-ben írják róla, hogy „Gollpach uram igyekszik . . . olyat keresni, akit csak jégre hozhatna. . . Buda várossában pallást bérben tart és egy virágos kertnél egyebe semmise sincsen”. (SIMONYI Gáspár inspektor iratai 1727, No. 9.) 1734-ben is azt írják róla (23) „szegénységre jutott”. Érdekes megjegyezni, hogy KOLLBACHER az írásait többnyire Nagybörzsönyből keltezi. Ez is támogatni látszik azt a meggyőződésünket, hogy KOLLBACHER Nagybörzsönyben is művelt bányákat. De, amint ugyancsak SIMONYI megjegyzi, bár igazán iparkodott, de sikerre sehol sem tudott jutni.
19. Így pl. „Szokolyán hajdan propter beneficium aquae huták és küllyük lélvéltek . . .” (*OLE.* SIMONYI András inspektor iratai 1734, No. 7.). — „. . . Szokola . . . eine starcke Meill Weegs . . . allwo vormahls ein Schmeltz Ofen gewest und die Maueren dermahle

auch stehn . . ." (uő. 1736, No. 13.). 1754-ben szó van a váci püspökségnek kalló céljára bérbe adott ductus aquae ferri fodinii Szokolensiről. (Repos. 23, Fascic. FF. No. 1948). Egy 1771-ben készült térkép (Repos. 93, Fascic. E. No. 230.) a későbbi kohó helyén épületmaradványt tüntet fel „Huta Bánya” megjelöléssel, a Szárpatakvölgy alsó részében (l. az I. ábrán) vízduzzasztót és onnan ide vezető árkot. Egy 1774-ben készült térkép (OL. Esterházy-térképtár XIII. 491.) legendája egyenesen Kollbachernek tulajdonítja a régi kohó építését: „. . . des ehemals vor 70 Jahren durch einen sicheren Matthias Lambert KOLLBACHER . . . erbauten Eissen Werks, welches dermahlen fast völlig unter seinen Ruinen biss auf einige Rudera vergraben liegt.” Ez a térkép is feltünteti a régi vízierő berendezéseket (l. alább). Egy 1775-ből származó, a régi bányák leírását tartalmazó szakértői jelentés (OLE. Acta Dominiorum Buják, Csobáncz etc., a továbbiakban: Acta Domin., 1769 ad No. 35.) a későbbi vaskohó helyét (= Szokolyahuta) „Hüttner Grund genannt . . . alte Schmöltz Hütten”-nek nevezi. Ugyanez a jelentés az I. ábrán jelzett Bajdázóvölgyben emleget egy „Mitterer Teich”-et. Végül a Búdöstő-hegységnek már 1790-ben kimutatható neve is nyilván a régi kohó elposványosodott vízduzzasztójától vette a nevét.

Ezzel szemben bizonyos, hogy a quaerulans KOLLBACHER egyetlen szóval sem tesz említést arról, hogy neki konkurrensé lett volna. Az uradalom pedig a század elején 1746-ig repositumként kezelte a „Szokolyai és pászthói vasbányák” iratait, de ottsem találni adatot erre a rejtélyes régebbi kohóra.

Magyarázatként talán a következők szolgálhatnak. Egy 1727-ből származó feljegyzés szerint (OLE. SIMONYI Gáspár inspector iratai 1727 ad No. 9.; továbbá majdnem szó szerint megegyezően Repos. 23, Fascic. FF. No. 1925, „Szokolya és Jenő birtoka” alatt is) egy Torkos (Forkos?) nevű bányapolgár, akinek a perőcsényi hegyekben voltak arany- és ezüstbányái, létesített a szokolyai határban, tekintettel a kedvező vízierőre, kohót. Ez egyszer légett, majd — újra felépítve — a Rákóczi-féle zavarokban, 1703-ban végleg elpusztult. Az irat szerint az itt létezett régi kohó nem vaskohó volt.

De valamilyen vaskohászat, talán igen régi időben, folyt Szokolyahután. Ennek nyomaira utalna a dolgozat végén leírt, ismeretlen eredetű salak előfordulás. Talán valamilyen reminiscenciája, esetleg akkor még jobban látható nyomai is, hozzájárultak ahhoz a nézethez, hogy valaha már ott volt vaskohó.

20. KOLLBACHER „Nógrád melletti” kutatásairól egészen röviden (és csak 1727-ig) megemlékezik TAKÁTS Sándor is, Magy. Gazdaságtörténeti Szemle 9, 382 (1902), és pedig a közös pénzügyminisztérium levéltárában talált adatok alapján.
21. OLE. Repos. 23, Fascic. GG. No. 1958.
22. OLE. Repos. 23, Fascic. GG. No. 1959.
23. OLE. Acta Domin. 1734 január 23. SIMONYI, továbbá No. 6.; ugyanerről SIMONYI András inspector iratai 1734, No. 4. is; „Quoad Mineralia . . . midőn kitanulnám circumstantialia et genuine . . . informálni el nem mulasztom excellentiadat . . . Bányákhoz Selmechrül talán nem szükséges . . . Feő tisztektől requirálni, mert nagyobb költség telik Uraságodnak . . . Pila helységben . . . vas bányák erigáltatnak, oda való . . . becsületes embert compendiosi elviszem magammal . . . vashoz való officinát vagy hutát delineáltattom . . . és arról alázatosan és genuine informálni el nem mulasztom. KOLPACHERT pedig . . . suo modo et ordine inhibeáltatni fogom.” A rajz — sajnos — nem található meg, de fennmaradt Adam Gottlieb WERNER Berg- und Hütten-Inspectornak (aki, amint láttuk, már KOLLBACHERnek is szakértője volt), ajánlkozása a szokolyai vaskohó építésének vezetésére és üzembehelyezésére, továbbá egy sziléziai és a pilai (Gömör megye) kohó költségeire vonatkozó számításai. (SIMONYI András inspector iratai, 1735, No. 2. és ad 2.).
24. OLE. Acta Domin. 1769, No. 35. G. Sub-No. 1o, 2do, 3o, 4to, 5to, 6to, 7mo, 8o, 9no : továbbá Acta Domin. 1769, No. 35. is. CZIBULKA egyébként szintén foglalkozott Nagybörzsönyben a Rózsahegyen, a Sóshegyen (és a perőcsényi hegyekben, talán a mai Bányapusztán és a Kurucpatak völgyében) nemesérc bányászatával. Acta Domin. 1777, No. 36., vagy pl. „Regensek iratai : Vachtliano-Herbervilliano-Nagyiana” Littera P, Fasciculus I et g. No. 48.
25. OLE. Acta Domin. 1770, No. 10.
26. OLE. Acta Domin. 1769 ad No. 35\*. és 1774, No. 12. Érdekes dokumentum HUBER két útszámlája. 1777-ben egy másik Huttmann, Thomas ZIBSER is megvizsgálta a bányák egy részét és bizakodóan nyilatkozik. Acta Domin. 1776, ad No. 20.

\* Az egykori irattárkezelés sajátossága folytán egy irattári számon néha igen különböző tárgyú és keltezésű ügydarabok találhatók, nem egyszer több évnyi eltolódással is.

27. *OLE*. Repos. 23. Fascic. KK, No. 2062. A selmeci főkamarográfiai levéltár adatai szerint (Hof Kammer Gericht, a továbbiakban *HKG*.-vel jelölve) az uradalom 1777-ben két vasbánya művelésére kapott engedélyt: St. Nicolai- és St. Stephani-bányák. *HKG*. 1780. november 11. és 1783. április 24.
- A selmeci irattárból származó okiratok pontos jelzeteinek megadása nehéz; a továbbiakban az okirat keltezésének a közlésével fogom azt pótolni.
28. Scop ügy látszik nem állt az uradalom szolgálatában, alighanem a nagybörzsönyi bányászatonál működött ebben az időben. Arra is van adatunk, hogy egy ízben az uradalom érdekei ellen foglalt állást. *OLE*. Acta Domin. 1777, No. 36.
29. *OLE*. Acta Domin. 1776, No. 2.
30. *HKG*. 1783 június 18.
31. *OLE*. Acta Domin. 1778, No. 44.
32. *OLE*. Acta Domin. 1776, No. 14. (a No. 10. kötegében).
33. *OLE*. Acta Domin. 1777, No. 36.
34. *OLE*. Acta Domin. 1776, ad No. 20.
35. *OLE*. Acta Domin. 1778, No. 9.
36. *OLE*. Acta Domin. 1778, No. 38.
37. *OLE*. Acta Domin. 1778, No. 44. „... összvességgel tizenöt darabban vagyon egy 150 mázsáig való olvasztott vass”.
38. *OLE*. Acta Domin. 1779, No. 6.
39. *OLE*. Acta Domin. 1779, No. 14. Panasolja itt HÓBOR a bányavárosok lassú ügyintézését ... mindenhez összekötetés kell ... ilyen ügyet csak ő tud elintézni.
40. *HKG*. 1783 június 18.
41. Mindkettő *OLE*. Acta Domin. 1779, ad No. 6. alatt.
42. *OLE*. Acta Domin. 1769 ad No. 35.
43. *OLE*. Acta Domin. 1780, No. 12.
44. A 2. ábrán közölt térkép mellé rajzolt ábra is úgy értelmezhető, hogy a kohónak kéménye volt. Kémény mellett szól az az adat is, hogy a váci kéményseprő végzi a „hutai kürtőnek tisztogatását”. (Acta Domin. 1782, ad No. 12.). A valamivel ugyan később épült újmassai kohóról is kimutatta legújabbban SCHLEICHER ALADÁR, hogy annak kéménye volt (Acta Technica 20, 137 [1958]).
45. Nyilván a Naszály hárshegyi homokkő-bányájáról van szó. Ilyen eredetre valló kövek a kohó törmelékei között találhatók is.
46. Anser, anzer, ferrum anserum, Gannseissen, lúd-vas: iratainkban a nyersvasdarabok elnevezése.
47. *HKG*. 1783. február 8., 1783. június 18.
48. *HKG*. § 662. No. 434. (1784. május 22.)
49. *HKG*. § 1361. Nr. 846. (1784. október 16.)
50. *HKG*. 1784. december 31.
51. Acta Domin. 1769. No. 35.-höz csatolva. Újabb kutatásaim szerint annak keletkezése valóban 1781, *OLE* Tomkó inspektor iratai 1781, No. 10. További adat szerint (43) „741 Mázsa Érczből olvasztott 189 Mázsa 20 font Vass, consumáltatott pedigh az Kemenczének melegítésére 91 1/2 Po. kila (= pozsonyi mérő), az Vass olvasztásban pedigh el kelt 1420 1/2 Po. kila és így egy Mázsa Ércz olvasztására nem több szén, mintsem 1 15/16 Kila kivántatik és el kell; egy Mázsa Ércz pedigh tett ad No 25 1/2 font Vassat.”
52. *OLE*. Acta Domin. 1778 ad No. 44. (1781-béli adat).
53. *OLE*. ERNEY Lázár inspektor iratai, 1782, No. 5. „... Szokolai Vassal hasznot nem szerezhet ... 6 mázsát hét nap olvasztattnak, (ti. a finomításnál, Gombaszögön) lett belőle 4 mázsa 30 font ... kemény fának szene, mellyel ott élnek, ezen vassnak olvasztására nem alkalmas, hanem lágy fának szene volna jó ...” — Ugyanitt, No. 6. „... Curator iparkodásában semmi hibát nem találtam bizonyosságot teszek felőle ... azt mondja, hogy a készület új lévén ennek építesse nedvességét vass megszini ...”
54. *OLE*. Acta Domin. 1778, ad No. 44.
55. A már idézett helyeken kívül: *OLE*. Acta Domin. 1780, ad No. 12., No. 17., egy iktatószám nélküli (1780. július 2.); NÁNDORY régens iratai Fasciculus sub O, No. 576. A hamuzsir főző kazánok a vasmű iratai között nagyon gyakran említetnek, mint

Amellett a tisztartók jelentései csak kivételesen foglalkoznak teljes egészükben a vasmű ügyeivel. A legtöbb levél nagyobb részében az uradalom gazdasági ügyeivel, néha egészen jelentéktelennek látszó eseménnyel is foglalkoznak (pl. az írődeák kilyukadt csizmája). Ugyanazó irást azonban csak kivételesen fogok újra idézni.



- ahogy általában is az uradalmi iratok között nagyon sokszor emlegetik ebben az időben a hamuzsír-termelést. Az üstök nagyságáról némileg tájékoztat egy adat: „... 15 hamuzsír főző kazányok oda való zsidók számára 231 mázsából 32 font állók...”
56. *OLE. Acta Domin. 1782 ad No. 12.*
57. Az említett „Deductio ferri...”, valamint *OLE. Acta Domin. 1780, No. 12. és HKG. 1785. december 31. szerint.*
58. A huttnanok jelentései megvannak 1777-ig, tehát még a feltáró munkálatok idejéből. Lehetséges, hogy később csakugyan az olvasztómester vette át a bányák szakvezetését, amint azt ADAMY 1780-ban javasolta. Bár 1790-ból szó van még egy haszontalan („malae vita et improbus”) Huttmanról. *OLE. NÁNDORY regens iratai, Fasciculus sub O, No. 567.*
59. A (74) alatti térkép feltünteteti a Nicolai-Stollen tervrajzát (2. ábra; kár, hogy a térkép legendája nem lévén meg, nem tudjuk a vágatok különböző színű jelölése mit jelentett), de itt, egymásra merőlegesen, két bejáratot tüntet fel. Ezek egyikének ma még a helyét sem ismerjük. A hutmanni jelentésben említett Stephani-Stollen („über dem Teich”) a Scop-féle térképbe eszközölt bejegyzés szerint a geológiai irodalomban szénpataki vagy egyházbükki bánya néven nevezett előfordulás. A Bajdázó-völgyben vagy a Szőlőhegy DNy-i lejtőjén volt régi bányák pontos fekvése ma ismeretlen.
60. „Istennek hála juthatni új Bányákhoz, melyekben szép számos Éczre akadhatni” írja 1780-ban Adamy.
61. *OLE. Birtokigazgatási ügyiratok. 1782, No. 1429.—HKG. 1783. július 19., 1784. április 24.*
62. *OLE. Acta Domin. 1782. február 24.*
63. *OLE. Acta Domin. 1782. ad No. 12.*
64. Az olvasztómester fizetése különben nem sokkal haladta meg az első legényét. Valószínűleg az említett, az elkészített öntvények után járó akkord-bér (aminek a mennyiségét nem ismerjük) egészítette ki megfelelően a felelősségteljes állásért járó illetményét.
65. Egyébként a „Deductio ferri...”-ben csak két tiszt fizetése van kimutatva.
66. *OLE. Zöchmeister inspector iratai. 1783, No. 18.*
67. *OLE. Zöchmeister inspector iratai. 1786, No. 9.*
68. *OLE. Acta Domin. 1782, No. 24. — Ugyanez megvan latin nyelven is: ERNEY Lázár inspector iratai 1782, No. 12.*
- „Mindennemű költségek a Szokolai Massa, Hámor, Gátak és más egyéb ott lévő épületek körül ab Anno 779 1 Junii 782 inclusive hozzá adván mindenféle robotokat, melyek ab Anno 776 lettenek, így specificáltak.

## 779 esztendőbeli költségek :

	F.	d.	F.	d.
kész pénz .....	7571	72 $\frac{3}{4}$		
tisztek és servitorok deputatuma .....	1809	75		
igás Marhákra lett költségek .....	547	92 $\frac{1}{2}$		
hámor szükségére levágott fák, ha kész pénzre fordíttatnának .....	18612	—		
szénnek levágott eöll fák .....	1894	37 $\frac{1}{2}$		
			24435	77 $\frac{3}{4}$
esztendőbeli Interesse minden százra 5 F. számlálván .....			1221	78 $\frac{3}{4}$

## Anni 780 :

Kész pénz .....	8760	7 $\frac{1}{4}$		
Tisztek és munkások deputatuma .....	1809	75		
Bittsei Dominiumból administralt fabéli Materialék ára .....	1500	—		
Épületekhez levágott fák ára .....	10995	—		
Igás Marhákra lett költségre .....	600	—		
Szénnek levágott eöll fák .....	2600	80		
Szükséges vassbéli instrumentumok, melyek a Massában applicáltak .....	1564	97 $\frac{1}{2}$		
Ab Anno 776 780-ig inclusive tett Robotok .....	6600	75		
			34431	34 $\frac{3}{4}$
Esztendőbeli Interesse minden százra 5 F. számláltatván .....			1721	56 $\frac{3}{4}$

## Anni 781 :

Kész pénz .....	6052	25 $\frac{1}{2}$		
Igás marhákkal lett költségek .....	474	70 $\frac{1}{2}$		
Három tisztt fizetése* .....	1899	12 $\frac{1}{2}$		
Massabéli Legények Deputatuma vulgo fáer gelt	116	—		
Szénnek levágott eöll fák ára .....	4318	81 $\frac{1}{4}$		
Vassbéli Materialék ára hozzá adván a szükséges				
téglát .....	1287	28		
Épületekre levágott fa ára .....	3728	—		
Szükséges robotok .....	2834	58 $\frac{1}{3}$	20710	76
Esztendőbeli Interesse minden százra 5 F. számlál-				
tatván .....			1035	53 $\frac{3}{4}$

## Anni 782 :

Kész pénz .....	3801	68 $\frac{3}{8}$		
Ott lévő tiszték deputatuma** .....	874	—		
Igás Marhákra tött költségek .....	260	30		
Szénnek levágott eöll fa .....	2177	50		
Vassbéli Materialék ára .....	821	97		
Bányában applicaltatott vulgo Czimmer fák ára ...	1156	—	9091	46 $\frac{1}{8}$
Esztendőbeli Interesse minden százra 5 F. számlál-				
tatván .....			454	57 $\frac{1}{3}$
Épületek estimatioja :				
Három tisztt quarteriuma minden hozzátartozó				
accessioval .....	10844	58 $\frac{1}{3}$		
Massabéli épület más egyéb eszközökkel .....	6868	44 $\frac{1}{2}$		
Két fris faerre épült Hámor .....	11738	46		
Két gát minden hozzá tartozó töltések és más				
egyéb fabéli canalisokkal .....	58522	11 $\frac{1}{3}$	87973	60 $\frac{1}{8}$
Interesse .....			4398	68
Az 779 esztendőbeli Capitalis summa pénzzel 780,				
781 és 782 az az három esztendőre való interesse	3665	36 $\frac{1}{4}$		
A 780 esztendőbeli Capitalis pénznek 781 és 782				
esztendőre való interesse .....	3443	13 $\frac{1}{3}$		
A 781 esztendőbeli Capitalis summa pénznek 782				
esztendőbeli interesse .....	1035	53 $\frac{3}{4}$		
Az 779 esztendő Épületekre tett Capitalis pénz-				
nek 782 esztendőre való 2 esztendőbeli interesse	8797	36 $\frac{1}{2}$		
Supputálván innent a jövedelmet és ugyan				
Anno 778 és 779 jövedelem semmi				
Anno 780 jövedelem 65 F. 38 $\frac{1}{6}$ d.				
Anno 781 jövedelem 3490 F. 97 $\frac{11}{12}$ d.				
Anno 782 1 Junii jövedelem				
1009 F. 05 $\frac{1}{24}$ d	4565	41 $\frac{1}{8}$		
Természetben vagyon még vass ugymint :				
Nyers olvasztott Lud vassak 3661 mázsa 53 font				
á 2 F.				
Öntvények 117 Mázsa 4 font á 7 F.				
Strek és Or kikoholt vass 97 mázsa 98 font á 7 F.				
Érczkő 24140 mázsa minden mázsáját á 12 Xr.				
számlálván				
Összesség	13656	20	18221	61 $\frac{1}{8}$

\* Ez a tétel a magyar nyelvű példányból leírás hiba miatt hiányzik, latinból fordítottam. A végösszeg azonban mindkét példányon azonos.

\*\* A latin szöveg szerint tisztéké és munkásoké.

Marad investialt Capitalis pénz a költségekből . . . .	184183	87 <sup>2</sup> / <sub>1</sub>
Ezen kívül a fönt nevezett Gát, mely már is munkában ugyan fog kerekedni . . . . .	35000	

Sigl V. Mikola 28 Juni 782.

Adamy Márton  
tisztartó"

(A latin nyelvű példányon : Valle St. Nicolai).

- 68a. HKG. 1784. július 19.
69. OLE. Acta Domin. 1784. január 3, Adamy, 1785, No. 23. és 27., 1786, No. 5 és ad No. 5.. 1787. július 28., Adamy és 1778 ad No. 44. (1787-ből). 1788-ból van adat (Status effectivus crudi ferri in Malleatura Szokolensi producta; Nándory regens iratai Fasciculus sub 0, No. 542), hogy összesen 1598 mázsa „ludvas, kazányok, mozsarak” vannak. 1790-ből még van adat arra, hogy bányászat folyt (58).
70. Így pl. 1785. július 14-én írják Gludovics és Hohenrain, hogy a negyedévi jelentést (Quartals Extract) felterjesztették, de az sajnos nem volt megtalálható. OLE. Acta Domin. 1785, No. 23.
71. Ezt a magyarázatot dr. BAKÁCS István levéltáros úr szíves felvilágosításának köszönhetem.
72. OLE. Nándory regens iratai, Fasciculus sub 0, No. 576 és 578. — Az (első) hámor helyét, a mostani sertéshízlaló berendezése előtt a szokolyaiak „deszkametsző”-nek nevezték.
73. Ugyanott No. 596.
74. „Istennek kegyelméből... elegendő értünk, erdőknek vagyon”. OLE. Acta Domin. 1781 No. 33.
75. Bár az erdők területe a fennmaradt térképek tanúsága szerint is nagyobb volt mint ma, azért persze nincsen kizárva, hogy a későbbi években, amelyekről az okirati anyagunk már hiányos, fellépett a faszénhiány. Erre talán utalna is a szövegben lejjebb közölt jelentés (77).
76. OLE. Birtokigazgatási ügyiratok, Fascic. 1786—1787, No. 1542.
77. OLE. Németh inspector iratai, 1787, No. 3.
78. OL. Esterházy-térképtár. II. 67. — „Ingeneur VÁLY György Uram” a hercegi uradalmak „geometra”-ja lehetett. A nevével az uradalmi iratokban gyakran találkozunk (még dunántúli uradalomban is). 1781-ben az Ipoly mentén végzett „libellatio”-t, amidőn arról volt szó, hogy a hámost esetleg oda telepítik. Acta Domin. 1781, No. 12.
79. OL. Esterházy-térképtár. XXXIII. 1069. HOHENRAIN nem volt műszaki szakember. Leszerelt katonatiszt volt („ausgetreten Offizier”), aki úgy látszik 1784-től a vasmű számvivője, 1788-ban annak „Curator”-a. 1791 októberében, tehát úgy látszik a vasmű megszüntetése idejében kéri a Kismartonba való helyezését.
80. Ezeket az adatokat Johann Heinrich JUNG-nak „Von dem Nassau-Siegischen Eisen- und Stahlgewerbe...” című, 1781-ben megjelent művében olvastam; újra kiadta a Siegerländer Heimatvereiñ 1958-ban. Az értékes különlenyomatot *Johann Wilhelm GILLES* főmérnök úr (Aachen) szíveségének köszönhetem, amiért e helyen is hálás köszönetemet fejezem ki.
81. A kohó üzemének megszűnése után a szokolyai birtok területén berendezkedtek az erdőkben termelt fának a másutt csak magashegységben használatos úsztatással történő szállítására. Ez a, a maga nemében szintén igen érdekes berendezés, amelynek egyes nyomai még szintén jól felismerhetők, a múlt század közepén még üzemben volt. Erről más helyen kívánok beszámolni.
82. Mivel a kék, üveges salak kinézésre erősen hasonlít a nagybörzsönyi középkori nemesérckohósításnak az ún. F agyosasszony körül található, szintén kézfújtatású olvasztásból eredő maradványaira, feltehető volt, vajon esetleg nem egy, ma már ismeretlen nemesérc előfordulás olvasztási maradványával van-e dolgom. De az ilyen olvasztás salakjaira jellemző kis ólomtartalom a bagolybükki salakban nem volt kimutatható.
83. A III. és IV. jelzésű salakok elemzési eredményeinek a rendelkezésemre bocsátásáért szintén KISZELY Gyulának tartozom köszönettel. Az I., II., V. és VI. jelzésű salakok saját gyűjtésűek. Egy erősen sötét színű, üveges külsejű salakdarab a kohó hányójáról 45,50% SiO<sub>2</sub> és 40,85% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> tartalommal annyira eltért a nagyolvasztósalak összetételétől, hogy a további analízist abbahagytam.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A börsönyhegyeségi Szokolyahuta környékének sok kis, mai szemmel nézve jelentéktelen vasércelőfordulása már a XVIII. sz. elején vaskohó alapításának a gondolatát vetette fel. Az évtizedekig tartó próbálkozásokból akkor nem lett kohó ; de érdekesek a levéltári adatokból kivehető, a tervezett kohóra vonatkozó technikai adatok. A hercegi uradalom végül is a század vége felé létesített csak vaskohót, amely 1778-tól 1791-ig dolgozott. A kohóhoz hámor is tartozott. A vasmű sokféle, öntött és kovácsolt vasárut termelt. A levéltári adatokból sok, a termelésre, a munkafolyamatra, az önköltségre, az üzemvezetésre, a munkabérekre stb. vonatkozó adat volt megállapítható.

A vaskohóból ma csak a salakhányó és a kohó és a hámor üzeméhez szükséges hajtóvíz biztosítását szolgáló, összesen öt egykori vízduzzasztó és a vízvezető árokrendszer nyomai láthatók. Az akkori adatok szerint jó minőségű vasat termelő vasmű beszüntetésének az oka a hajtóvíz gyakori hiánya volt, ami miatt a kohó évente legfeljebb 6 hónapig tudott csak dolgozni.

Szokolyahután még egy másik salak előfordulás is található, amely azonban összetétel alapján egyelőre teljesen rejtélyes eredetűnek mondható.





# A TORZIÓSLENGÉS DETERMINÁNSEGYENLETÉNEK ALKALMAZÁSA AZ ÖNLENGÉSSZÁMOK KISZÁMÍTÁSÁRA

BALOGH ARTUR  
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1959. január 19-én]

A torzióslengés önlengésszámainak megállapítása ismert determinánsegyenlet felállításához vezet, amelyet egyik előző tanulmányomban ismerttettem [1]. E dolgozat célja a determinánsegyenletet egyszerűsíteni és oly alakra hozni, amely a további számításokra alkalmasabb. Természetesen a determinánsegyenlet azon előnye, hogy bárhány tömegből álló rendszerre azonnal felírható, megmarad.

Teljesség kedvéért felírjuk a determinánsegyenletet és bemutatjuk a végzendő átalakításokat.

Feltételezzük, hogy annak a tengelynek, amelyre a tömegeket erősítjük, tehetetlenségi nyomatéka elhanyagolható a rendszer tömegeinek tehetetlenségi nyomatékai mellett, amelyek sorban a következők:

$$I_1, I_2, \dots, I_n,$$

a tömegek közötti rugalmas tengelyrész merevségi tényezői a következők:

$$c_1, c_2, \dots, c_{n-1}.$$

Bevezetjük a következő jelölést:

$$u_{ik} = \frac{c_i}{I_k}.$$

Vezessük be ezt a jelölést a már említett determinánsegyenletbe, akkor az a következőképpen alakul:

$$\begin{array}{cccccc|c} w^2 - u_{11} & u_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ u_{12} & w^2 - u_{12} - u_{22} & u_{22} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & u_{23} & w^2 - u_{23} - u_{33} & u_{33} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & u_{n-1,n} & w^2 - u_{n-1,n} \end{array} = 0. \quad (1)$$

Ha ezt a determinánst kifejtjük és  $w$  hatványai szerint rendezzük, a karakterisztikus egyenlet néven ismert kifejezést kapjuk.

Az 1. determinánsán végezzük el az átalakításokat, amelynek egyenlet formájában  $n$  gyöke van. Ezek közül az egyik  $w_n^2 = 0$  lévén, a hátra levő  $n-1$  gyöknek van jelentősége a lengés önlengésszámainak kiszámításánál.

Áttekinthetőség kedvéért a determinánsán végzendő átalakításokat az ötödfokú determinánsán mutatjuk be, azzal a megjegyzéssel, hogy a menet bárhány fokú determinánsra teljesen egyező. E determináns oszloppait megszámoztuk, és ezzel kijelöljük a végzendő átalakításokat :

1. az 5. oszlopot a 4-hez adjuk,
2. az új 4. oszlopot adjuk a 3-hoz,
3. az új 3. oszlopot adjuk a 2-höz,
4. az 1. oszlopot adjuk az új 2-höz,
5. ezt követőleg felcseréljük a 2. sort az elsővel,
6. és a 2. oszlopot felcseréljük az elsővel.

A determináns átalakítás előtt :

$$\begin{array}{ccccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \\
 \left. \begin{array}{l}
 w^2 - u_{11} & u_{11} & 0 & 0 & 0 \\
 u_{12} & w^2 - u_{12} - u_{22} & u_{22} & 0 & 0 \\
 0 & u_{23} & w^2 - u_{23} - u_{33} & u_{33} & 0 \\
 0 & 0 & u_{34} & w^2 - u_{34} - u_{44} & u_{44} \\
 0 & 0 & 0 & u_{45} & w^2 - u_{45}
 \end{array} \right| = 0. \quad (2)
 \end{array}$$

A determináns alakja az átalakítás után :

$$\begin{array}{ccccc}
 & & = B_2 & = B_3 & = B_4 & = B_5 \\
 \left. \begin{array}{l}
 1 & u_{12} & u_{22} & 0 & 0 \\
 1 & w^2 - u_{11} & 0 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & w^2 - u_{23} & u_{33} & 0 \\
 1 & 0 & w^2 & w^2 - u_{34} & u_{44} \\
 1 & 0 & w^2 & w^2 & w^2 - u_{45}
 \end{array} \right| = 0. \quad (3)
 \end{array}$$

3-ban  $B_i$ -vel jelöltük a determinánst, ahol  $i = 2, 3 \dots$  a rendszer tömegének, de egyúttal a determináns fokszáma is. Így pl.  $B_4$  a négy tömegű rendszerhez tartozó negyedfokú determináns. Azzal, hogy a determinánsán végzett átalakítások következtében  $w^2$ -ot ki lehetett emelni, a determináns kifejtésénél jelentkező kifejezés, illetve egyenlet fokszáma 1-gyel csökken.

Ugyancsak 3-ban kijelöltük az ott látható módon a rendszer 2 tömegéhez tartozó determinánst:  $B_2$ -öt, továbbá hasonlóan  $B_3$ -at a három tömeghez és  $B_4$ -et a négy tömeghez, ami a 2. alatti determinánsán nem végezhető el.

Mint hogy csak azon  $w$  értékek fontosak, amelyek nem 0-t tesznek ki, ebben az esetben kell, hogy a determináns 0 legyen. Azonnal látható, hogy a  $B_5$  determinánst a  $B_4$ ,  $B_3$  és  $B_2$ -ből lehet kiszámítani. Fejtsük ki a (3) alatti determinánst.

$$B_5 = (w^2 - u_{45}) B_4 - u_{44} \begin{vmatrix} & & = B_2 & = B_3 \\ 1 & u_{12} & u_{22} & 0 \\ 1 & w^2 - u_{11} & 0 & 0 \\ 1 & 0 & w^2 - u_{23} & u_{33} \\ 1 & 0 & w^2 & w^2 \end{vmatrix} \quad (4)$$

A kifejtés végeredménye :

$$B_5 = (w^2 - u_{45}) B_4 - u_{44} [B_3 w^2 - u_{33} (B_2 w^2 - u_{22} ((w^2 - u_{11})))]. \quad (5)$$

Rendezve :

$$B_5 = w^2 (B_4 - u_{44} B_3 + u_{33} u_{44} B_2 - u_{22} u_{33} u_{44}) - u_{45} B_4 + u_{11} u_{22} u_{33} u_{44}. \quad (6)$$

Abban a különleges példában, amikor  $u_{22} = u_{33} = u_{44} = u_{55} = u$

$$B_5 = w^2 [B_4 - u (B_3 - u ((B_2 - u)))] - u [B_4 - u^3 u_{11}]. \quad (7)$$

Ezek alapján felírhatjuk a determinánst átalakított formájában  $n$  tömegre, mint az (8)-ban látható. Kifejtett alakja (9) alatt látható. 8 tömegre (10), 7 tömegre (11), 6 tömegre (12) a kifejtett determináns alakja, amely egyébként az általános (9) alatti egyenletből kiolvasható szabály szerint is felírható.

$$B_n = \begin{vmatrix} & & = B_2 & = B_3 & & & = B_{n-2} & = B_{n-1} \\ 1 & u_{12} & u_{22} & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & w^2 - u_{11} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & w^2 - u_{23} & u_{23} & \dots & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & \\ 1 & 0 & w^2 & w^2 & \dots & w^2 - u_{n-3,n-2} & u_{n-2,n-2} & 0 \\ 1 & 0 & w^2 & w^2 & \dots & w^2 & w^2 - u_{n-2,n-1} & u_{n-1,n-1} \\ 1 & 0 & w^2 & w^2 & \dots & w^2 & w^2 & w^2 - u_{n-1,n} \end{vmatrix} \quad (8)$$

$$B_n = (w^2 - u_{n-1,n}) B_{n-1} - u_{n-1,n-1} [B_{n-2} w^2 - u_{n-2,n-2} (B_{n-3} w^2 - u_{n-3,n-3} I B_{n-4} w^2 \dots \dots \dots u_{33} ((B_2 w^2 - u_{22} II w^2 - u_{11} III) I))] \quad (9)$$



$$B_8 = (w^2 - u_{78}) B_7 - u_{77} [B_6 w^2 - u_{66} (B_5 w^2 - u_{55} ((B_4 w^2 - u_{44} I I B_3 w^2 - u_{33} (((B_2 w^2 - u_{22} II w^2 - u_{11} II))) I))] \quad (10)$$

$$B_7 = (w^2 - u_{67}) B_6 - u_{66} [B_5 w^2 - u_{55} (B_4 w^2 - u_{44} I B_3 w^2 - u_{33} ((B_2 w^2 - u_{22} (w^2 - u_{11}))) I)] \quad (11)$$

$$B_6 = (w^2 - u_{56}) B_5 - u_{55} [B_4 w^2 - u_{44} (B_3 w^2 - u_{33} ((B_2 w^2 - I u_{22} (w^2 - u_{11} I))) I)] \quad (12)$$

Tehát a determinánsán végzett átalakítással  $n$  tömeg lengésére jellemző kifejezés  $B_n$ -felállítását visszavezetjük  $B_{n-1}$ ,  $B_{n-2}$ , ...,  $B_2$  kifejezések kiszámítására, amelyek magán a  $B_n$ -re érvényes determinánsan kijelölhetők.

Ha adott esetben az önlengésszámokat keressük, akkor azon  $n-1$ ,  $w^2$  értékeket kell megállapítani, amelyre nézve  $B_n = 0$ . Felhasználva a regula falsi módszerét, ezt a feltételt a kívánt pontossággal el lehet érni. A  $w^2$  értékekből pedig az ismert módon az önlengésszámokat ki lehet számítani.

A két egymásután következő  $B$  kifejezés közötti kapcsolatot a  $B_6$  és  $B_7$  esetére fogjuk bemutatni azzal, hogy az elért eredmény általános érvényű és  $B_n$  és  $B_{n-1}$  esetére is teljesen hasonlóan levezethető.

*Példa:*  $B_6$ -ra vezessük be a következő jelöléseket:

$$\begin{aligned} u_{55} &= U_{55} \\ u_{44} U_{55} &= U_{445} \\ u_{33} U_{445} &= U_{33-5} \\ u_{22} U_{33-5} &= U_{22-5} \\ u_{11} U_{22-5} &= U_{11-5} \end{aligned} \quad (13)$$

$$B_{54-2} = B_5 - U_{55} B_4 + U_{445} B_3 - U_{33-5} B_2 + U_{22-5} \quad (14)$$

(13) és (14)-et behelyettesítve (12) a következő eredményt kapjuk:

$$B_6 = w^2 B_{54-2} - (u_{56} B_5 + U_{11-5}). \quad (16)$$

Ha (11)-ben felírt  $B_7$ -et rendezzük, felhasználva (14) alatti kifejezést, a következő eredményt kapjuk:

$$B_7 = w^2 (B_6 - u_{66} B_{54-2}) - (u_{67} B_6 - U_{11-6}). \quad (17)$$

Tehát a  $B_7$ -ben is előfordul  $B_{54-2}$  kifejezés, amelynél az index azt jelzi, hogy magában foglalja a  $B_5$ ,  $B_4$ ,  $B_3$ ,  $B_2$  kifejezéseket a (14) alatti módon. Az  $U_{11-6}$  pedig a következő szorzat rövidített jele:

$$U_{11-6} = u_{11} U_{22-6} = u_{11} u_{22} u_{33} u_{44} u_{55} u_{66}.$$

A bemutatandó számpéldán az ismertett kapcsolatot előnyösen fel lehet használni.

*Alkalmazás.* Gyakorlati alkalmazáshoz a motorok példáját választjuk, amelyeknél a hengereknek megfelelő tömegek tehetetlenségi nyomatékai egyenlők, hasonlóan az összekötő tengelydarabok merevségi tényezői is. 6 hengerű motort veszünk fel egy lendkerékkel, tehát a rendszer 7 tömegű és  $B_7$  kifejezést e különleges esetnek megfelelően kell átalakítani, amelyet az I. táblázatban el is végeztünk. Bevezetjük a (18) alatti jelöléseket, amelyek közötti összefüggéseket (19) alatt találjuk. Mindezeket bevezetjük  $B_2$  ...  $B_6$  kifejezésekbe és akkor a (20) alatti kifejezéseket kapjuk.

Szám példa gyanánt az 1 ábra szerinti elrendezésben kiszámítjuk az  $u$  értékeket, ha a nyírási rugalmassági tényezőt  $G = 8,3 \cdot 10^5$  vesszük fel.\*

$$c_1 = \frac{8,3 \cdot 10^5 \cdot 201}{25} = 670 \cdot 10^4 = \frac{G \cdot I_p}{I_1}$$

$$c_2 = \frac{8,3 \cdot 10^5 \cdot 201}{17} = 980 \cdot 10^4 = \frac{G \cdot I_p}{I_2}$$

$$u_{11} = \frac{670 \cdot 10^4}{99} = 6,8 \cdot 10^4 = \frac{c_1}{I_1}$$

$$u_{12} = \frac{670 \cdot 10^4}{0,458} = 1465 \cdot 10^4 = \frac{c_1}{I_2}$$

$$u = u_{22} = u_{33} = u_{33} = \dots = u_{67} = \frac{980 \cdot 10^4}{0,458} = 2140 \cdot 10^4 = \frac{c_2}{I_2} = \frac{c}{I}$$

A számítás eredményeit a II. táblázatban állítottuk össze mégpedig a következő értékekre :

$$w_1^2 = 102 \cdot 10^4, w_2^2 = 120 \cdot 10^4, w_3^2 = 140 \cdot 10^4$$

A számítás folyamán 10 hatványainak figyelembevétele elmaradhat, ha véges-végig minden számadathoz a 10 ugyanazon hatványa csatlakozik tényező gyanánt. Az eredményből látható, hogy  $w_2$  jól megközelíti a  $B_7 = 0$ -t. További  $w$  értékek megkeresése hasonló és újat nem jelent. Az, hogy a számolásnál a II. táblázatban található hosszú számok jelentkeznek, a dolog lényegében rejlik, mert már maguk az  $u$  és  $w^2$  értékek is hosszú számok és ezek hatványai még hosszabb kifejezéseket adnak. Természetesen számolási segédeszközökkel a számítás ideje lényegesen meg rövidíthető és a pontosság a kívánt mértékig fokozható. De ha ily segédeszközök nem is állanak rendelkezésre, akkor is egyszerű fejszámolással is elég rövid idő alatt eredményhez jutunk megfelelő előkészítés után.

I. táblázat

$$u_{11}, u_{12}, u_{22} = \dots = u_{67} = u$$

$$B = B_2 - u$$

$$B_{32} = B_3 - u B = B_3 - u \overbrace{(B_2 - u)}^B$$

$$B_{432} = B_4 - u \overbrace{[B_3 - u(B_2 - u)]}^{B_{32}} \tag{18}$$

$$B_{54-2} = B_5 - u \overbrace{[B_4 - u(B_3 - u(B_2 - u))] }^{B_{432}}$$

$$B_{65-2} = B_6 - u \overbrace{[B_5 - u(B_4 - u(B_3 - u(B_2 - u))) ]}^{B_{5-2}^{5-2}}$$

$$B_{65-2} = B_6 - u B_{54-2}$$

$$B_{54-2} = B_6 - u B_{432}$$

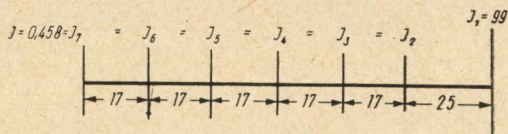
$$B_{432} = B_4 - B_{32} \tag{19}$$

$$B_{32} = B_3 - u B$$

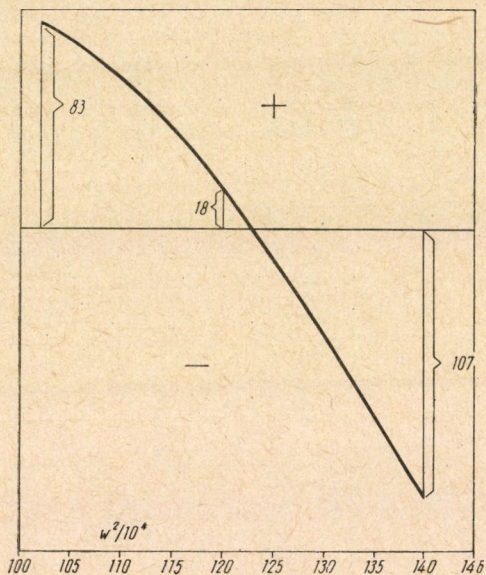
$$B = B_2 - u$$

\* Ezen példa adataival kiszámítottam az önlengésszámokat egy másik módszerrel, az eredmények megtalálható : Torzióslengés önlengésszámainak kiszámítása új eljárásokkal és az eredmények ellenőrzésével c. kandidátusi értekezésemben. A numerikus eredmények az itt kiszámítottakkal egyeznek.

$$\begin{aligned}
 B_2 &= w^2 - u_{11} u_{12}, \quad B_3 = B_2 w^2 - u(B_2 - u_{11}) \\
 B_4 &= w^2[B_3 - u(B_2 - u)] - u(B_3 + uu_{11}) = w^2 B_{32} - u(B_3 + u^2 u_{11}) \\
 B_5 &= w^2[B_4 - u(B_3 - uIB_2 - uI)] - u(B_4 - u^2 u_{11}) = \\
 &= w^2[B_4 - uB_{32}] - u(B_4 - u^2 u_{11}) \\
 B_6 &= w^2[B_5 - uB_{432}] - u(B_5 + u^3 u_{11}) \\
 B_7 &= w^2[B_6 - uB_{54-2}] - u(B_6 - u^4 u_{11})
 \end{aligned}
 \tag{20}$$



1. ábra



2. ábra

Pontosabb eredmények elérése céljából a II. táblázat adatait 2 ábrában raktuk fel, amelyben az abszcissa  $w^2/10^4$ , az ordináták pedig :

$w^2/10^4 = 102$ -nél	+ 83,2 mm
120-nál	+ 18,4 „
140-nél	- 107,4 „

amely értékek kapcsolata a II. táblázat adataihoz minden további nélkül megtalálható. Ebből az ábrából látható tehát, hogy a  $B_7 = 0$  egyenlet egyik gyöke pontosabban :

$$w^2 = 122,5 \cdot 10^4,$$

amelyet a berajzolt görbe az abszcissa metszésénél jelöl ki.

A (2) alatti determináns, mint azt a 178. oldalon megadtuk, az (1–6) alatti átalakításokat végeztük el és az átalakítás után a (3) alatti determinánst kaptuk. Azonban más átalakítások alkalmazásával a determinánsegyenlet egy másik alakját kapjuk, mégpedig a következőképpen :

ha az (1–3) alatti átalakításokat a determinánson elvégeztük, a következőkben a determináns 2 oszlopát adjuk az 1-hez, akkor ezzel az átalakítással a determináns egy másik változatát kapjuk, amelyet (21)-ben egyenlet alakjában írtunk fel.

Ezen átalakítás eredményeként kapott determináns a (3) alatti determinánsnál távolról sem egyszerűbb, azonban a különböző átlók mentén törvényszerűséget észlelünk, amelyet könnyebb felismerés céljából szakadozott vonalakkal be is jelöltünk. Ez a determinánsegyenlet formája bejelölt szabályszerűségekkel tetszőleges tömeg esetére is fennáll és levezethető, ami egyébként semmi újat nem jelent. Kétségtelen az, hogy a determinánsegyenlet ezen változata is lényegesen egyszerűbb mint az, amelyet az általános esetre (2) alatt felírtunk.

$$\begin{array}{cccccc|c}
 1 & & & & & & & \\
 & u_{11} & & 0 & & 0 & & 0 \\
 & & & & & & & \\
 1 & w^2 & - & u_{12} & & u_{22} & & 0 & & 0 \\
 & & & & & & & & & \\
 w^2 & 1 & & w^2 & w^2 & - & u_{23} & & u_{33} & & 0 \\
 & & & & & & & & & & \\
 1 & & & w^2 & & & w^2 & - & u_{34} & & u_{44} \\
 & & & & & & & & & & \\
 1 & & & w^2 & & & w^2 & & w^2 & - & u_{45}
 \end{array} = 0 \quad (21)$$



## II. táblázat

$w^2 =$	102 · 10 <sup>4</sup>	120 · 10 <sup>4</sup>	140 · 10 <sup>4</sup>
$B_2 =$	- 1370	- 1352	- 1332
$B = B_2 = u =$	- 3510	- 3492	- 3472
$B_3 = w^2 B - u (B_2 - u_{11}) =$	2 588 760	2 488 792	2 459 380
$B_{32} = B_3 - u (B_2 - u_{11}) =$	10 100 160	9 961 672	9 889 460
$B_4 = w^2 B_{32} - u (B_3 + u u_{11}) =$	- 4 540 871 358	- 5 040 355 520	- 3 909 690 080
$B_{432} = B_4 - B_{32} =$	- 26 155 213 358	- 26 358 329 600	- 24 073 134 580
$B_5 = w^2 B_{432} - u (B_4 - u^2 u_{11}) =$	7 116 275 282 804	7 689 789 600 000	5 043 140 112 000
$B_{54-2} = B_5 - u B_{432} =$	64 944 831 828 124	64 096 614 964 000	56 579 647 899 200
$B_6 = u B_{54-2} - u (B_5 + u^3 u_{11}) =$	- 10624 372 846 468 648	- 8 907 170 558 748 000	- 3 056 583 739 680 000
$B_{65-2} = B_6 - u B_{54-2} =$	- 149606 312 958 654 008	- 141 073 926 538 908 000	- 124 137 030 243 970 000
$B_7 = w^2 B_{65-2} - u (B_6 - u^4 u_{11}) =$	+ 83 16673 797 252 793 936	+ 1 834 445 067 652 080 000	- 10 733 013 774 640 280 000

## IRODALOM

- BALOGH A.: A torziós lengés önlengésszámának számítása a karakterisztikus egyenlettel. MTA műszaki tudományok osztálya közleményei XV. k. 1—4. száma. Itt további részletes irodalmi adatok is találhatóak.
- BALOGH A.: A torziós lengések önlengésszámának kiszámítása új eljárás alapján. (Ermittlung der Eigenschwingungszahlen bei Torsionsschwingung mit äusserer Dämpfung.) MTA műszaki tudományok osztálya közleményei XVIII. k. 1—4. száma.  
New method for the calculation of the natural frequencies of torsional vibration. MTA műszaki tudományok osztálya közleményei XIX. k. 1—4. száma.
- BALOGH A.: Ein neues Verfahren zum Ermitteln der Eigenschwingungszahlen von Torsionsschwingungen, Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure 1955 Nr. 6.
- Dr. Ing. CSUPOR D.: Die Methode der natürlichen Teilung zur Aufstellung der Frequenzgleichung für die Torsionsschwingungen beliebig kontinuierlich belegter gerader Stäbe. Schiffstechnik, 1957 Heft 21.
- Dr. Ing. MENZ, GUSTAV: Über die Dämpfung von Drehschwingungen in Schiffs-Dieselmotoren-Anlagen. Disszertáció Berlin—Charlottenburg, 1957.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Több tömegből álló rendszer torzióslengésének követéséhez szimultán differenciálegyenletek felállítása szükséges, amelynek megoldásánál keletkező determinánsegyenlet, átalakítás után, ennek fokszámánál alacsonyabb fokú determinánsok alkalmazására vezethető vissza. Ha a determinánsegyenletet az ismeretlen hatványai szerint rendezzük, az itt megadott átalakítással ennek fokszáma eggyel csökken.



# HENGERSZIMMETRIKUS BUGÁK FELHEVÍTÉSÉRŐL\*

## IV. HENGERSZIMMETRIKUS HŐÁTADÁSI FOLYAMAT VIZSGÁLATA HŐMÉRSÉKLETTŐL FÜGGŐ TERMIKUS PARAMÉTEREKKEL

BORBÉLY SAMU

LEV. TAG.

[Beérkezett 1959. január 23-án]

Első dolgozatunkban\*\* egy — végső eredményében eléggé durva — közelítő megoldást adtunk meg, sugaraikhoz képest igen hosszú, hengeres testek nagy hőmérsékleti intervallumban történő felhevítésének számítására, hőmérséklettől függő termikus paraméterek mellett. I. alapján nyilvánvalóvá vált — s ennek kimutatása volt a gyakorlatilag inkább kvalitatívnak nevezhető bevezető vizsgálatunk célja —, hogy nagy hőmérsékleti intervallumban történő hevítésnél a termikus paraméterek hőmérsékleti függése a folyamat matematikai vizsgálatakor lényegesen figyelembe veendő. Az alábbiakban ennek a kérdésnek mindkét gyakorlati peremérték feltétellel (I. I. és II.) pontosabb és számítástechnikailag is egyszerűbben kezelhető, különösképpen egyszerűbben ellenőrizhető közelítését fogjuk megadni.

A fizikai tartalmú feltételeinket illetőleg a matematikai megoldás (közelítő) szakaszos illesztésének és a termikus paraméterek szakaszokon belüli lineáris approximációjának gondolatmenetét és feltételeit az I. 1-ben kifejtettek szerint a továbbiakban is alapul vesszük. Példaképpen  $2R = 8$  cm átmérőjű, próbadarabjaink anyagi összetételéhez legközelebb álló 0,23% C- és 0,64% Mn-tartalmú  $\gamma = 7704$  Kg/m<sup>3</sup> fajsúlyú acélhenger felhevítésének lényegesebb számítási adatait is megadjuk.

Az I. jelöléseivel szemben kisebb változtatásokat eszközölünk. Gyakorlatilag célszerűbbnek látszott az alapegyenletek átalakításánál a  $\vartheta(r, t) = \vartheta_0 + (\vartheta_k - \vartheta_0)u(r, t)$  transformáció felhasználása, mely azonban a meghatározó  $A_i$  differenciálegyenletünkben nem okoz változást. Hasonlóképpen egyszerűbb közvetlenül a megfelelően meghatározott  $H(w)$  és  $A(w)$  függvényeket rögtön a

$$H_i(w) = h_{0i} + h_{1i} w \quad \text{és} \quad A_i(w) = a_{0i} + a_{1i} w$$

\* BORBÉLY SAMU (Műszaki Egyetem, Budapest), CZIBERE TIBOR (Ganz-Mávag, Budapest) és MASCHKE TIVADAR (Gamma Optikai Művek, Budapest) hővezetési munkaközösségének közleménye.

\*\* A következőkben I (MTA VI. O. K. 24 [1959] 7/22) II. és III. (MTA VI. O. K. 24 [1959] 23/32., 33/42.) jelöléssel idézzük.



közelítésekkel approximálni (1a. és b. táblázat).<sup>\*</sup> Ezek szerint

1a. táblázat

$\vartheta C^0$	w	H(w)	A(w)
20	1,0000	69,1444	19,3258
80	0,9024	68,6829	20,3542
100	0,8708	68,4662	20,6970
140	0,8078	67,9158	21,6367
200	0,7139	66,7294	23,0462
300	0,5648	63,4622	26,2636
400	0,4257	57,9545	30,8411
500	0,2968	49,3604	37,1085
600	0,1797	36,6981	46,5775
700	0,0741	18,8499	65,3263
736,8	0,0400	13,0000	85,0000
750	0,0271	8,5000	103,5880
780	0,0	0,0	73,6030

1b. táblázat

$\vartheta C^0$ intervallum	$h_{0i}$	$h_{1i}$	$a_{0i}$	$a_{1i}$
20 — 80	64,414	4,730	29,866	-10,540
80 —140	60,580	8,103	32,579	13,547
140 —200	57,640	12,637	33,763	15,013
200 —300	51,088	21,910	38,449	21,576
300 —400	41,090	39,614	44,857	32,923
400 —500	29,576	66,659	51,536	48,612
500 —600	17,268	108,128	61,107	80,859
600 —700	6,317	169,074	78,492	177,606
700 —736,8	0,0	254,292	108,059	576,483
736,8 —750			142,664	-1441,601
750 —780			73,603	+1105,217

a harmadik peremfeltétellel a folyamatot leíró egyenleteink

$$A_i) \frac{\partial^2 w_i}{\partial \varrho^2} + \frac{1}{\varrho} \frac{\partial w_i}{\partial \varrho} = (1 + \alpha_i w_i) \frac{\partial w_i}{\partial t}; \quad B_i) \left. \frac{\partial w_i}{\partial \varrho} \right|_{\varrho=1} = -(p_i + q_i w_i) \Big|_{\varrho=1}$$

$$C_0) w_1(\varrho, 0) = 1, \quad C_i) w_i(\varrho, \bar{\tau}_i) = w_{i+1}(\varrho, \bar{\tau}_i), \quad C_n) w_n(\varrho, \infty) = 0,$$

$$\text{ahol} \quad \alpha_i = \frac{a_{1i}}{a_{0i}}, \quad p_i = R \frac{h_{0i}}{U_m}, \quad q_i = R \frac{h_{1i}}{U_m}, \quad R\varrho = r, \quad R^2 a_{0i} \tau = t.$$

(2. táblázat.)

<sup>\*</sup> A számításokat HOFFMANN ANDOR közreműködésével elsősorban MASCHKE TIVADAR végezte, mindig legalább két (de adott esetben több) biztonsági jegy továbbvitelével, amelyeknek fizikai értéke természetesen illuzorikus, számítástechnikailag azonban (alapszámításról lévén szó) indokolt.

2. táblázat

$\vartheta$ C° intervallum	$a_i$	$p_i$	$q_i$
20 — 80	— 0,3529	0,0706	0,0052
80 —140	0,4158	0,0664	0,0088
140 —200	0,4446	0,0632	0,0139
200 —300	0,5612	0,0559	0,0240
300 —400	0,7339	0,0483	0,0434
400 —500	0,9433	0,0324	0,0731
500 —600	1,3232	0,0189	0,1185
600 —700	2,2627	0,0069	0,1853
700 —736,8	5,3349	} 0,0	} 0,2787
736,8—750	—10,1049		
750 —780	+15,0159		

Első dolgozatunkban a klasszikus ( $a = 0$ ) esettel szemben  $a_i$  behatását egy korrektúratag bevezetésével igyekeztünk figyelembe venni. A továbbiakban azonban kitűnt, hogy a differenciálegyenlet linearizálása megfelelő középérték bevezetésével az előbbinél sokkal célszerűbben is megtörténhetik oly módon, hogy az A.) differenciálegyenlet  $1 + a_i w_i(\varrho, \tau)$  tényezőjébe a meghatározandó  $w_i(\varrho, \tau)$  függvénynek a henger keresztmetszetére vonatkozó (helyi)  $\tilde{w}_i = \varphi_i(\tau)$  középértékét helyettesítjük, amely az  $\int_{\varrho=0}^1 w_i(\varrho, \tau) \varrho d\varrho = \frac{1}{2} \varphi_i(\tau)$  értelmzés szerint adódik.

A  $\varphi_i(\tau)$  középérték felhasználásával az egzakt A.) differenciálegyenlet helyett közelítőleg az A.)  $\frac{\partial^2 w_i}{\partial \varrho^2} + \frac{1}{\varrho} \frac{\partial w_i}{\partial \varrho} (1 + a_i \varphi_i(\tau)) \frac{\partial w_i}{\partial \tau}$  linearizált közelítő differenciálegyenletet szemléljük, melynek

$$w_i(\varrho, \tau) = W_{i0} + \sum_{k=1}^{\infty} W_{ik} J_0(v_{ik} \varrho) e^{-v_{ik} \tau} \int_{\tau=\tau_0}^{\tau} \frac{d\tau}{1 - a_i \varphi_i(\tau)}$$

megoldásával az összes mellékfeltételek kielégíthetők.

$B_i$ )-ből ugyanis következik  $W_{i0} = -\frac{p_i}{q_i}$  és a változatlan  $v_{ik} J_1(v_{ik}) = q_i J_0(v_{ik})$  sajátértékegyenlet,  $C_0$ ) alapján az első szakasz közelítő megoldásának együtthatói adódnak,  $C_i$ )-ből pedig az egymást intervallumonként követő, az intervallumhatárokon egymáshoz közelítően illeszkedő megoldások együtthatói sorra meghatározhatók. Az időbeli végfeltétel  $C_n$ ) az I. 2.-vel azonos gondolatmenet alapján a  $h_{0n} = 0$  feltételű közelítés, illetve  $p_n = 0$  miatt szintén teljesül.

Eszerint tehát közelítő megoldásaink

$$w_1(\varrho, \tau) = -\frac{p_1}{q_1} + 2(p_1 + q_1) \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_0(v_{1k}\varrho)}{J_0(v_{1k})(v_{1k}^2 + q_1^2)} e^{-v_{1k}^2 \int_{\tau=0}^{\tau} \frac{d\tau}{1 + \alpha_1 \varphi_1(\tau)}}, \quad 0 \leq \tau \leq \tau_1$$

$$w_i(\varrho, \tau) = -\frac{p_i}{q_i} + \sum_{k=1}^{\infty} W_{ik} J_0(v_{ik}\varrho) e^{-v_{ik}^2 \int_{\tau=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\tau}{1 + \alpha_i \varphi_i(\tau)}}, \quad \bar{\tau}_{i-1} \leq \tau \leq \bar{\tau}_i,$$

ahol 
$$W_{i\lambda} = 2 \frac{p_{i-1} q_i - p_i q_{i-1}}{q_{i-1}} \frac{1}{J_0(v_{i\lambda})(v_{i\lambda}^2 + q_i^2)} + 2(q_{i-1} -$$

$$- q_i) \frac{v_{i\lambda}^2}{J_0(v_{i\lambda})(v_{i\lambda}^2 + q_i^2)} \sum_{k=1}^{\infty} W_{i-1,k} \frac{J_0(v_{i-1,k})}{(v_{i-1,k}^2 - v_{i\lambda}^2)} e^{-v_{i-1,k}^2 \int_{\tau=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\tau}{1 + \alpha_{i-1} \varphi_{i-1}(\tau)}}, \quad i \geq 2.$$

A középértékeket meghatározó egyenletek pedig :

$$\varphi_1(\tau) = -\frac{p_1}{q_1} + 4(p_1 + q_1) q_1 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{v_{1k}^2 (v_{1k}^2 + q_1^2)} e^{-v_{1k}^2 \int_{\tau=0}^{\tau} \frac{d\tau}{1 + \alpha_1 \varphi_1(\tau)}},$$

illetőleg

$$\varphi_i(\tau) = -\frac{p_i}{q_i} + 2q_i \sum_{k=1}^{\infty} W_{ik} \frac{J_0(v_{ik})}{v_{ik}^2} e^{-v_{ik}^2 \int_{\tau=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\tau}{1 + \alpha_i \varphi_i(\tau)}}.$$

A középértékek függvényeinek numerikus előállítása iteratív úton történik. Az általunk számított gyakorlati esetekben a  $\varphi_i(\bar{\tau}_{i-1})$  állandó értékből (illetve megfelelő számtani középértékekből) kiindulva két, max. három iterációs lépéssel  $\varphi_i(\tau)$  már kellő pontossággal meghatározható. A keletkező integrálokat műszerileg, vagy ha ily módon a pontosság nem kielégítő, tabellárisan kell meghatározni.\*

Sok gyakorlati esetben  $q_i \ll 1$ , s ezzel az igen kedvező  $0 < v_{i1} \ll 1 < v_{i2} < \dots$  nagyságrendi reláció adódik, ami a számítás egészét lényegesen egyszerűsíti (3. táblázat). Ebben az esetben, ha a  $\tau \bar{\tau}_{i-1}$ -hez képest gyakorlatilag eléggé nagy, a középértékek sorainak első exponenciális tagja túlnyomó, a kiinduló  $\varphi_{i0}(\tau)$  közelítést tehát az ily módon adódó

$$\frac{d\varphi_{i0}(\tau)}{d\tau} = -v_{i1}^2 \left( \varphi_{i0}(\tau) + \frac{p_i}{q_i} \right) \frac{1}{1 + \alpha_i \varphi_{i0}(\tau)}$$

\* A műszeres integrálást a Miskolci Műszaki Egyetem Matematika Tanszékétől kölcsönzött OTT-féle 254 típusú integriméterrel végeztük el. Sajnálatos, hogy kombinált műszeres-grafikus kiértékelésre nem tudtam egy korszerű CORADI-integrárfot felkutatni.

3. táblázat

$q_i$	0,005186	0,008809	0,013850	0,024014	0,043416	0,073060	0,118512	0,185308	0,278712
$\frac{x=1}{1}$	0,10178	0,13261	0,16615	0,21850	0,29307	0,37879	0,47973	0,59495	0,72135
2	3,83306	3,83401	3,83532	3,83797	3,84302	3,85072	3,86250	3,87973	3,90364
3	7,01633	7,01684	7,01756	7,01901	7,02172	7,02599	7,03245	7,04195	7,05518
$\vartheta$ C° interv.	20—80	80—140	140—200	200—300	300—400	400—500	500—600	600—700	700—780



differenciálegyenlet

$$\begin{aligned} \alpha_i [\varphi_{i0}(\tau) - \varphi_{i0}(\bar{\tau}_{i-1})] + \left(1 - \alpha_i \frac{P_i}{q_i}\right) \ln \frac{\varphi_{i0}(\tau) + \frac{P_i}{q_i}}{\varphi_{i0}(\bar{\tau}_{i-1}) + \frac{P_i}{q_i}} = \\ = -\nu_{i1}^2 (\tau - \bar{\tau}_{i-1}) \end{aligned}$$

megoldásából tabellárisan igen könnyen lehet meghatározni. Ezzel azonban az exponensben fellépő

$$\int_{\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\tau}{1 + \alpha_i \varphi_{i0}(\tau)} = -\frac{1}{\nu_{i1}^2} \ln \frac{\varphi_{i0}(\tau) + \frac{P_i}{q_i}}{\varphi_{i0}(\bar{\tau}_{i-1}) + \frac{P_i}{q_i}} \quad \text{integrál is}$$

tabellárisan már meghatározott, s így az iterációt csekély előkészítő munka árán lényegében már a  $\varphi_{i1}(\tau)$  közelítéssel lehet kezdeni. Ugyanezen nagyságrendi reláció alapján az egyes hevítési intervallumokban érvényes teljes felhevítési idők meghatározásakor is jó közelítéssel a  $w_i$  függvények sorbafejtésének első exponenciális (hibameghatározással együtt max. három) tagjára szorítkozhatunk. Ekkor, miután az exponensben álló  $\int_{\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \dots$  integrál a  $\varphi_i$  függvénynek az intervallumok szélein felvett értékeivel meghatározott, csupán a  $\varphi_i(\bar{\tau}_{i-1})$  és  $\varphi_i(\tau_i)$  értékek számítása szükséges. Ellenőrizni lehet (és esetleg kell) a  $\varphi_{i0}(\tau)$ -ból kiinduló iterációval a közelítésnek (főleg a kiinduló közelítésnek esetleg máris kielégítő) pontosságát. A  $\bar{\tau}_i$  időértékek közvetlen  $\tau$  ( $> \bar{\tau}_i$ ) környezetében viszont természetesen több sorbafejtési tag figyelembevételre szükséges, ami a keresztmetszetszeli hőmérsékleteloszlás számítását körülményesebbé teszi.

Megjegyezzük, hogy megoldási rendszerünkben a próbatest átlaghőmérsékletének meghatározására szolgáló egzakt közönséges elsőrendű differenciálegyenlet is származtatható, mely azonban általában zárt alakban nem oldható meg.

A termikus paraméterek lineáris approximációja-, és az  $A$ .) differenciálegyenletben az időfüggőség korrigált (a középértékkel történő) figyelembevétel miatt elvárható, hogy közelítésünk az átlagos felhevítési időt a tényeknek megfelelőbben reprodukálja, mint a klasszikus feltételű elmélet. Ezt méréseink is igazolták. A hőmérsékleteloszlás helybeli függésének részbeni (tehát az  $1 + \alpha_i w_i(\rho, \tau)$  tényezőből történő) kiiktatása miatt, ugyanez a keresztmetszetszeli számított hőmérsékleteloszlásnál nem tételezhető fel minden további nélkül. A  $\varphi_i(\tau)$  középértékekkel számított keresztmetszetszeli hőmérsékleteloszlás  $w_i^{(0)}(\rho, \tau)$  első közelítésének elvi és gyakorlati pontosságát azonban

ellenőrizhetjük azzal, hogy a  $\varrho = 0$ , illetve 1 szélsőséges esetekben a valódi felhevítési folyamatot a  $\varrho = 0$ , illetve 1 metszetekben a kiinduló  $\varphi_i(\tau)$ -nál jobban reprodukáló  $w_i^{(0)}(0, \tau) = \varphi_{i0}^{(0)}(\tau)$ , illetve  $w_i^{(0)}(1, \tau) = \varphi_{i0}^{(1)}(\tau)$  függvényekkel határozzuk meg az új (iterált)  $w_i^{(1)}(\varrho, \tau)$  hőmérsékleti függvényt (4. táblázat). Ez az iteráció a felhevítés legkritikusabb (kezdeti) szakaszában is

4. táblázat

$\tau$	$\varphi_i(\tau)$ Kiinduló közelítés	$w_i^{(0)}(0, \tau) \approx \varphi_{i0}^{(0)}(\tau)$	$w_i^{(1)}(0, \tau) \approx \varphi_{i1}^{(0)}(\tau)$	$w_i^{(0)}(1, \tau) \approx \varphi_{i0}^{(1)}(\tau)$	$w_i^{(1)}(1, \tau) \approx \varphi_{i1}^{(1)}(\tau)$
0,04292	0,990	0,99957	0,99958	0,97506	0,97510
0,08609	0,980	0,99531	0,99518	0,96264	0,96266
0,12939	0,970	0,98746	0,98737	0,95162	0,95186
0,17306	0,960	0,97831	0,97812	0,94129	0,94161
0,21662	0,950	0,96863	0,96841	0,93117	0,93168
0,26119	0,940	0,95874	0,95833	0,92112	0,92165
0,30566	0,930	0,94877	0,94826	0,91112	0,91174
0,34400	0,9214	0,94018	0,93961	0,90253	0,90325

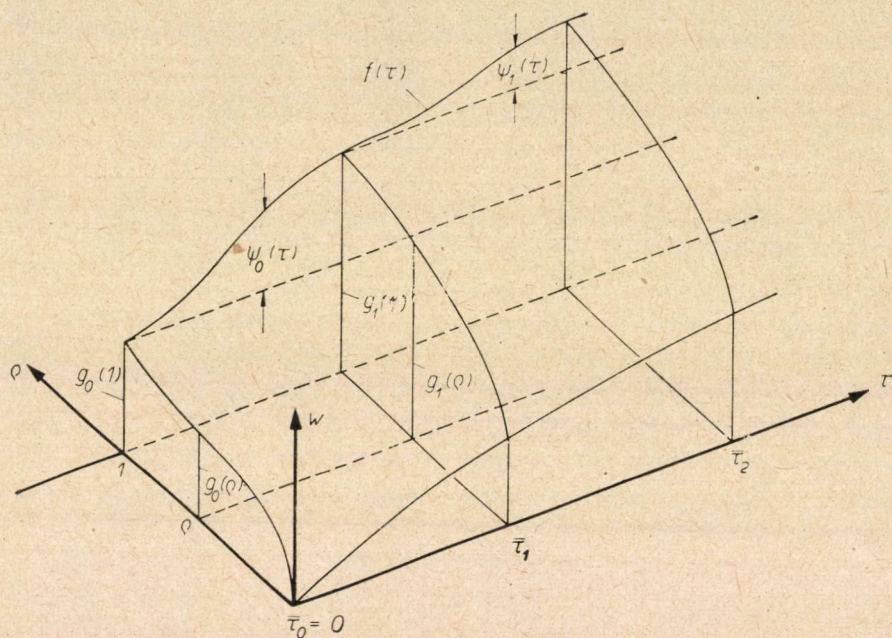
átlagosan csak ezrelékes korrektúrákat adott, gyakorlatilag tehát már a nulladrendű középértékekre alapozott számítás is kielégítően pontos. Sőt csupán az átlag-felhevítési idő meghatározásakor már a  $\tilde{w}_i = \varphi_i(\tau)$  átlag-felhevítési függvény is a klasszikusnál lényegesen jobb közelítésként használható. Hasonlóképpen átlag kb. 3% eltérést mutat a  $\varrho = 1$  felszíni, illetőleg  $\varrho = 0$  szimmetria-szálnál történő csatlakozással számított hőmérsékleti mező is. Ez a csatlakozási feltételben előforduló fizikai tartalmú hiba elviselhető voltát igazolja. Ezen kettős kontrollal adódó, gyakorlatilag kicsiny értékeltérések igazolják feltételeinknek és ezzel közelítő módszerünknek használhatóságát (5. táblázat).

5. táblázat

$\bar{\vartheta}$ C°	Felületi $\varrho=1$ csatlakozással a $\vartheta(1, t) = \bar{\vartheta}_i$ , $t = \bar{t}_i$ egyenlet szerint		Belső $\varrho=0$ csatlakozással a $\vartheta(0, t) = \bar{\vartheta}_i$ egyenlet szerint ebből $\bar{t}_i$ kiszámítva		
	$t = \bar{t}_i$ perc	$\vartheta(0, t)$ C°	$t = \bar{t}_i$ perc	$\vartheta(1, t)$ C°	$\vartheta(1, t) = \bar{\vartheta}_i$ szerint
80	0,986	56,6	1,477	103,9	0,986
140	2,181	116,7	2,693	163,4	2,176
200	3,577	176,6	4,131	223,6	3,578
300	6,017	275,8	6,840	324,4	6,015
400	8,705	375,3	9,673	424,3	8,930
500	12,289	478,1	13,367	521,9	12,471
600	17,356	582,0	18,658	617,6	17,527
700	27,372	689,6	29,128	709,5	27,528
745	39,188	740,5	41,696	748,9	39,322
750	42,285	747,3	44,983	753,3	42,423
760	51,065	757,7	53,474	762,5	51,180
770	62,327	768,6	64,505	771,3	62,444
779	95,270	778,9	97,239	779,1	95,388

Az első peremfeltétel esetén az  $A.$ ) differenciálegyenlet megoldása a hevített henger felszínének kimért  $f(\tau)$  hőmérsékletével, tehát a  $w(1, \tau) = f(\tau)$  peremfeltétellel és a  $w(\varrho, 0) = g(\varrho)$ ,  $0 \leq \varrho \leq 1$  kezdeti feltétellel meghatározott, ahol  $f(0) = g(1)$ .

A  $w = 0 \dots 1$  felhevítési intervallumnak a  $\bar{w}_\lambda$ ,  $\lambda = 0, 1, 2, \dots, n$  értékekkel kijelölt szakaszbeosztásával és a termikus függvények linearizációjával I. 1.-nek megfelelően az  $A.$ ) közelítő differenciálegyenlet (időbeli) nagyobb vagy kisebb  $w_i(\varrho, \tau)$ ,  $\bar{\tau}_{i-1} \leq \tau \leq \bar{\tau}_i$  rész megoldásai a  $w_1(\varrho, 0) = g(\varrho) \equiv g_0(\varrho)$  kezdeti feltétellel, a  $w_i(\varrho, \bar{\tau}_i) = w_{i+1}(\varrho, \bar{\tau}_i)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n-1$  csatlakozási feltétellel és a  $w_i(1, \tau) = f(\tau)$ ,  $\tau \geq \bar{\tau}_{i-1}$  peremfeltétellel meghatározottak, ahol  $g_{i-1}(1) = f(\bar{\tau}_{i-1})$ .



1. ábra

Ezen feltételeknek lineáris szuperpozícióval történő kielégítése céljából az egyes szakaszok rész megoldásait ismert módon felbontjuk :

$w_i(\varrho, \tau) = u_i(\varrho, \tau) + v_i(\varrho, \tau)$  és az első szakaszban a

$$C_11) \quad u_1(\varrho, 0) = g_0(\varrho),$$

$$C_12) \quad v_1(\varrho, 0) = 0$$

$$B_11) \quad u_1(1, \tau) = g_0(1),$$

$$B_12) \quad v_1(1, \tau) = f(\tau) - g_0(1) \equiv \psi_0(\tau),$$

$$\tau \geq 0, \psi(0) = 0$$

kezdeti- és peremfeltételeket rójuk ki a két részfüggvényre (1. ábra). Az első felosztási intervallumhoz tartozó (legnagyobb, legkisebb vagy átlag)  $\bar{\tau}_1$  idő-

értékkel vagy általában a  $\bar{\tau}_i$  időértékekkel a második, illetve  $(i + 1)$ -edik intervallumban  $(i = 1, 2, \dots, n - 1)$  a

$$C_i 1) u_i(\varrho, \bar{\tau}_i) \equiv g_i(\varrho) = u_{i+1}(\varrho, \bar{\tau}_i), \quad C_i 2) v_{i+1}(\varrho, \bar{\tau}) = 0$$

$$B_i 1) u_{i+1}(1, \tau) = g_i(1)$$

$$B_i 2) v_{i+1}(1, \tau) = f(\tau) - g_i(1) \equiv \psi_i(\tau), \quad \tau \geq \bar{\tau}_i, \quad \psi_i(\bar{\tau}_i) = 0$$

csatlakozási (azaz kezdő-), illetve peremfeltételeket írjuk elő. Az  $A^*$  közelítő differenciálegyenletnek már felhasznált szorzati megoldásával  $B_i$ -ből  $U_{i0} = g_{i-1}(1)$  és a  $J_0(v_k) = 0$  sajátértékegyenlet adódik, az

$$\int_{\varrho=0}^1 \varrho J_0(v_k \varrho) J_0(v_\lambda \varrho) d\varrho = \begin{cases} 0 & , k \neq \lambda \\ 1/2 J_1(v_k) & , k = \lambda \end{cases}; \quad \int_{\varrho=0}^1 \varrho J_0(v_k \varrho) d\varrho = \frac{J_1(v_k)}{v_k}$$

integrálok segítségével pedig  $C_i 1)$  alapján a sorok többi együtthatói határozhatók meg. Eszerint tehát

$$u_i(\varrho, \tau) = g_{i-1}(1) - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \int_{\varrho=0}^1 [g_{i-1}(1) - g_{i-1}(\varrho)] J_0(v_k \varrho) \varrho d\varrho \right\} \frac{J_0(v_k \varrho)}{J_1^2(v_k)} e^{-v_k^2 \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\xi}{1 + \alpha \psi_i(\xi)}}$$

$v_i(\varrho, \tau)$  feltételeinek kielégítése céljából bevezetjük a

$w_e(\varrho, \tau; \tau_\lambda)$  ún. egységmegoldást, mely a

$$w_e(\varrho, \tau_\lambda; \tau_\lambda) = 0 \quad \text{vagy, ha} \quad \begin{cases} \tau > \tau_\lambda \geq \bar{\tau}_{i-1} \\ \tau < \tau_\lambda \end{cases} \quad \text{a} \quad w_e(1, \tau; \tau_\lambda) = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

feltételeknek tesz eleget.

Az előbbieket szerint

$$w_e(\varrho, \tau; \tau_\lambda) = 1 - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_0(v_k \varrho)}{v_k J_1(v_k)} e^{-v_k^2 \int_{\xi=\tau_\lambda}^{\tau} \frac{d\xi}{1 + \alpha \psi_i(\xi)}}$$

tehát szuperpozíció és a  $\tau_0 = \bar{\tau}_{i-1}, \tau_m = \tau, \tau_\lambda = \bar{\tau}_{i-1} + \lambda \frac{\tau - \bar{\tau}_{i-1}}{m}$  felosztás alapján végzett határátmenet segítségével kapjuk a

$$v_i(\varrho, \tau) = \lim_{m \rightarrow \infty} \sum_{\lambda=1}^m [\psi_{i-1}(\tau_\lambda) - \psi_{i-1}(\tau_{\lambda-1})] w_e(\varrho, \tau; \tau_\lambda) = \int_{x=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\psi_{i-1}(x)}{dx} w_e(\varrho, \tau; x) dx$$



megoldást. Ily módon adódik

$$w_i(\varrho, \tau) = f(\tau) - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \int_{\varrho=0}^1 [g_{i-1}(1) - g_{i-1}(\varrho)] J_0(v_k \varrho) \varrho d\varrho \right\} \frac{J_0(v_k \varrho)}{J_1^2(v_k)} e^{-v_k^2 \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_0(v_k \varrho)}{v_k J_1(v_k)} \int_{x=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\psi_{i-1}(x)}{dx} e^{-v_k^2 \int_{\xi=x}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} dx.$$

Ha feltételezzük, hogy a próbatest kezdeti hőmérséklete állandó, tehát  $g_0(\varrho) \equiv g(1)$  és felhasználjuk a kettős integrációk exponensében az

$$\int_{\xi=x}^{\tau} = \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} - \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^x$$

szétbontást, kapjuk a

$$w_1(\varrho, \tau) = f(\tau) - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_0(v_k \varrho)}{v_k J_1(v_k)} e^{-v_k^2 \int_{\xi=0}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} \int_{x=0}^{\tau} \frac{d\psi_0(x)}{dx} e^{v_k^2 \int_{\xi=0}^x \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} dx$$

$$w_i(\varrho, \tau) = f(\tau) - 2 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{J_0(v_k \varrho)}{v_k J_1(v_k)} e^{-v_k^2 \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} \left[ g_{i-1}(1) + \int_{x=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\psi_{i-1}}{dx} e^{v_k^2 \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^x \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} dx \right] +$$

$$+ 2 \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \int_{\varrho=0}^1 g_{i-1}(\varrho) J_0(v_k \varrho) \varrho d\varrho \right\} \frac{J_0(v_k \varrho)}{J_1^2(v_k)} e^{-v_k^2 \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}}$$

megoldásokat, és a középértékeket meghatározó

$$\varphi_1(\tau) = f(\tau) - 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{v_k^2} e^{-v_k^2 \int_{\xi=0}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} \int_{x=0}^{\tau} \frac{d\psi_0}{dx} e^{v_k^2 \int_{\xi=0}^x \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} dx$$

$$\varphi_i(\tau) = f(\tau) - 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{v_k^2} e^{-v_k^2 \int_{\xi=0}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} \left[ g_{i-1}(1) + \int_{x=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\psi_{i-1}}{dx} e^{v_k^2 \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^x \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}} dx \right] +$$

$$+ 4 \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{v_k J_1(v_k)} \left\{ \int_{\varrho=0}^1 g_{i-1}(\varrho) J_0(v_k \varrho) \varrho d\varrho \right\} e^{-v_k^2 \int_{\xi=\bar{\tau}_{i-1}}^{\tau} \frac{d\xi}{1+\alpha_1 \varphi_1(\xi)}}$$

egyenleteket. Látható, hogy az  $u_i(\varrho, \bar{\tau}_{i-1}) = g_{i-1}(\varrho)$  feltételből a  $\varphi_i(\bar{\tau}_{i-1}) = \int_0^1 g_{i-1}(\varrho) \varrho d\varrho$  kezdőérték adódik. A megoldások numerikus előállítására a kettős integrációk miatt, valamint a nagyságrendileg túlnyomó sorbafejtési tag hiánya miatt körülményesebb, mint a harmadik peremfeltétel esetén. Mindkét megoldás felhasználásával azonban a próbatest kísérletileg kimért felszíni, illetve központi  $w(1, \tau) = f(\tau)$ ,  $w(0, \tau) = f_0(\tau)$  felhevítési görbéje alapján lehetőség adódik a belső hővezetőképesség felhasznált adatrendszerének ellenőrzésére és a külső hőátadási tényezőnek a tényleges felhevítési folyamatnak megfelelő meghatározására, amennyiben csak a fajhő  $c(\vartheta)$  függvényének empirikusan helyesen meghatározott adatrendszeréből indulunk ki.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Hőmérséklettel változó termikus paraméterekkel, végtelen hosszú henger esetén a hőátadás kérdésének közelítő megoldása a 3. és 1. peremfeltétel alapján, a test (hevítési intervallumonként értelmezett, időbelileg változó) átlaghőmérsékletének felhasználásával.



# HENGERSZIMMETRIKUS BUGÁK FELHEVÍTÉSÉRŐL V.\*

## HENGERSZIMMETRIKUS TESTEK HEVÍTÉSE VÁLTOZÓ HŐMÉRSÉKLETŰ KEMENCÉBEN

MASCHEK TIVADAR

GAMMA OPTIKAI MŰVEK, BUDAPEST

[Beérkezett 1959. január 23-án]

Az állandó hőmérsékletű közegbe helyezett hengerszimmetrikus testek hevítési folyamatait leíró differenciálegyenlet konstans termikus paraméterek feltételezésén alapuló megoldásai ismeretesek. Ez esetben a fajhőt, hővezetőképességet és a felületi hőátadási tényezőt a hőmérséklettől függetlennek tekintik. Nagy hevítési tartományok esetén és főleg akkor, ha a hevítési tartományba a hevített test valamely (allotróp) átalakulásának hőfoka (hőköze) is beleesik, az egész intervallumra vonatkoztatott átlagos termikus paraméterekkel való számítás a hevítési folyamatnak csak durva közelítését szolgáltatja.

Előző közleményeinkben\*\* mind az első, mind a harmadik peremfeltétellel a hővezetési differenciálegyenlet oly közelítő megoldásait adtuk meg, melyek már figyelembe veszik a termikus paraméterek hőmérséklettől való függését. Azonban ezek a megoldások is csak konstans kemencehőmérséklet esetén alkalmazhatók. Ez utóbbi feltétel a gyakorlati hevítések során szinte sohasem teljesül. Hőfokszabályozóval beállított és tartott kemence hőmérséklete is leesik a hevítendő test behelyezésekor és a hőkapacitások viszonyaitól függően hosszabb idő is eltelhet, míg ismét beáll a kemence konstans hőmérséklete. A hevítések legnagyobb részénél az állandó kemencehőmérséklet feltételezése még kevésbé jogosult, mert egyéb okok (pl. hőfeszültség) miatt a hevítések során szándékosan nagymértékben változtatjuk a kemence hőmérsékletét.

A következőkben egy iterációs megoldást adunk (hevítési szempontból) végtelen hosszúnak tekinthető testek hevítésére az időben változó kemencehőmérséklet és a hőmérséklettől függő paraméterek figyelembevételével. Az iteráció egy-egy lépésénél felhasználjuk a hővezetési differenciálegyenlet konstans kemencehőmérsékletre érvényes, IV. közleményünkben ismertetett megoldását. Dolgozatunk jelölései és értelmezései megegyeznek az idézett közleményben használtakkal.

\* BORBÉLY SAMU (Műszaki Egyetem, Budapest), CZIBERE TIBOR (Ganz-Mávag Budapest) és MASCHEK TIVADAR (Gamma Optikai Művek, Budapest) hővezetési munkaközösségének közleménye.

\*\* MTA VI. o. Közleményei: I., 24 (1959) 7/22; II., uo. 23/32; III., uo. 33/42; IV., 25 (Ebben a füzetben; 185/195).



## I. Változó hőmérsékletű közegbe helyezett test hevítési folyamatának meghatározása

Hővezetési szempontból két test (1 és 2) akkor azonos, ha a geometriai azonosságon kívül a fajhő, fajsúly és a hővezetőképesség paramétere is megegyeznek  $[c_1(\vartheta) \equiv c_2(\vartheta); k_1(\vartheta) \equiv k_2(\vartheta); \gamma_1(\vartheta) \equiv \gamma_2(\vartheta)]$ . Melegítsünk ugyanarról a kezdeti hőmérsékletről kiindulva két ilyen hővezetési szempontból azonos testet két különböző eljárással. Pl. az egyik hevítő kemence hőátadása származzék a kemenceatmoszféra hőmérsékletétől és sugárzó energiaátadásból; a másik kemence hőátadása csupán a kemenceatmoszféra hőmérsékletével legyen meghatározva. A test felhevítésének számítása egyszerű módszerekkel csak ez utóbbi esetben lehetséges. Viszont, ha a két test felületének minden egyenlő nagyságú felületelemén minden időpillanatban azonos a beáramló  $Q(t)$  hőmennyiség, a keletkező

$$\vartheta_1(x_i; y_i; z_i; t) \equiv \vartheta_2(x_i; y_i; z_i; t)$$

hőmérsékleteloszlásoknak is meg kell egyezniük. Ekkor a két hevítés egyenértékű. Az egyik hevítés során kialakuló hőmérsékleteloszlást számíthatjuk a másik hevítésre érvényes differenciálegyenlet megoldásból, megfelelően módosított paraméterekkel. Ily módon a változó kemencehőmérsékletű hevítést is visszavezethetjük egyenértékű konstans kemencehőmérsékletű hevítésre. A továbbiakban helytől független, csupán időtől függő, azaz homogén hőmérsékletű  $[\vartheta_K(t)]$  hőleadó közegbe helyezett, ún. homogén felületi hőmérsékletű  $[\vartheta_F(t)]$  testek, mint pl. gömb, végtelen hosszúnak tekinthető henger-szimmetrikus test hevítésével foglalkozunk.

Ilyenkor a felületegységén, időegység alatt beáramló hőmennyiség

$$Q(t) = h(\vartheta_F; \vartheta_K) [\vartheta_K(t) - \vartheta_F(t)],$$

ahol  $h$  kal/m<sup>2</sup>ó.C°, a hőleadó közeg és a felület hőmérsékletétől függő hőátadási tényező. (A beáramló hőmennyiség azonos időpillanatban a felület minden egyenlő nagyságú felületelemén azonos.)

Szemléljük most az 1 és 2 testeket. Az egyiket (1) melegítsük időben változó hőmérsékletű, a másikat (2) állandó hőmérsékletű kemencében úgy, hogy megfelelő  $h_1$  és  $h_2 > 0$  értékek mellett a  $Q(t)$  azonos legyen.

A beáramló hőmennyiségek azonosságát

$$h_1(\vartheta_F; \vartheta_{K1}) [\vartheta_{K1}(t) - \vartheta_F(t)] = h_2[\vartheta_{K2} - \vartheta_F(t)]$$

alakba írhatjuk.

Észerint a  $h_2; k(\vartheta); c(\vartheta); \gamma(\vartheta)$  adatrendszerrel, a  $\vartheta(x; y; z; t = 0) = \vartheta_0$  kezdeti és  $\vartheta(x, y, z, t = \infty) = \vartheta_{K2}$  végfeltételt kielégítő  $\vartheta_{K2}$  konstans

kemencehőmérsékletre érvényes differenciálegyenlet megoldásából számíthatjuk a változó  $\vartheta_{K_1}$  kemencehőmérsékletű hevítés során kialakuló hőmérsékleteloszlást. Az egyenletünkben előforduló  $h_2$  „egyenértékű hőátadási tényező” nem a  $\vartheta_{K_2}$  (kemence) és  $\vartheta_F(t)$  (felületi) hőmérséklethez tartozó tényleges fizikai adat, hanem olyan általunk definiált tényező, mely épp a hőmennyiségek azonosságát biztosítja. A konstans  $\vartheta_{K_2}$  hőmérsékletű kemencének ilyen értékű hőátadási tényezővel kell rendelkeznie, hogy a hevített testben kialakuló hőmérsékleteloszlás azonos legyen a változó  $\vartheta_{K_1}(t)$  kemencehőmérsékletű hevítés során kialakuló hőmérsékleteloszlással.

A hőmennyiségek azonosságát biztosító egyenértékű hőátadási tényező az előbbiel szerint

$$h_2 = \frac{h_1 [\vartheta_F(t); \vartheta_{K_1}(t)] \{ \vartheta_{K_1}(t) - \vartheta_F(t) \}}{\vartheta_{K_2} - \vartheta_F(t)}.$$

Mint külső adatot ismernünk kell (pl. mérés útján) a  $\vartheta_{K_1}(t)$  időbelileg változó kemencehőmérsékletet, nem ismerjük viszont a hevített test tényleg kialakuló  $\vartheta_F(t)$  felületi hőmérsékletét, s ezért kénytelenek vagyunk a  $h_2$  meghatározásánál iterációs módszert alkalmazni.

Szemléljük azt a hevítési folyamatot, melynél a testet ( $t = 0$  időponttal kezdődően) hevítjük az adott  $\vartheta_0 = \vartheta_{k\text{ézdéti}}$  hőmérsékletről a ( $t = T$  időpontban elért)  $\vartheta_{v\text{ég}}$  hőmérsékletre. Most felvesszünk egy állandó  $\vartheta_{K_2} > \vartheta_{v\text{ég}}$  kemencehőmérsékletet. A  $(\vartheta_0; \vartheta_{K_2})$  hevítési tartományt az előző dolgozatban felhasznált felosztáshoz hasonlóan „n” részre bontjuk.

Az első szakasz kezdőpontjában ( $t = 0$ ) ismerjük a  $\vartheta_{K_1}(t = 0)$  kemence és  $\vartheta_F(t = 0) = \vartheta_0$  felületi hőmérsékletet. A  $\vartheta_{K_1}(0)$  és  $\vartheta_F(0) = \vartheta_0$  értékekhez tartozó (tényleges)  $h_1$  értékét vagy számítás, vagy kísérletek alapján összeállított táblázatból kapjuk.\* Pl. Elektromos ellenállásfűtésű hevítés esetén a hőátadás túlnyomó része sugárzás útján történik, tehát a hőátadási tényezőt a sugárzási törvényből számíthatjuk.

$$h_1 [\vartheta_{K_1}(0); \vartheta_F(0)] = \frac{\varepsilon C \left[ \left( \frac{\vartheta_{K_1}(0) + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\vartheta_F(0) + 273}{100} \right)^4 \right]}{\vartheta_{K_1}(0) - \vartheta_F(0)} \quad (\text{kal/m}^2\text{ó. C}^\circ)$$

A  $\vartheta_{K_1}(0); \vartheta_F(0); \vartheta_{K_2}$  és  $h_1(0)$  adatok birtokában kiszámítható  $t = 0$  időpontban az egyenértékű hőátadási tényező.

A  $t = 0$  értékre következő időpontokban nem ismerjük a felület  $\vartheta_F(t)$  hőmérsékletét, így a  $h_2(t)$  értékeit nem tudjuk egy lépésben kiszámítani. Viszont az egyenértékű hőátadási tényezőt lépésről lépésre az egyes szakasz-

\* W. HEILIGENSTAEDT: Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen. Düsseldorf. 3. kiadás, 1951.

határokon ( $\bar{\vartheta}_i$  hőmérsékleteken) meg tudjuk határozni. Az első szakasz felvett véghőmérsékletéhez tartozó  $h_2$  nullarendű közelítésének kiszámításakor feltételezzük, hogy a kemence hőmérséklete az egész intervallumon belül konstans, az ismert  $\vartheta_{K1}(t=0)$  értékű.

A  $\vartheta_{K1}(0)$ ;  $\bar{\vartheta}_1$  alapján az előzőkhöz hasonlóan kiszámíthatjuk  $h_1[\vartheta_{K1}(0)$ ;  $\bar{\vartheta}_1]$  értékét. A  $\vartheta_{K1}(0)$ ;  $\bar{\vartheta}_1$  és  $h_1[\vartheta_{K1}(0)$ ;  $\bar{\vartheta}_1]$  ismeretében az első szakasz végpontjához tartozó egyenértékű hőátadási tényező nullarendű közelítése

$$h_2^{(0)} = \frac{h_1[\vartheta_{K1}(0); \bar{\vartheta}_1] \{ \vartheta_{K1}(0) - \bar{\vartheta}_1 \}}{\vartheta_{K2} - \bar{\vartheta}_1}.$$

A  $h_2[\vartheta_{K1}(0)$ ;  $\vartheta_0]$  és  $h_2^{(0)}[\vartheta_{K1}(0)$ ;  $\bar{\vartheta}_1]$  lineáris megközelítésével most már a  $\vartheta_{K2}$  konstans kemencehőmérsékletre érvényes differenciálegyenlet megoldásából  $[w_1(\varrho; \tau)$ ,  $\varphi_1(\tau)$   $t$ ] meghatározhatjuk a szakasz felső határához tartozó  $t_1^{(0)}$  felhevítési időt, vagyis azt az időt, mialatt a felület hőmérséklete elérte a felvett szakaszhatár  $\bar{\vartheta}_1$  értékét. Ez természetesen nem lesz a pontos felhevítési idő, hanem a változó kemencehőmérséklet nullarendű közelítéséből származó felhevítési idő, amelyet nullarendű közelítésének nevezünk, mert hisz a tényleges  $\vartheta_{K1}(t_1)$  hőmérséklet helyett az egész intervallumban a  $\vartheta_{K1}(t=0)$  konstans kemencehőmérséklettel számítottunk.

Az iteráció második lépésében feltételezzük, hogy a kemencehőmérséklet (legalább intervallumonként) közelítőleg linearizálható. Ily módon a szakasz végpontjában a kemencének a számított  $t_1^{(0)}$  értékekkel meghatározható  $\vartheta_{K1}(t_1^{(0)})$  hőmérséklete az előző  $\vartheta_{K1}(0)$ -hoz viszonyítva a végponthoz tartozó valódi  $\vartheta_{K1}(t_1)$  kemencehőmérsékletnek jobb közelítése. A  $\vartheta_{K1}(t_1^{(0)})$ ;  $\bar{\vartheta}_1$  alapján ismét kiszámítjuk a hőátadási tényezőt ( $h_1[\vartheta_{K1}(t_1^{(0)})$ ;  $\bar{\vartheta}_1]$ ). Felhasználva az így kapott adatokat, meghatározhatjuk

$$h_2^{(1)} = \frac{h_1[\vartheta_{K1}(t_1^{(0)}); \bar{\vartheta}_1] \{ \vartheta_{K1}(t_1^{(0)}) - \bar{\vartheta}_1 \}}{\vartheta_{K2} - \bar{\vartheta}_1}$$

tényező elsőrendű közelítését.

Az egyenértékű hőátadási tényező elsőrendű közelítésével a konstans kemencehőmérsékletre érvényes differenciálegyenlet megoldásából számíthatjuk a felső szakaszhatárhoz tartozó felhevítési idő  $t_1^{(1)}$  elsőrendű közelítését.

Megismételve az iterációs lépést, mind pontosabb eredményt kapunk az egyenértékű hőátadási tényezőre, illetve a felhevítési időre. Az első szakasz iterációját befejezzük, ha gyakorlatilag  $\vartheta_{K1}(t_1^{(i)}) \cong \vartheta_{K1}(t_1^{(i+1)})$ .

A második szakasz kezdőpontjában érvényes  $\vartheta_{K1}$  és  $\vartheta_F$  hőmérsékleteket csatlakoztatjuk az első szakasz végpontjának  $\vartheta_{K1}(t_1^{(i+1)})$ ;  $\vartheta_F(t_1^{(i+1)})$  hőmérsékleteihez, így tehát az első szakasz iterációjának befejeztével a második szakasz kezdőpontjában a felület és kemence hőmérséklete, illetve az egyenértékű

hőátadási tényezője ismert. A második szakasz végpontjához tartozó  $h_2$  kiszámításánál az első lépésben (nullarendű közelítés) ismét feltételezzük, hogy a kemence hőmérséklete az intervallumon belül nem változik [ $\vartheta_{K1} = \vartheta_{K1}(t_1^{(i+1)})$ ]. Ezzel a feltételezéssel most az előbbieknél teljesen megfelelően számítható  $t_2^{(0)}$  nullarendű közelítése stb. Az első szakaszhoz hasonlóan az iterációs lépések számának növelésével mind pontosabb értéket kapunk az egyenértékű hőátadási tényezőre, azaz a felhevítési időre.

Így szakasról szakaszra előrehaladva meghatározhatjuk az egész hevítési tartományon belül a felhevítési időket.

## II. Alkalmazás

Az előzőekben ismertetett számítást bemutatjuk egy konkrét hevítési folyamat meghatározásával.

Elektromos ellenállásfűtésű kemencében 80 mm átmérőjű, a hevítés szempontjából végtelen hosszúnak tekinthető hengerszimmetrikus acélest hevítését vizsgáljuk. A választott acél kémiai összetétele: 0,20% C; 0,18% Cr; 0,28% Ni; 0,42% Mn és 0,19% Si. A test felületi állapota: nyers hengerlési felület. A kiinduló hőmérséklet  $\vartheta_0 = 20^\circ\text{C}$ , az egész keresztmetszetben konstans. A hevítési folyamatot addig vizsgáljuk, míg a test felülete el nem éri a  $\vartheta_{\text{vég}} = \vartheta_F(T) = 770^\circ\text{C}$  hőmérsékletet.

A számításaink lefolytatásához természetesen ismernünk kell a kemence hőmérséklet (időbelileg változó)  $\vartheta_{K1}(t)$  függvényét. Ennek  $\vartheta_{K1}(t_i)$  értékeit gyakorlatilag mértük.

### 1. Mérések

Ka 2 típusú 5 kW-os ellenállásfűtésű kemencében hevítettük a fenti próbatestet. A kemence adottságainál fogva nem tudtuk teljes mértékben azokat a feltételeket biztosítani, amelyeket később számításaink egyszerűsítése céljából figyelembe kellett vennünk:

a) A munkadarabot (próbatestet) a hőkicserélődés számításának szempontjából végtelen hosszúnak tekintettük. Ez a feltétel gyakorlatilag kielégül, ha a kérdéses test hossza legalább hatszorosa átmérőjének.\* A 80 mm átmérő mellett tehát legalább 480 mm hosszú munkadarabbal kellett volna kísérleteznünk. A rendelkezésünkre álló kemence belső méretei miatt azonban munkadarabunk hosszát csak 240 mm-nek tudtuk választani.

b) Méréseink során a kemence hőmérséklete nemcsak időtől, hanem a helytől is függött, holott számításainknál feltételeztük a hevítési tér homogenitását.

\* J. КОПИРОВ: Hőgazdasági és hőtechnikai kérdések a vasipari kemencéknél. Nehézipari Könyvkiadó Budapest, 1951. (Ford.)



A hevítés alatt három hőelemmel egyidejűleg mértük a kemence atmoszférájának  $\vartheta_{K1}(t_i)$ , a test középpontjának  $\vartheta_B(t_i)$  és a felületének  $\vartheta_F(t_i)$  hőmérsékletét. (A két utóbbi adatrendszert a számítások ellenőrzésére használtuk fel.)

A kiegyenlített mérési eredményeket az I. táblázat tartalmazza.

I. táblázat

Kemencehőmérséklet [ $\vartheta_{K1}(t_i)$ ]; a próbatest felületi [ $\vartheta_F(t_i)$ ] és középponti(\*) [ $\vartheta_B(t_i)$ ] hőmérséklete

t/perc	$\vartheta_{K1}$	$\vartheta_F$	$\vartheta_B$	t/perc	$\vartheta_{K1}$	$\vartheta_F$	$\vartheta_B$	t/perc	$\vartheta_{K1}$	$\vartheta_F$	$\vartheta_B$
0	929	20	20	28	724	669	636	56	768	745	737
2	792	244	79	30	730	680	651	58	769	747	739
4	726	329	185	32	735	689	663	60	770	749	741
6	694	379	257	34	740	697	674	65	772	753	747
8	686	421	315	36	744	705	685	70	773	757	751
10	666	459	365	38	748	712	694	75	774	760	754
12	664	493	408	40	752	718	702	80	774	763	758
14	666	524	447	42	755	723	708	85	775	765	760
16	675	552	483	44	758	727	713	90	776	766	762
18	686	577	516	46	760	730	717	105	778	768	765
20	695	600	545	48	762	734	722	120	779	770	767
22	704	621	572	50	764	737	726				
24	712	640	597	52	766	740	730				
26	718	655	618	54	767	743	734				

\* A „középponti” hőmérséklet alatt  $\infty$  hosszú henger esetén természetesen a henger tengelyének hőmérséklete érteendő. Miután a kísérleti adatok véges hengerre vonatkoznak, nyilvánvalóan a belső szál legmegfelelőbb mérési helye a test középpontja.

## 2. Termikus paraméterek

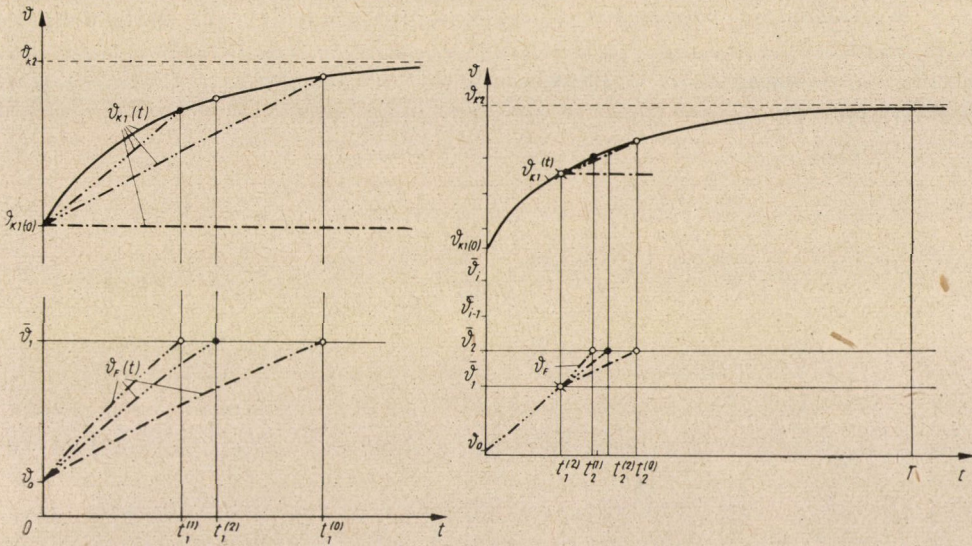
a) *Fajhő, hővezetőképesség.* Rendelkezésünkre álló táblázatokban a vizsgált acél fajhőjének  $c(\vartheta)$  és hővezetőképességének  $k(\vartheta)$  hőmérséklettől függő értékeit nem találtuk meg, s ezért a hevített testhez anyagminőség szempontjából legközelebb álló acél (fajhőnél 0,23% C; 0,635% Mn; hővezetőképesség-nél: 0,23% C; 0,635% Mn; 0,074% Ni és 0,13% Cr) adatrendszerét használtuk fel.

II. táblázat

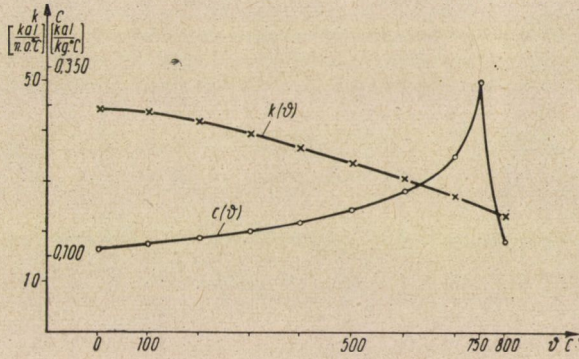
Hővezetőképesség  $k(\vartheta)$  \*

$\vartheta$ [C°]	0	100	200	300	400	500	600	700	800
$k \left[ \frac{\text{kal}}{\text{m. ó. C}^\circ} \right]$	44,64	43,92	42,12	39,6	36,71	33,84	30,60	27,36	23,32

\* Metals Handbook. Edition 1948 (313, 314. o.).



1. ábra



2. ábra

III. táblázat

Fajhő  $c(\vartheta)^*$

[C°]	0	100	200	300	400	500	600	700	750	800
$c \left[ \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot \text{C}^\circ} \right]$	0,110	0,118	0,126	0,135	0,147	0,163	0,185	0,232	0,334	0,120

\* Metals Handbook. Edition 1948 (313, 314. o.).

b) *Hőátadási tényező.\** Az egyes  $\vartheta_{K1}(t_i)$  kemence, ill.  $\vartheta_F(t_i)$  felületi hőmérsékletekhez tartozó „ $h$ ” hőátadási tényezőt közelítőleg a sugárzási törvényből számíthatjuk, feltételezve, hogy az ellenállásfűtésű kemencében a hőátadás túlnyomórészt sugárzás útján történik.

Eszerint

$$h = \frac{\varepsilon C_s \left[ \left( \frac{\vartheta_{K1} + 273}{100} \right)^4 - \left( \frac{\vartheta_F + 273}{100} \right)^4 \right]}{\vartheta_{K1} - \vartheta_F},$$

ahol  $C_s = 4,96$  az abszolút fekete test sugárzási száma. Az  $\varepsilon$  a hőfeltevő, illetve hőleadó felület sugárzási számától ( $\varepsilon_1$ ;  $\varepsilon_2$ ), valamint a két felület ( $F_1$ ;  $F_2$ ) nagyságától függő állandó, melynek értéke — esetünkben —  $\varepsilon = 0,87$ .

Meg kell jegyeznünk, hogy a hőátadási tényező fenti meghatározása igen bizonytalan. Az idézett összefüggések  $H$  értékét befolyásoló tényezők közül egyeseket csak részben vagy egyáltalán nem vesznek figyelembe. Teljesen elhanyagolt tényezők: a munkadarab felületi állapota, a munkadarab és a kemence belső terének alakja stb. Emellett a képletünkben előforduló állandókat is csak durva közelítésben tudjuk a tényleges helyzetnek megfelelően megválasztani.

### 3. Az iterációs lépések alatt változatlan $u$ , $U$ , $w$ és $A(w)$ alapértékek

A hevítési tartományt ( $\vartheta_0 = 20\text{ C}^\circ \dots \vartheta_{K2} = 780\text{ C}^\circ$ ), 11 részre bontottuk. Szakaszhatárokként a — = 20, 80, 140, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 737, 750 (fajhőgörbe csúcsa), 780 C° értékeket választottuk. Ezzel az

$$u = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_K - \vartheta_0}; \quad U = \int_{\lambda=1}^{\lambda=u(r, t)} k(\lambda) d\lambda; \quad w = \frac{U}{U_m}$$

kifejezéseket, valamint az  $A(w)$  függvénynek az egyes szakaszhatárokhoz tartozó értékeit kiszámítottuk ( $U_m = \int_{\lambda=1}^0 k(\lambda) d\lambda$ . Jelen esetben  $U = 36,4954$ ).

Ezenkívül meghatároztuk az  $A(w)$  függvény  $\bar{\vartheta}_i - \bar{\vartheta}_{i-1}$  szakaszokon belüli lineáris közelítéséből adódó  $a_{0i}$  és  $a_{1i}$  értékeit [ $A(w) = a_{0i} + a_{1i} \cdot w$ ].

\* W. HEILIGENSTANDT: Wärmetechnische Rechnungen für Industrieöfen. Düsseldorf. 3. kiadás 1951 (140—146. oldal).

IV. táblázat

$\vartheta$ [C°]	$u$	$U \left[ \frac{\text{kal}}{\text{m. ó}} \right]$	$\bar{w}_4$	$A(\bar{w}_4)$	$a_{it}$	$a_{ot}$	$\alpha_4 \frac{a_{it}}{a_{ot}}$
20	0,00000	36,4954	1,00000	19,3258	-10,5401	29,8659	-0,35292
80	0,07895	32,9345	0,90243	20,3542	-13,5470	32,5794	-0,41582
140	0,15789	29,4795	0,80776	21,6367	-15,0128	33,7634	-0,44465
200	0,23684	26,0531	0,71387	23,0462	-21,5763	38,4490	-0,56117
300	0,36842	20,6110	0,56476	26,2636	-32,9236	44,8574	-0,73396
400	0,50000	15,5369	0,42572	30,8411	-48,6124	51,5365	-0,94326
500	0,63158	10,8317	0,29680	37,1085	-80,8589	61,1071	-1,32323
600	0,76316	6,5579	0,17969	46,5775	-177,6060	78,4917	-2,26274
700	0,89474	2,7053	0,07413	65,3263	-576,4830	108,0593	-5,33489
737	0,94316	1,4598	0,04000	85,0000	-1441,6007	142,6640	-10,10486
750	0,96053	0,9894	0,02711	103,5880	} 1105,2166	} 73,6030	} 15,01590
760	0,97368	0,6128	0,01679	93,5930			
775	0,99342	0,1533	0,00420	78,6005			
780	1,00000	0,0000	0,00000	73,6030			

4. Felhevítési idő számítása

A hevítési folyamat számítását két különböző iterációs intervallum bevezetésével fogjuk elvégezni.

A. Az alábbiakban következő számításnál bizonyos mértékig eltértünk az előző fejezetben ismertett szakaszonkénti iteráló eljárástól, amennyiben a hevítési intervallum egészére vonatkoztatjuk az iterációs lépéseket.

Ezt megelőző közleményünkben ugyanis már kiszámítottuk egy 780 C° konstans hőmérsékletű kemencébe helyezett, a jelenlegi próbatestünkkel azonos (méret, anyag stb.) test felhevítési viszonyait. Mivel a vizsgált, időbelileg változó kemencehőmérsékleten kialakuló folyamatot is visszavezethetjük erre a speciális 780 C°-os konstans kemencehőmérsékletre ( $\vartheta_{K2} > \vartheta_{vég}$ ), számítástechnikailag célszerűnek látszott első lépésként a konstans kemencehőmérséklet mellett már meghatározott  $\vartheta_F(t^{(0)})$  felületi hőmérsékletet a változó kemencehőmérséklet során kialakuló felületi hőmérséklet nullarendű közelítésének tekinteni. Így a  $\vartheta_{K1}(t_i^{(0)})$ ;  $\vartheta_{K2}$  és  $\vartheta_F(t_i^{(0)})$  alapján az egész hevítési tartományon belül kiszámítható az „egyenértékű hőátadási tényező” nulladrendű közelítése.

$$h_2^{(0)} = \frac{h_1[\vartheta_{K1}(t_i^{(0)}); \vartheta_{F1}(t_i^{(0)})] \cdot \{\vartheta_{K1}(t_i^{(0)}) - \vartheta_F(t_i^{(0)})\}}{\vartheta_{K2} - \vartheta_F(t_i^{(0)})}$$

A  $h_2^{(0)}$ ;  $\vartheta_{K2}$ ;  $\vartheta_{K1}(t_i^{(0)})$  ismeretében a differenciálegyenlet megoldásából [ $w(\varrho, \tau)$  és  $\varphi(\tau)$ ] meghatározható az egész  $\bar{\vartheta}_0 \dots \bar{\vartheta}_K$  hevítési intervallumon belül a felhevítési időnek jobb közelítése ( $t_i^{(1)}$ ).

Az iterációs lépések megismétlésével — konvergencia esetén — mind pontosabb eredményt kapunk a felhevítési időre.



B. Az előző fejezetben ezzel szemben az egyes szakaszok elejének  $t_{i-1}$  felhevítési idejéhez tartozó  $\vartheta_{K1}(t_{i-1})$  kemencehőmérsékletet tekintettük a megfelelő szakaszon belül állandónak, és így számítottuk a felhevítési idő nulladrendű közelítését. A kérdéses szakaszból a következőbe csak akkor léptünk át, amikor a szakasz felső határához ( $\bar{\vartheta}_i$ ) tartozó  $t_i$  felhevítési időt a kívánalomnak megfelelő pontossággal már meghatároztuk, vagyis a szakaszon belül az iterációt elvégeztük. A két különböző iterációs felosztás előnyeit és hátrányait számításaink végén értékeljük.

### A<sub>1</sub>. Az iteráció első lépése

Az V. táblázatban összefoglaltuk a felhevítési idő nulladrendű közelítését  $t_i^{(0)}$ , a  $t_i^{(0)}$  időpontokhoz tartozó (változó)  $\vartheta_{K1}(t_i^{(0)})$  kemencehőmérsékletet, a  $\vartheta_F(t_i^{(0)})$ ;  $\vartheta_{K2}$  és  $\vartheta_{K1}(t_i^{(0)})$  adatokból számított egyenértékű hőátadási tényező  $h_2^{(0)}$  értékeit és végül a határfeltételben előforduló  $H^{(0)} = h_2^{(0)}(1 - u)$  függvényt.

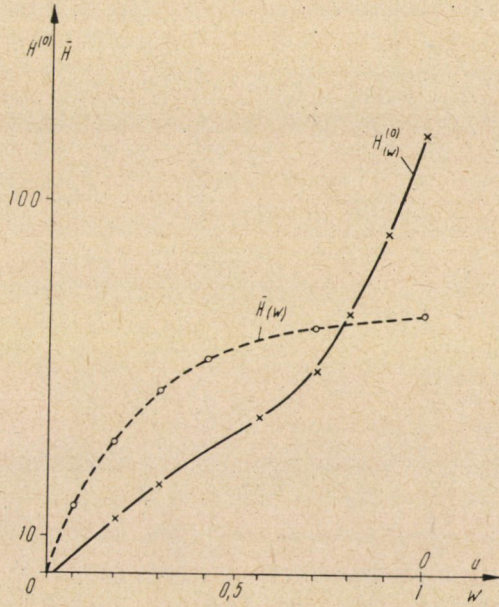
V. táblázat

$t_i^{(0)}$	$\vartheta_F(t_i^{(0)})$	$\vartheta_{K1}(t_i^{(0)})$	$h_2^{(0)}$	$H^{(0)}$
0,	20	929	117,689	117,689
0,99	80	855	98,497	90,720
2,18	140	786	82,548	69,514
3,58	200	726	70,220	53,589
6,01	300	694	68,674	43,373
8,71	400	690	74,104	37,052
12,29	500	664	63,546	23,412
17,35	600	682	60,282	14,277
27,37	700	720	41,269	4,344
35,75	737	741	18,157	1,032
42,29	750	755,5	33,410	1,319
51,06	760	764	38,140	1,004
62,33	770	770,5	7,810	0,103

A 3. ábrán folytonos vonallal adtuk meg a  $H^{(0)}(w)$  függvényt, egyúttal szaggatott vonallal a felületi hőmérséklet [ $\vartheta_F(t_i^{(0)})$ ] nulladrendű közelítésének meghatározásakor felhasznált  $\bar{H}(w)$  függvényt is feltüntettük.

Az egyes  $\vartheta_{i-1} - \vartheta_i$  hevítési intervallumokon belül a  $H^{(0)}(w)$  függvényt linearizáltuk (célszerűnek látszott 200 C°-tól a vég hőmérsékletig azt egy egyenessel kiegyenlíteni).

A VI. táblázatban a linearizált  $H^{(0)}(w) = h_{0i} + h_{1i} \cdot w$  függvényből számított  $q_i = h_{1i} \frac{R}{U_m}$ ;  $p_i = h_{0i} \frac{R}{U_m}$ ;  $p_i q_i$ ;  $p_i/q_i$  értékeket, a  $q_i \cdot J_0(\nu_{i\lambda}) =$



3. ábra

=  $v_{i\lambda} \cdot J_1(v_{i\lambda})$  egyenlet első gyökeit  $[v_{i1}]$ , valamint a

$$W_{i1} = \frac{2(p_1 + q_1)}{J_0(v_{i1}) \cdot [v_{i1}^2 + q_1^2]}$$

és

$$W_{i1} = -2 \frac{p_i q_{i-1} - p_{i-1} \cdot q_i}{q_{i-1} \cdot J_0(v_{i1}) [v_{i1}^2 + q_i^2]} + 2 \frac{(q_{i-1} - q_i) \cdot v_{i1}^2}{J_0(v_{i1}) [v_{i1}^2 + q_i^2]} \sum_{k=1}^{\infty} W_{(i-1)k} \cdot \frac{J_0(v_{(i-1)k})}{v_{(i-1)k}^2 - v_{i1}^2} e^{-v_{(i-1)k} \int_{\tau_{i-2}}^{\tau_{i-1}} \frac{d\tau}{1 + a_{(i-1)\tau_{i-1}}}}$$

összefüggések alapján számított  $W_{i1}$  együtthatókat adtuk meg.

VI. táblázat

$\bar{\vartheta}_{i-1} - \bar{\vartheta}_i$	$q_i^{(0)}$	$p_i^{(0)}$	$p_i^{(0)} \cdot q_i^{(0)}$	$p_i^{(0)}/q_i^{(0)}$	$v_{i1}$	$W_{i1}$
20—80	0,30295	-0,17397	-0,052700	-0,57421	0,74985	0,45637
80—140	0,24551	-0,12212	-0,029982	-0,49743	0,67977	0,45631
140—200	0,18592	-0,07399	-0,013755	-0,39795	0,59588	0,44886
200—780	0,08228	0,00000	0,000000	0,00000	0,40151	0,74368

A IV., V. és VI. táblázatokban közölt adatokkal most már meghatározhatjuk a felületi hőmérséklet  $\vartheta_F(t_i^{(1)})$  elsőrendű közelítését. Amennyiben (kellő számú szakasz esetén) csak a szakaszhatárok hőmérsékleteihez tartozó felhevítési idő kiszámítására korlátozzuk eljárásunkat, úgy elegendő nagy  $\bar{\vartheta}_{i-1} - \bar{\vartheta}_i$  intervallumok esetén a hővezetési differenciálegyenlet megoldását szolgáltató  $w(\varrho; \tau)$ ;  $\varphi(\tau)$  végtelen sorok első tagjának figyelembevétele is kielégítő pontosságot biztosít. (A szükséges  $\bar{\vartheta}_{i-1} - \bar{\vartheta}_i$  intervallum nagysága minden esetben külön-külön megvizsgálandó.)

A felhevítési idő kiszámításakor a felvett  $\bar{\vartheta}_i$  (szakaszhatárok) értékekből indulunk ki. A  $\bar{\vartheta}_i$  hőmérsékleteknek megfelelő  $\bar{w}_i$  értékeket a IV. táblázatban találjuk. Ezzel viszont a hővezetési differenciálegyenletnek

$$w_i(\varrho, \tau) = -\frac{P_i}{q_i} + W_{i1} \cdot J_0(\nu_{i1} \varrho) \frac{\varphi_i(\tau_i) + \frac{P_i}{q_i}}{\varphi_i(\tau_{i-1}) + \frac{P_i}{q_i}}$$

megoldásból a

$$\bar{w}_i; \frac{P_i^{(0)}}{q_i^{(0)}}; W_{i1}; J_0(\nu_{i1}) \text{ és a } \varphi_i(\tau_{i-1})$$

ismeretében a  $\varphi_i(\tau_i)$  kiszámítható. [A  $\varphi_i(\tau_{i-1})$  megegyezik az előző szakasz végpontjához tartozó  $\varphi_{i-1}(\tau_{i-1})$  értékkel, tehát már ismert. Az első  $\bar{\vartheta}_0 - \bar{\vartheta}_1$  intervallum kezdőpontjához tartozó  $\varphi_1(0) = 1$ .]

A fenti egyenletünkből kiszámított  $\varphi_i(\tau_i)$  értékkel viszont a kérdéses szakaszra eső felhevítési idő számítható az

$$\left(1 - \alpha_i \frac{P_i}{q_i}\right) \ln \frac{\varphi_i(\tau_i) + \frac{P_i}{q_i}}{\varphi_i(\tau_{i-1}) + \frac{P_i}{q_i}} + \alpha_i [\varphi_i(\tau_i) - \varphi_i(\tau_{i-1})] = \nu_{i1}^2 (\tau_i - \tau_{i-1})$$

és  $\tau_i - \tau_{i-1} = \Delta\tau_i = \frac{1}{60 \cdot a_{oi} \cdot R^2} \cdot \Delta t_i$  összefüggésekből.

A  $\bar{\vartheta}_i$  felületi hőmérséklethez tartozó felhevítési időt a  $\sum_{\lambda=1}^i \Delta t_\lambda$  időkülönbségek összegezésével kapjuk.

A VII. táblázat tartalmazza a felvett  $\bar{\vartheta}_i$ ;  $(\bar{w}_i)$  hőmérsékletekhez tartozó, számítás útján nyert  $\Delta t_i^{(1)}$ ;  $t_i^{(1)}$  felhevítési időket.

VII. táblázat

$\bar{\vartheta}_i$	$\bar{w}_i$	$\Delta t_i^{(1)}$	$t_i^{(1)}$	$\bar{\vartheta}_i$	$\bar{w}_i$	$\Delta t_i^{(1)}$	$t_i^{(1)}$
80	0,90243	0,619	0,619	700	0,07413	29,986	61,246
140	0,80776	1,147	1,765	737	0,04000	27,733	88,979
200	0,71387	1,557	3,322	750	0,02711	21,754	110,733
300	0,56476	3,411	6,733	760	0,01679	32,304	143,037
400	0,42572	4,765	11,498	770	0,00840	63,944	174,677
500	0,29680	7,260	18,758				
600	0,17969	12,502	31,260				

A<sub>2</sub>. Az iteráció második lépése

Az iteráció első lépésében kiszámított felhevítési idő  $t_i^{(1)}$  (elsőrendű közelítés) alapján meghatároztuk az egyenértékű hőátadási tényező elsőrendű közelítését ( $h_2^{(1)}$ ) és az ebből származó  $H^{(1)} = h_2^{(1)} \cdot (1 - u)$  függvényt, melyet most már az első durva közelítéstől eltérően 200 C° felett is szakaszonként 200—300 ; 300—400 ; 400—500 ; 500—600 ; 600—700 ; 700—780 C° pontosabban approximáltunk megfelelő egyenesekkel.

VIII. táblázat

$t_i^{(1)}$	$\vartheta_F$	$\vartheta_{K1}$	$h_2^{(1)}$	$H^{(1)}$	$q_i$	$P_i$	$v_{i1}$	$W_{i1}$
0	20	929	117,689	117,689	0,24711	—0,11812	0,68186	0,55288
0,62	80	870	103,893	95,691	0,25862	—0,12850	0,69657	0,46778
1,77	140	800	87,106	73,353	0,17166	—0,05823	0,57360	0,50974
3,32	200	748	76,853	58,651	0,11679	—0,01909	0,47633	0,58310
6,73	300	691	67,706	42,762	0,08332	—0,00019	0,40401	0,58623
11,50	400	665	64,385	32,192	0,03176	0,02177	0,25103	1,12877
18,76	500	690	77,242	28,458	0,03156	0,02182	0,25024	0,99832
31,26	600	733	105,918	25,086	0,09072	0,00119	0,42118	0,32447
61,25	700	770	155,303	16,348				
88,98	737	776	159,169	9,160				
110,70	750	779	185,147	4,872	0,24171	0,00000	0,67481	0,08349
143,00*	760							
174,70	770							

\* A kemence hőmérsékletét csak 120 percig mértük.

A  $\varphi_i$  és a felhevítési idő másodrendű közelítésének számítása az első lépésben megadott módon történt.



IX. táblázat

$\vartheta_i$	$\bar{v}_i$	$\Delta t_i^{(2)}$	$t_i^{(2)}$	$\vartheta_i$	$w_i$	$\Delta t_i^{(2)}$	$t_i^{(2)}$
80	0,90243	0,588	0,588	600	0,17969	7,735	25,253
140	0,80776	1,163	1,752	700	0,07413	12,403	37,655
200	0,71387	1,448	3,199	737	0,04000	9,685	47,340
300	0,56476	3,279	6,479	750	0,02711	7,703	55,043
400	0,42572	4,658	11,138	760	0,01679	9,957	65,000
500	0,29680	6,379	17,517	770	0,00840	22,769	77,820

A<sub>3</sub>. Az iteráció harmadik lépése

A számítás a második iterációs lépéssel analóg módon történt. A X. táblázat tartalmazza a harmadik lépésre vonatkozó adatokat.

X. táblázat

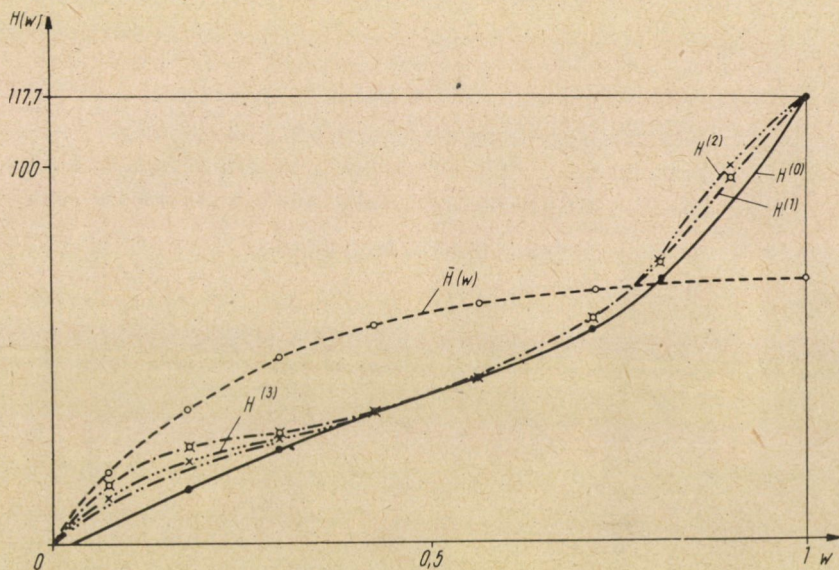
$t_i^{(2)}$	$\vartheta_F$	$\vartheta_K$	$h_2^{(2)}$	$H^{(2)}$	$q_i$	$p_i$	$v_{i1}$	$W_{i1}$	$\Delta t_i^{(3)}$	$t_i^{(3)}$
0,00	20	929	117,689	117,689	0,19298	—0,06399	0,60657	0,69961	0,000	0,000
0,59	80	884	109,125	100,510	0,30792	—0,16771	0,75552	0,41461	0,561	0,561
1,75	140	802	87,772	73,913	0,16685	—0,05377	0,56584	0,52709	1,067	1,628
3,20	200	752	78,123	59,620	0,12242	—0,02204	0,48734	0,56701	1,426	3,054
6,48	300	692	68,028	42,965	0,08492	—0,00087	0,40778	0,57835	3,237	6,291
11,14	400	665	64,385	32,192	0,04276	0,01708	0,29088	0,84296	4,720	11,011
17,52	500	683	73,444	27,163	0,07137	0,00858	0,37447	0,43212	6,490	17,501
25,25	600	708	82,488	19,537	0,09350	0,00461	0,42743	0,23984	8,926	26,427
37,66	700	747	100,048	10,531	0,15572	0,00000	0,54737	0,07999	18,042	44,469
47,34	737			14,595					59,064	
55,04	750			11,400					70,465	
65,00	760			15,209					85,674	
77,82	770			34,744					105,209	

A<sub>4</sub>. Az iteráció negyedik lépése

A harmadik lépés kielégítő pontosságot biztosított 200—500 C° között. Magasabb hőfokokhoz tartozó felhevítési idő pontosabb meghatározása érdekében még egy negyedik lépést számítottunk. A XI. táblázat foglalja össze erre az iterációs lépésre vonatkozó adatokat.

XI. táblázat

$t_i^{(3)}$	$\partial_F$	$\partial_K$	$h_2^{(3)}$	$H^{(3)}$	$q_i$	$P_i$	$r_{i1}$	$W_{i1}$	$\Delta t_i^{(4)}$	$t_i^{(4)}$
17,50	500	683	73,444	27,163	0,05831	0,01246	0,33902	0,52558		17,502
26,42	600	719	92,579	21,927	0,08790	0,00824	0,41472	0,28526	9,034	26,536
44,47	700	759	127,914	13,465	0,17975	0,00143	0,58636	0,08961	15,186	41,722
59,07	737	769	138,460	7,870					11,148	52,870
70,47	750	773	146,000	5,763	0,23269	0,00000	0,66282	0,03039	8,045	60,915
85,68	760								10,365	71,280
105,21	770								23,637	84,552



4. ábra

A 4. ábrán megadtuk a  $H^{(0)}(w)$ ;  $H^{(1)}(w)$ ;  $H^{(2)}(w)$ ;  $H^{(3)}(w)$  függvényeket.

A  $H^{(0)}(w)$ ;  $H^{(1)}(w)$ ;  $H^{(2)}(w)$ ;  $H^{(3)}(w)$  értékeinek egybevetéséből megállapítható, hogy számítási eljárásunk a jelen esetben érvényes adatokkal gyakorlatilag konvergens.

Ezek után áttérünk az I. fejezetben ismertetett  $\Pi/B$  intervallumokat felhasználó számításra. Ez esetben a kérdéses szakaszból a következőbe csak akkor lépünk át, amikor a szakasz felső határához ( $\partial_i$ ) tartozó  $t_i$  felhevítési időt a kívánalomnak megfelelő pontossággal már meghatároztuk, vagyis a szakaszon belül az iterációt elvégeztük. Megjegyezzük, hogy a felhevítési idő meghatározásakor most is ugyanazzal a közelítéssel élünk, mint az előző számításainknál, amennyiben differenciálegyenlet megoldását szolgáltatató  $w_i(\rho, \tau)$  és  $\varphi_i(\tau)$  végtelen soroknak csak az első tagját vesszük figyelembe.

### B. A szakaszhatárokhoz tartozó felhevítési idő számítása

Az első szakasz kezdőpontjában (kiindulópont) a kemence hőmérsékletét  $\vartheta_{K_1}(t=0) = 929 \text{ C}^\circ$  és a test felületének a hőmérsékletét  $\vartheta_F(t=0) = \vartheta_0 = 20 \text{ C}^\circ$  (I. táblázat) ismerjük. A sugárzási törvényből meghatározható ebben a pontban a tényleges  $h_1$  hőátadási tényező, majd pedig a  $\vartheta_{K_2} = 780 \text{ C}^\circ$  konstans kemencehőmérsékletre vonatkoztatott „egyenértékű” hőátadási tényező” értéke ( $h_2 = 117,689$ ). Az első iterációs lépésnél feltételezzük, hogy az első szakaszon ( $20\text{—}80 \text{ C}^\circ$ ) belül a kemence hőmérséklete nem változik,  $\vartheta_{K_1}(t=0) = 929 \text{ C}^\circ$ . A szakaszhatárként felvett  $\vartheta_F = \bar{\vartheta}_1 = 80 \text{ C}^\circ$  hőmérsékletéhez tartozó és a konstans  $\vartheta_{K_2} = 780 \text{ C}^\circ$  kemencehőmérsékletre vonatkoztatott  $h_2$  egyenértékű hőátadási tényező nulladrendű közelítése a  $\vartheta_{K_2} = 780 \text{ C}^\circ$ ;  $\vartheta_{K_1} = 929 \text{ C}^\circ$  és  $\bar{\vartheta}_1 = 80 \text{ C}^\circ$  adatok birtokában számítható ( $h_2^{(0)} = 127,276$ ). Az egyenértékű hőátadási tényező  $\vartheta_0 = 20 \text{ C}^\circ$  kezdeti hőmérsékletéhez tartozó pontos és  $\bar{\vartheta}_1 = 80 \text{ C}^\circ$  felső szakaszhatárhoz tartozó nulladrendű közelítéséből a hővezetési differenciálegyenlet állandó kemencehőmérsékleten érvényes  $w_1(\rho, \tau)$  és  $\varphi_1(\tau)$  megoldásában előforduló  $p_1$ ;  $q_1$ ;  $\frac{p_1}{q_1}$ ;  $\nu_{11}$ ;  $J_0(\nu_{11})$  értékek számíthatók. Ezen adatok és a felvett  $\bar{\vartheta}_1 = 80 \text{ C}^\circ$  hőmérsékletéhez tartozó  $\bar{w}_1 = 0,90243$  (IV. táblázat) értékének birtokában a differenciálegyenlet megoldásából a szakasz felső határához tartozó  $\varphi_1(\tau_1)$  és a  $\varphi_1(\tau_1)$ -ből felhevítési idő nullarendű közelítése meghatározható ( $t_1^{(0)} = 0,506$  perc).

Az iteráció második lépésénél az első szakasz végpontjában a nulladrendű felhevítési időhöz tartozó kemencehőmérsékletet vesszük  $\vartheta_{K_1}(t_1^{(0)} = 0,506) = 855 \text{ C}^\circ$  és feltételezzük, hogy ez az előző  $\vartheta_1(0) = 929 \text{ C}^\circ$  hőmérsékletéhez viszonyítva a végponthoz tartozó valódi  $\vartheta_{K_1}(t_1)$  kemencehőmérsékletnek jobb közelítése. A  $\bar{\vartheta}_1 = 80 \text{ C}^\circ$ ,  $\vartheta_{K_1}(t_1^{(0)}) = 885 \text{ C}^\circ$  és  $\vartheta_{K_2} = 780 \text{ C}^\circ$  adatok ismeretében kiszámíthatjuk a szakasz felső határához tartozó egyenértékű hőátadási tényező elsőrendű közelítését ( $h_2^{(1)} = 109,506$ ). Ezek után az előző lépés eljárásával azonosan kapjuk a felhevítési idő elsőrendű közelítését ( $t_1^{(1)} = 0,560$  perc).

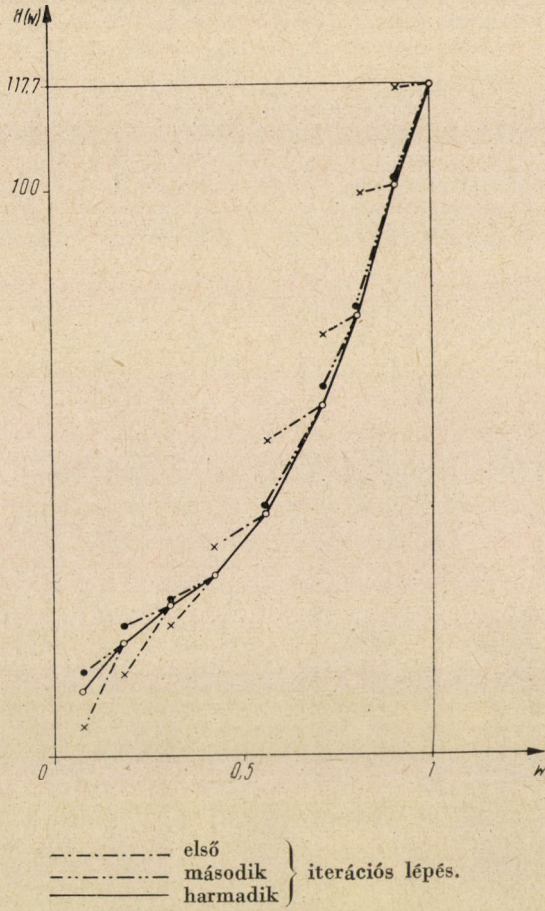
Az iterációt ily módon mindaddig folytatjuk, míg  $[\vartheta_{K_1}(t_1^{(n-1)}) - \vartheta_{K_1}(t_1^n)] \leq 1 \text{ C}^\circ$  nem lesz.

A második szakasz végpontjához ( $\vartheta_F = \bar{\vartheta}_2 = 140 \text{ C}^\circ$ ) tartozó felhevítési idő kiszámításakor az iteráció első lépésénél újból feltételezzük, hogy a kemence hőmérséklete a szakaszon belül konstans, és ez a szakasz alsó határához (kezdőpontjához) tartozó  $\vartheta_{K_1} = 884 \text{ C}^\circ$  hőmérséklet. Továbbiakban az első szakasznál ismertetett módon járunk el.

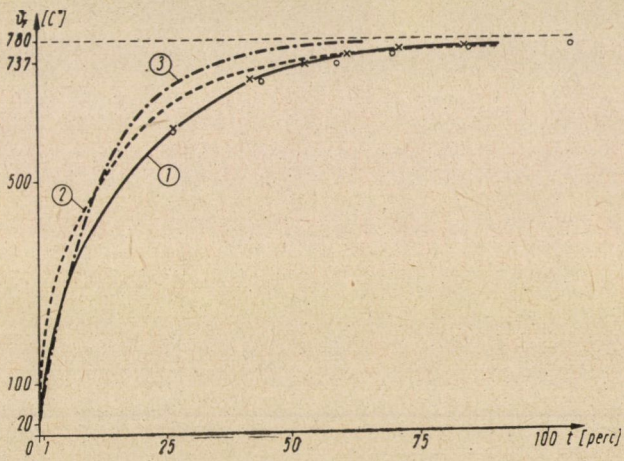
A XII. táblázatban foglaltuk össze az egyes szakaszokra vonatkozó számításokat.

Az 5. ábrán felrajzoltuk az egyes szakaszokon belül vett iterációs lépésekhez tartozó  $H(w)$  függvényértékeket.





5. ábra



6. ábra



XII. táblázat

t	$\theta_i = \theta_F$	$\theta_K$	$h_2$	II	$q_i$	$P_i$	$v_{H_1}$	$W_{H_1}$	$\varphi_i$	$\Delta t_i$	$t_i$
0	20	929	117,689	117,689	0,00518	0,12381	0,10175	24,91804	1,00000	0,506	0,506
0,506	80	929	127,276	117,228	0,18904	-0,06001	0,60061	0,71355	0,93124	0,560	0,560
0,560	80	884	109,506	100,861	0,19298	-0,06399	0,60657	0,69961	0,93084	0,561	0,561
1,371	140	884	118,414	99,742	0,00899	0,10214	0,13320	12,44634	0,84077	0,810	1,371
1,574	140	822	94,638	79,695	0,24098	-0,10730	0,67385	0,51371	0,83039	1,013	1,574
2,818	200	810	90,473	76,188	0,28159	-0,14395	0,72480	0,44801	0,82941	1,046	1,607
3,018	200	758	98,278	75,002	0,00872	0,07598	0,13189	9,56653	0,73472	1,211	2,818
5,739	300	758	82,355	62,850	0,09804	-0,00110	0,43744	0,83778	0,73148	1,411	3,018
6,194	300	693	80,056	61,096	0,11093	-0,01222	0,46455	0,73868	0,73099	1,445	3,051
10,558	400	693	91,562	57,829	0,02401	0,04982	0,21850	2,82217	0,58087	2,688	5,739
17,975	500	665	69,978	44,197	0,12421	-0,02171	0,49079	0,57257	0,57751	3,143	6,194
17,387	500	683	68,350	43,169	0,13177	-0,02710	0,50500	0,54226	0,57682	3,196	6,247
28,488	600	693	75,322	37,661	0,04342	0,02279	0,29308	1,11367	0,43612	4,311	10,558
25,993	600	665	64,385	32,192	0,08653	-0,00155	0,41154	0,57083	0,43464	4,713	10,960
52,798	700	665	64,052	23,598	0,07306	0,00418	0,37879	0,50072	0,30335	7,015	17,975
40,584	700	686	75,061	27,654	0,03858	0,01886	0,27643	0,93235	0,30441	6,427	17,387
42,532	700	753	73,444	27,058	0,04364	0,01670	0,29385	0,82617	0,30426	6,505	17,465
28,488	600	683	60,783	14,396	0,11851	-0,00552	0,47973	0,26524	0,18369	11,023	28,488
25,993	600	725	98,227	23,264	0,03551	0,01912	0,26531	0,85007	0,18613	8,528	25,993
52,798	700	718	91,648	21,706	0,05009	0,01479	0,31454	0,60741	0,18532	8,903	26,368
40,584	700	718	38,746	4,079	0,18531	-0,00927	0,59496	0,14183	0,07520	26,430	52,798
42,532	700	766	144,625	15,224	0,06959	0,01153	0,36988	0,35712	0,07826	14,216	40,584
42,532	700	756	113,859	11,985	0,10322	0,00549	0,44855	0,24487	0,07727	16,164	42,532
57,677	737	756	120,856	12,722	0,09557	0,00686	0,43203	0,26350	0,07746	15,673	42,041
53,595	737	769	76,655	4,357	0,26072	-0,00565	0,69922	0,09592	0,04116	15,636	57,677
63,948	750	767	138,459	7,870	0,14790	0,00271	0,53397	0,09948	0,04207	11,554	53,595
63,948	750	772	129,476	7,360	0,16430	0,00150	0,56166	0,09025	0,04194	11,984	54,025
100,161	770	767	106,978	4,223	0,26665	-0,00260	0,70661	0,03440	0,02823	9,923	63,948
86,485	770	772	139,457	5,505	0,15767	0,00176	0,55065	0,05525	0,02857	8,473	62,499
100,161	770	772	39,144	0,515	0,29230	-0,00189	0,73751	0,02375	0,00853	37,662	100,161
86,485	770	777	137,990	1,816	0,21611	0,00018	0,64009	0,03100	0,00888	23,986	86,485
89,948	770	775	98,282	1,293	0,24672	-0,00065	0,68135	0,02755	0,00874	27,419	89,948

A 6. ábrán a (B) számítási eljárás során kapott  $\vartheta_F(t)$  függvény ①, a mért felületi hőmérséklet ② és a konstans  $\vartheta_{K_2} = 780 \text{ C}^\circ$  kemencehőmérséklet feltételezésével kiszámított felületi hőmérséklet ③ görbéi, valamint az (A) számítás harmadik (0) és negyedik (\*) iterációs lépése során kapott felületi hőmérséklet pontjait adtuk meg.

Az (A) és (B) számítás eredményeinek összehasonlítása alapján megállapíthatjuk — ami nem meglepő —, hogy a (B) számítás (szakaszonkénti iteráció) gyorsabban konvergál.  $600 \text{ C}^\circ$ -ig az (A) számítás negyedik lépése (a felületi hőmérséklet nulladrendű közelítésének számítása + 3 iterációs lépés) után kapott eredmények egyeznek meg a (B) eljárás átlag három iterációs lépése után kapott értékekkel. A maximális eltérés  $0,06$  perc. Nagyobb hőmérsékleten még szembetűnőbb a (B) gyorsabb konvergenciája. A (B) számítás eredményei az (A) harmadik és negyedik iterációs lépése során kapott hőmérsékleti értékek közé esnek, jobb egyezés az (A) eljárás további iterálását tenné szükségessé.

Mielőtt a mérés és a számítás eredményeinek összehasonlítására rátérnénk, a (B) számítás adataiból a test tengelyének  $\vartheta(\varrho = 0; t_i) = \vartheta_B$  hőmérsékletét is meghatározzuk.

A próbatest középpontjának hőmérsékletével arányos

$$w_i(\varrho = 0; t) = -\frac{P_i}{q_i} + W_{i1} \frac{\varphi_i(t_i) + \frac{P_i}{q_i}}{\varphi_i(t_{i-1}) + \frac{P_i}{q_i}}$$

kifejezés valamennyi szakaszban az utolsó iterációs lépéshez tartozó  $\frac{P_i}{q_i}$ ;  $W_{i1}$ ;  $\varphi_i(t_i)$ ;  $\varphi_i(t_{i-1})$  adatokkal számítható. Ezzel  $\vartheta_B$  meghatározható.

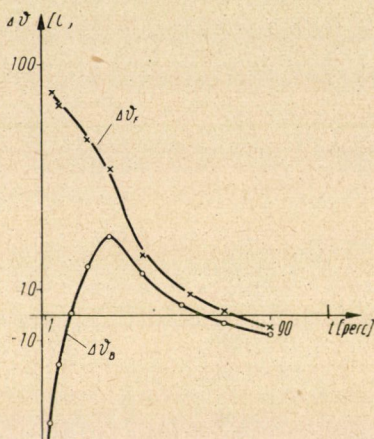
XIII. táblázat

$t_i^{(n)}$	$\vartheta_F$	$\vartheta_B$	$t_i^{(n)}$	$\vartheta_F$	$\vartheta_B$
0,561	80	45,2	26,368	600	589,4
1,607	140	113,1	42,041	700	693
3,051	200	178,3	54,025	737	731,2
6,247	300	283,3	62,499	750	747
10,960	400	386,7	89,948	770	769,1
17,465	500	488,0			

A 7. ábrán feltüntettük a mért és számított (B) hőmérséklet közötti különbségek függvényeit ( $\Delta\vartheta_F = \vartheta_F$  mért —  $\vartheta_F$  számított;  $\Delta\vartheta_B = \vartheta_B$  mért —  $\vartheta_B$  számított).

Ha a mérések és számítások eredményeit összehasonlítjuk (6. és 7. ábra), megállapíthatjuk, hogy a módszerünk a felhevítés teljes idejét kielégítő pontossággal szolgáltatja. A hevítés kezdeti szakaszán ( $t \leq 55$  perc) a számított és a mért hőmérséklet közti nagyobb eltérések részben a mérések pontatlanságának, részben pedig a termikus paraméterek kevésbé pontos adatrendszerének a következménye.

A három mért hőmérséklet közül (kemenceatmoszféra, felületi, illetve középponti hőmérséklet) legpontosabbnak a középponti hőmérséklet mérést tartjuk. Ezt az egész hevítési intervallumon belül  $\pm 5$  C° hibahatáron belül mértük. A felületi hőmérsékletet mérő hőelemnek a munkadarab felületére



7. ábra

történő ráerősítése már nagyobb pontatlanságot eredményezhetett. A kemencehőmérséklet mérése más szempontból lehetett hibás. Méréseink során ugyanis a felületi mérőhely közelében mértük a kemence atmoszférájának a hőmérsékletét. A próbatest behelyezése utáni hőcsökkenéskor a kemence falának, tehát a hőszugárzó felületnek a hőmérséklete valószínűleg nem süllyed oly mértékben, mint a munkadarab közelében levő kemenceatmoszféra hőmérséklete.

Számításainknál alapul vett fajhő adatrendszerének és a próbatest anyagának tényleges fajhője közti különbség csak az allotróp átalakulás környezetében okozhat nagyobb eltérést, alacsonyabb hőfokon nem. A hővezetőképesség adatrendszerének pontatlansága részben szintén oka lehet az eltérések kialakulásának.

A 7. ábrán látható  $\Delta\theta_F$  és  $\Delta\theta_B$  függvényekből bizonyos mértékig az eltérés okaira következtetni tudunk.

$\vartheta_{F \text{ mért}} > \vartheta_{F \text{ számított}}$  ez akkor következik be, ha a valódi kemencehőmérséklet magasabb a számításnál felhasznált kemencehőmérsékletnél, vagy ha

a felület hőmérsékletét pozitív hibával mértük. Mindkét esetben a  $\Delta\vartheta_B$ -nek is pozitívnek kell lennie. Ez azonban csak a 11. perctől kezdve érvényes. A 0...11 perc közötti negatív  $\Delta\vartheta_B$  hőmérsékletkülönbséget csak a hővezetőképesség hibás adatrendszere okozhatja, mégpedig akkor, ha a próbatest anyagának hővezetőképessége lényegesen kisebb, mint a számításainknál használt adatrendszer. Ezt támasztja alá az egész hevítési tartományon belül észlelt az a jelenség is, hogy a számított  $\vartheta_F - \vartheta_B$  sokkal kisebb a mért  $\vartheta_F - \vartheta_B$  különbségnél. A 0...55 perc közötti eltérések tehát a három tényező (kemence- és felületi hőmérséklet, valamint a hővezetőképesség) pontatlanságának együttes következménye.

Az ismertetett módszer alkalmazása eléggé hosszadalmas. Üzemi viszonyok között a legritkább esetben nyílik lehetőség ilyen számítás elvégzésére. Épp ezért az ismertetett eljárásból olyan közelítő megoldási eljárást dolgoztunk ki, mely viszonylag gyorsan számítható és gyakorlatilag kielégítő pontosságú.

### III. Közelítő eljárás hengerszimmetrikus testek hevítési folyamatának meghatározására

#### 1. Felhevítési idő meghatározása

Állandó kemencehőmérséklet esetén a hőmérséklettel arányos  $w_i(\varrho, \tau)$  függvény  $\tau$  szerinti integrálközepe

$$\varphi_i(\tau) = -\frac{p_i}{q_i} + 2q_i \sum_{\lambda=1}^{\infty} W_{i\lambda} \frac{J_0(v_{i\lambda})}{v_{i\lambda}^2} e^{-v_{i\lambda}^2 \int_{\tau_{i-1}}^{\tau} \frac{1}{1+a_i q_i} d\tau}$$

Megfelelő intervallum felosztáskor a végtelen sor első tagjának figyelembevétele is kielégítő pontosságot biztosít.

$$\varphi_i(\tau) \approx -\frac{p_i}{q_i} + 2q_i W_{i1} \frac{J_0(v_{i1})}{v_{i1}^2} e^{-v_{i1}^2 \int_{\tau_{i-1}}^{\tau} \frac{1}{1+a_i q_i} d\tau}$$

$\tau$  szerint deriválva

$$\frac{d\varphi_i}{d\tau} = 2q_i \cdot W_{i1} \cdot \frac{J_0(v_{i1}) v_{i1} (v_{i1})}{v_{i1}^2} e^{-v_{i1}^2 \int_{\tau_{i-1}}^{\tau} \frac{1}{1+a_i q_i} d\tau} \cdot \left( -\frac{1}{1+a_i q_i} v_{i1}^2 \right)$$

és a

$$\varphi_i(\tau) + \frac{p_i}{q_i} = 2q_i W_{i1} \frac{J_0(v_{i1})}{v_{i1}^2} e^{-v_{i1}^2 \int_{\tau_{i-1}}^{\tau} \frac{1}{1+a_i q_i} d\tau}$$



helyettesítést elvégezve kapjuk a test „átlagos hőmérsékletére” jellemző

$$\frac{d\varphi_i}{d\tau} = - \left( \varphi_i(\tau) + \frac{p_i}{q_i} \right) \left( v_{i1}^2 \frac{1}{1 + \alpha_i \varphi_i} \right)$$

differenciálegyenletet.

Miután 
$$\frac{p_i}{q_i} = \frac{h_{0i}}{h_{1i}}; \quad \alpha_i = \frac{a_{1i}}{a_{0i}} \quad \text{és} \quad \tau = \frac{1}{60 \cdot a_{0i} \cdot R^2} \cdot t$$

áll

$$d\varphi_i = - \frac{(h_{0i} + h_{1i} \varphi) v_{i1}^2}{(a_{0i} + a_{1i} \varphi) h_{1i} 60 \cdot R^2} dt,$$

ahol  $h_{0i} + h_{1i} \cdot \varphi_i = H_i(\varphi_i)$  a linearizált  $H_i(w)$  és  $a_{0i} + a_{1i} \cdot \varphi_i = A_i(\varphi_i)$  a  $A_i(w)$  függvények értéke a  $\varphi_i$  helyen.

Tehát

$$d\varphi_i = - \frac{H_i(\varphi_i) v_{i1}^2}{60 \cdot R^2 \cdot A_i(\varphi_i) h_{1i}} dt$$

a megadott

$$\varphi_{i-1}(t_{i-1}) = \varphi_i(t_{i-1}); \quad \varphi_i(t_i)$$

határok között integrálva

$$\int_{\varphi_{i-1}}^{\varphi_i} \frac{A_i(\varphi)}{H_i(\varphi)} d\varphi = - \frac{v_{i1}^2}{60 \cdot R^2 h_{1i}} \int_{t_{i-1}}^{t_i} dt,$$

ha az  $\frac{A_i(\varphi)}{H_i(\varphi)}$  függvényt  $\varphi_i$  és  $\varphi_{i-1}$  között húrjával helyettesítjük, az

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{A_i(\varphi_i)}{H_i(\varphi_i)} + \frac{A_i(\varphi_{i-1})}{H_i(\varphi_{i-1})} \right] \Delta \varphi_i = - \frac{v_{i1}^2}{60 \cdot R^2 h_{1i}} \Delta t_i$$

kifejezést kapjuk.

Az  $i$ -ik szakaszra eső felhevítési idő eszerint

$$\Delta t_i = - \frac{30 \cdot R^2 h_{1i}}{v_{i1}^2} \cdot \left[ \frac{A_i(\varphi_i)}{H_i(\varphi_i)} + \frac{A_i(\varphi_{i-1})}{H_i(\varphi_{i-1})} \right] \cdot \Delta \varphi_i.$$

Az  $i$ -ik hevítési intervallum felső határához tartozó felhevítési időt a

$$t_i = \sum_{k=1}^i \Delta t_k$$

összegezés útján kapjuk.

Az előző számításaink során a  $(\vartheta_0; \bar{\vartheta}_{K2})$  hevítési tartományt  $n$  részre bontottuk. Egy-egy szakaszon belül a  $H_i(w)$ , illetve  $A_i(w)$  függvényeket linearizáltuk. Az  $i$ -ik szakasz kiegyenlített  $A_i(w) = a_{0i} + a_{1i}w$  és  $H_i(w) = h_{0i} + h_{1i}w$  értékeit addig használtuk, míg a test felületének hőmérséklete  $(\vartheta_F)$  a választott  $\bar{\vartheta}_i$  felső szakaszhatár hőmérsékletét el nem érte. A szakaszhatár elérése után már az  $(i + 1)$ -ik intervallum paramétereivel számítottunk tovább, jóllehet a test belsejének hőmérséklete még kis ideig az  $i$  szakaszhoz tartozott. A  $t_i$  felhevítési idő számítását nagymértékben egyszerűsíthetjük, ha az előző számítás  $\vartheta_F(t_i) = \bar{\vartheta}_i$  szakaszhatárra! értelmezett  $t_i$  időpont helyett a  $\varphi_i(t)$  átlaghőmérséklettel meghatározott  $\tilde{\vartheta}_i(t_i) = \bar{\vartheta}_i$  egyenlet alapján értelmezzük a szakaszhatárhoz tartozó  $t_i$  felhevítési időt, vagyis az  $i$ -ik szakasz  $A_i(w)$ , illetve  $H_i(w)$  értékeit addig használjuk, míg a test átlagos hőmérséklete  $\tilde{\vartheta}_i$  el nem éri a felvett  $\bar{\vartheta}_i$  felső szakaszhatár hőmérsékleti értékét. Ebben az esetben ugyanis ismerjük a szakaszhatárhoz tartozó átlagos hőmérsékleteket  $\tilde{\vartheta}_i = \bar{\vartheta}_i$  és így a felhevítési idő képletében előforduló, az átlagos hőmérséklettel arányos  $\bar{\varphi}_i(t_i) = \tilde{w}_i(t_i)$  értékeket nem kell a  $w_i(1; t_i) = \bar{w}_i$  összefüggésből, mint előző számításaink során, fáradságos munkával kiszámítani, hanem egyszerűen a  $k(\vartheta)$  adatrendszerének ismeretében, az értelmezés szerint

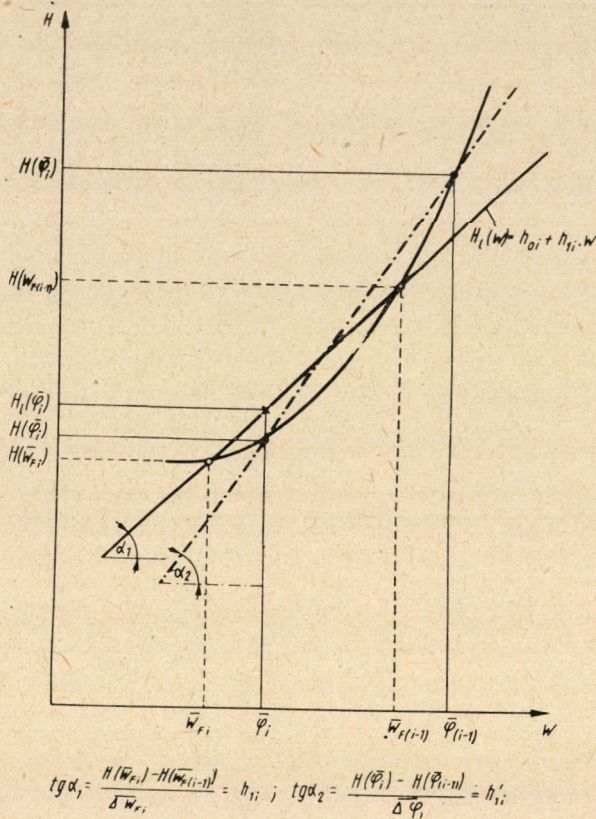
$$\bar{\varphi}_i = \tilde{w}_i = \frac{\tilde{U}_i}{U_m} = 1 - \frac{\int_{\bar{\vartheta}_0}^{\bar{\vartheta}_i} k(\vartheta) d\vartheta}{\int_{\bar{\vartheta}_0}^{\bar{\vartheta}_2} k(\vartheta) d\vartheta}$$

összefüggésből számítható.

(A numerikusan ismert  $k(\vartheta)$  függvény integrálását szakaszonkénti lineáris kiegyenlítéssel vagy műszer segítségével végezhetjük el.)

A szakaszhatáron érvényes  $\tilde{\vartheta}_i(t_i) = \bar{\vartheta}_i$  feltétel esetén a  $\Delta t_i$  felhevítési idő kifejezésében előforduló tényezők közül a  $H(\bar{\varphi}_i)$ , és az ezzel meghatározott  $h_{1i}$  és  $v_1^{(i)}$  értékeinek kiszámítása jelent problémát. Az értelmezés szerint ugyanis a  $H(\bar{\varphi}_i)$  függvény a szakasz kezdőpontjához tartozó  $H(\bar{w}_{F(i-1)})$ , illetve a végponthoz tartozó  $H(\bar{w}_{Fi})$  linearizációjával kapott  $H_e(w) = h_{0i} + h_{1i}w$  függvény értéke  $\bar{\varphi}_i$  helyen. Jelenlegi szakaszhatár értelmezés mellett azonban csak a test átlagos hőmérsékletének értékeit ismerjük, a test felületének hőmérsékletét nem, s így a felületi hőmérséklettel arányos  $\bar{w}_{Fi}$ , ill.  $\bar{w}_{F(i-1)}$  értékéhez tartozó  $H(\bar{w}_{Fi})$ , ill.  $H(\bar{w}_{F(i-1)})$  függvényértékeket kiszámítani nem tudjuk. Első közelítésben a  $H(\bar{w}_{Fi})$ , ill.  $H(\bar{w}_{F(i-1)})$  helyett az átlagos hőmérséklettel meghatározott  $H(\bar{\varphi}_i)$ , ill.  $H(\bar{\varphi}_{i-1})$  értékkel számítunk, vagyis a linearizált  $H_i(\bar{\varphi}_i) = h_{1i} + h_{0i} \bar{\varphi}_i$  helyett a  $H(w)$  függvény  $\bar{\varphi}_i$  helyen vett értékét használjuk fel, illetve  $h_{1i}$ -t  $H(\bar{w}_{Fi})$ ;  $H(\bar{w}_{F(i-1)})$  linearizálása helyett a  $H(\bar{\varphi}_i)$  és  $H(\bar{\varphi}_{i-1})$  linearizációja útján nyerjük.

$$h'_{1i} = \frac{H(\bar{\varphi}_i) - H(\bar{\varphi}_{i-1})}{\Delta \bar{\varphi}_i}$$



8. ábra

A  $v_{i1}$  a  $q_i \cdot J_0(v_{i1}) = v_{i1} \cdot J_1(v_{i1})$  egyenlet első gyöke. Ennek kiszámításához ismernünk kell a  $h'_{1i}$ -ből származó  $q'_1 \approx q_i$  értékét.

$$q'_1 = h'_{1i} \frac{R}{U_m}$$

Az egyenlet megoldása eléggé fáradságos, ezért a XIV. táblázatban közöljük a  $q_i = 0,000 \dots 1,00$  értékekhez tartozó gyököket, amelyekből lineáris interpolációval a  $v_{i1}$  gyökök gyakorlati követelményeknek megfelelő pontossággal nyerhetők (pl.  $q_i = 0,007$  esetén  $v_1 = 0,11822$ , illetve  $q_i = 0,32$   $v_1 = 0,76907$  stb.).

Az átlagos  $\tilde{\vartheta}_i$  testhőmérsékletéhez tartozó  $A(\varphi_i)$  függvény értékeit a termikus paraméterek segítségével számíthatjuk  $\left( A(\varphi_i) = \frac{c(\tilde{\vartheta}_i) \cdot \gamma}{k(\tilde{\vartheta}_i)}; \tilde{\vartheta}_i = \bar{\vartheta}_i \text{ az intervallum felosztással adott} \right)$ .

Meg kívánjuk jegyezni, hogy a  $H(\omega)$  formális kiszámítását alkalmas átalakítások bevezetésével meg tudjuk könnyíteni.

Az értelmezés szerint

$H = h(1 - u)$ , ahol  $u = \frac{\vartheta - \vartheta_0}{\vartheta_k - \vartheta_0}$ , tehát  $H = h \frac{\vartheta_k - \vartheta}{\vartheta_k - \vartheta_0}$ , viszont  $h(\vartheta_k - \vartheta) = Q(t)$  a felületegységen időegység alatt beáramló hőmennyiség.

Így

$$H = \frac{Q(t)}{\vartheta_k - \vartheta_0}$$

alakban írható.

### 3. A hőmérsékleteloszlás kiszámítása

A szakaszhatárokhoz tartozó  $t_i$  felhevítési időpontokban egyszerű módon kiszámíthatjuk az előző közelítéseknek megfelelően a hőmérséklet sugármenti eloszlását is.

A hőmérséklettel arányos

$$w_i(\varrho, t) \approx -\frac{P_i}{q_i} + W_{i1} \cdot J_0(\nu_{i1} \varrho) e^{-\frac{1}{60 \cdot R^2} \nu_{i1}^2 \int_{t_{i-1}}^{t_i} \frac{dt}{(1 + \alpha \varphi t)^{\alpha_{0i}}}}$$

és az átlagos hőmérsékletet jelentő

$$\varphi_i(t) \approx -\frac{P_i}{q_i} + 2 q_i W_{i1} \frac{J_0(\nu_{i1})}{\nu_{i1}^2} e^{-\frac{1}{60 \cdot R^2} \nu_{i1}^2 \int_{t_{i-1}}^{t_i} \frac{dt}{(1 + \alpha \varphi t)^{\alpha_{0i}}}}$$

összefüggésekből adódik

$$w_i(\varrho, t) = -\frac{h_{0i}}{h_{1i}} + \frac{J_0(\nu_{i1} \varrho)}{J_0(\nu_{i1})} \cdot \frac{\nu_{i1}^2}{2 q_i} \left[ \varphi_i(t) + \frac{h_{0i}}{h_{1i}} \right],$$

mivel

$$\frac{P_i}{q_i} = \frac{h_{0i}}{h_{1i}}.$$



XIV. táblázat

$q_i$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,00		0,04471	0,06323	0,07743	0,08940	0,09994	0,10946	0,11822	0,12636	0,13401
0,0		0,14124	0,19950	0,24403	0,28143	0,31426	0,34383	0,37092	0,39603	0,41954
0,1	0,44168	0,46267	0,48264	0,50173	0,52003	0,53761	0,55456	0,57092	0,58675	0,60209
0,2	0,61697	0,63144	0,64550	0,65920	0,67256	0,68559	0,69831	0,71075	0,72291	0,73481
0,3	0,74646	0,75788	0,76907	0,78005	0,79082	0,80140	0,81178	0,82199	0,83202	0,84188
0,4	0,85158	0,86112	0,87051	0,87976	0,88886	0,89783	0,90667	0,91538	0,92396	0,93242
0,5	0,94077	0,94900	0,95712	0,96514	0,97304	0,98085	0,98856	0,99617	1,00369	1,01111
0,6	1,01844	1,02569	1,03285	1,03992	1,04692	1,05383	1,06067	1,06742	1,07411	1,08072
0,7	1,08725	1,09372	1,10012	1,10645	1,11271	1,11891	1,12505	1,13112	1,13713	1,14308
0,8	1,14897	1,15480	1,16058	1,16630	1,17196	1,17757	1,18313	1,18863	1,19409	1,19949
0,9	1,20484	1,21014	1,21540	1,22060	1,22577	1,23088	1,23595	1,24097	1,24595	1,25089
1,0	1,25578									

Megjegyezzük: 1. A  $H_i(\bar{\varphi}_i) \approx H(\bar{\varphi}_i)$  és a  $h_{li} \approx h'_{li}$  közelítések bevezetéséből adódó pontatlanság iterációs eljárással kiküszöbölhető.

Így pl. az első szakasz kezdőpontjában,  $t = 0$  időpillanatban ismerjük a felületi hőmérsékletet ( $w_{F_0} = \bar{\varphi}_0 = 1$ ). Az első szakaszra érvényes  $h'_{11}$  és  $\bar{\varphi}_1(t_1)$  értelmezés szerint pontos értékekkel a közelítő

$$\bar{w}_{F_1}^{(0)} = \bar{w}_1(\varrho = 1; t_1) \approx -\frac{h'_{01}}{h'_{11}} + \frac{\nu_{11}^2}{2q'_1} \left( \bar{\varphi}_1(t_1) + \frac{h'_{01}}{h'_{11}} \right)$$

alapján kiszámítható a  $\bar{\varphi}_1(t_1)$  átlagos hőmérséklettel meghatározott felső szakaszhatárhoz tartozó  $\bar{w}_{F_1}^{(0)}$  felületi hőmérséklet nulladrendű közelítése. Ezzel a közelítő  $\bar{w}_{F_1}^{(0)}$ , illetve a szakasz alsó határához tartozó pontos  $\bar{w}_{F_0}$  értékkel kiszámíthatjuk a  $h_{11}^{(1)}$  és a  $H_1^{(1)}$  elsőrendű közelítését. A  $h_{11}^{(1)}$  és a  $H_1^{(1)}$  alapján  $\bar{w}_1(\varrho; t_1)$  kifejezéséből számítható a  $\varrho = 1$  felületi hőmérséklet elsőrendű közelítése ( $\bar{w}_{F_1}^{(1)}$ ). Az iterációs lépések megismétlésével (melynek konvergenciája gyakorlatilag adódik) a  $h_{11}$ , illetve a  $H_i(\bar{\varphi}_1)$  meghatározható.

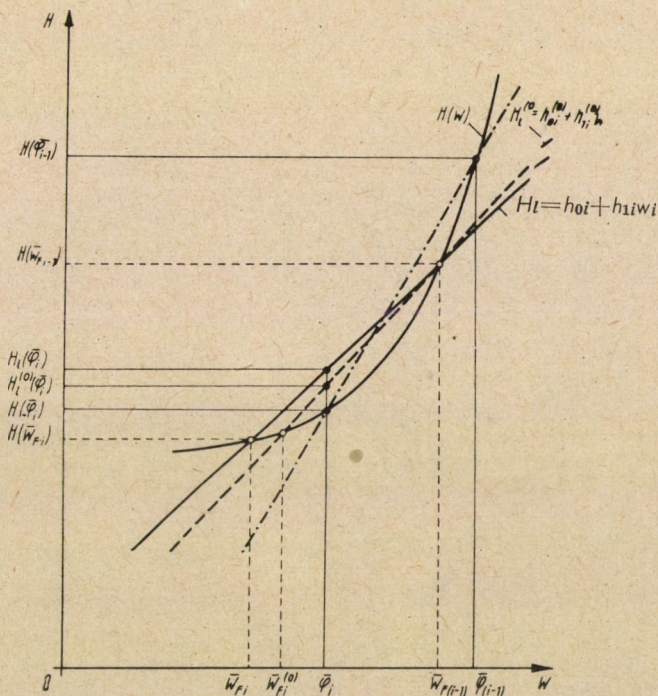
A második szakasz kezdőpontjához tartozó felületi hőmérséklet természetesen az előző szakasz végpontjának már kiszámított felületi hőmérsékletével. A második szakasz felső határához tartozó  $\bar{w}_{F_2}$ -t az előzőkben ismerttetett iterációs eljárással számíthatjuk. Szakaszról szakaszra előrehaladva megkapjuk a  $t_i$  felhevítési időpontokban  $\bar{w}_{F_i}$  felületi hőmérséklet, illetve az egyes szakaszok  $h_{li}$  és  $H_i$  értékeit.

2. Az egyenértékű hőátadási tényező alapján meghatározott  $H(w)$  függvény formális kiszámítását egyszerűsíthetjük. Ezt megelőzően már bemutatott átalakításokkal érvényes

$$H(w) = \frac{Q(t)}{\vartheta_{K_2} - \vartheta_0},$$

ahol  $Q(t)$  a  $\vartheta_{K1}(t)$  változó kemencehőmérséklet és a  $\vartheta_F(t)$  felületi hőmérséklet mellett ténylegesen beáramló hőmennyiség.

3. A változó kemencehőmérsékletű hevítés  $\vartheta(r, t)$  hőmérséklet eloszlását  $H_i(\bar{\varphi}_i) \approx H(\bar{\varphi}_i)$  és  $h'_{1i} \approx h_1$  közelítések mellett számítottuk ki. A közelítésekben a származó hiba meghatározásával nem foglalkoztunk, mert a számított esetekben a  $H_i(w)$  függvény és a kiegyenlítő  $H_l(w)$  közti eltérés máris eléggé kicsiny.



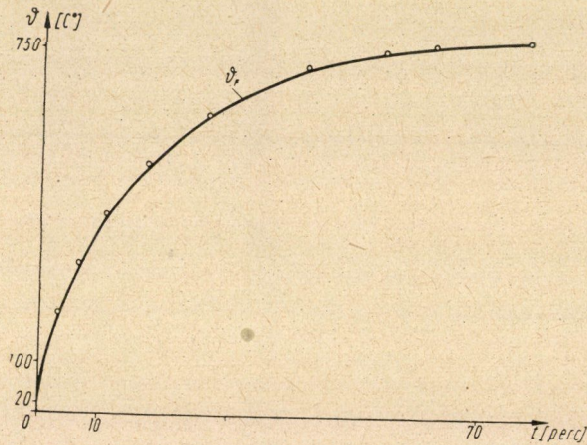
9. ábra

### 3. Alkalmazás

A második fejezetben két különböző iterációs intervallum felosztással meghatároztuk a változó hőmérsékletű kemencébe helyezett próbatest  $\vartheta(r, t)$  hőmérsékleteloszlását. A változó kemencehőmérsékletű hevítést visszavezettük egyenértékű konstans hőmérsékletű hevítésre, s így egy-egy iterációs lépés kiszámítását a konstans hőmérsékletű hevítésre érvényes differenciálegyenlet megoldása alapján végezhetjük el. A fenti egyszerűsített (technikai) megoldást is ezen változó kemencehőmérsékletű hevítés hőmérsékleteloszlásának meghatározásával fogjuk bemutatni, vagyis az egyenértékű konstans kemencehőmérsékletre történő visszavezetés után az iteráció egy-egy lépését az egyszerűsített megoldás alapján fogjuk kiszámítani.



A hevítési intervallumot ugyanúgy bontottuk szakaszokra, mint előző számításainknál. A szakaszhatárok  $\bar{\varphi}_i = \bar{w}_i$  és az  $A(\bar{\varphi}_i)$  értékeit a IV. táblázatban találjuk. A  $t = 0$  időpontban a kemence hőmérséklete  $929\text{ C}^\circ$ , a munkadarabé  $20\text{ C}^\circ$ . A  $H(\bar{\varphi}_0 = 1)$  függvény értéke az egyenértékű hőátadási tényező segítségével számítható [ $H(\bar{\varphi}_0 = 1) = 117,69$ ]. Az iteráció első lépésében ismét feltételezzük, hogy az első szakaszon belül a kemence hőmérséklete konstans ( $929\text{ C}^\circ$ ). A kemence hőmérséklete ezen feltételezett értékével és a szakaszhatárt jelentő átlagos testhőmérséklettel kiszámítható a függvény nulladrendű közelítése [ $H_1(\bar{\varphi}_1) = 117,23$ ]. A  $h'_{11}$  és a  $q'_{11}$  kiszámítása után a XIV. táblázatból interpoláció segítségével meghatározható a  $v'_{11}$  ( $v'_{11} = 0,1018$ ). Ezen adatok



10. ábra

ismeretében a test  $\Delta t_i$  felhevítési idejének nulladrendű közelítése számítható ( $\Delta t_i^{(0)} = 0,649$  perc).

Az iteráció második lépésénél az első szakasz végpontjában a nulladrendű felhevítési időhöz tartozó kemencehőmérsékletet vesszük ( $\vartheta_{K1}(t_1^{(0)} = 0,649) = 873\text{ C}^\circ$  I. táblázat), és feltételezzük, hogy ez az előző  $\vartheta_{K1}(t = 0) = 929\text{ C}^\circ$  hőmérséklethez viszonyítva a végponthoz tartozó valódi  $\vartheta_{K1}(t_1)$  kemencehőmérsékletnek jobb közelítése. A  $\bar{\vartheta}_1 = 80\text{ C}^\circ$ ;  $\vartheta_{K1}(t_1^{(0)}) = 873\text{ C}^\circ$  és  $\vartheta_{K2} = 780\text{ C}^\circ$  adatok ismeretében kiszámíthatjuk a felső szakaszhatárhoz tartozó  $H(\bar{\varphi}_1)$  függvény elsőrendű közelítését [ $H^{(1)}(\bar{\varphi}_1) = 96,71$ ]. Ezek után az előző lépés eljárásával azonosan kapjuk a felhevítési idő elsőrendű közelítését [ $\Delta t_1^{(1)} = 0,85$ ].

Az iterációt ily módon mindaddig folytatjuk, míg  $|\vartheta_{K1}(t_1^{(n-1)}) - \vartheta_{K1}(t_1^{(n)})| \leq 1\text{ C}^\circ$  nem lesz.

Szakasról szakaszra előrehaladva megkapjuk a test teljes felhevítési idejét. (Az iterációs módszer részletes leírása a I. fejezetben található.)

XV. táblázat

15\*

$\vartheta$	$t_i$	$\varphi_i$	$\Delta\varphi_i$	$A(\varphi_i)$	$\vartheta_K(t_i)$	$Q(t_i)$	$H = \frac{Q}{\vartheta_K - \vartheta_0}$	$h_{1i} = \frac{\Delta H}{\Delta\varphi_i}$	$q_{1i} = h_{1i} \frac{R}{U_m}$	$v_{1i}$	$\Delta t_i$	$t_i$
20 80	1	1,00000	0,09757	19,3258	929	89444	117,69	4,25	0,00517	0,1018	0,647	0,90
	0,65	0,90243		20,3542	929	89093	117,23					
	0,85			873	73498	96,71	215,02					
	0,89			855	68949	90,72	276,37					
				852	68211	89,75	286,36					
140	1,87	0,80776	0,09467	21,6367	852	6763	88,98	8,13	0,00890	0,7340	0,97	1,87
	2,05			798	55325	72,80	179,04	0,19623	0,6100	1,15	2,05	
				788	53241	70,05	208,09	0,22807	0,6570	1,17	2,07	
200	3,44	0,71387	0,09389	23,0462	788	52340	68,87	12,57	0,13774	0,5159	1,37	3,44
					734	42067	55,35	162,96	0,17860	0,5845	1,56	3,63
300	6,65	0,56476	0,14912	26,2636	734	39582	52,08	21,93	0,02403	0,2185	3,02	6,65
					691	32499	42,76	62,50	0,06850	0,3669	3,43	7,06
400	11,51	0,42572	0,13903	30,8411	691	28313	37,25	39,63	0,04344	0,2927	4,45	11,51
					665	24466	32,19	76,01	0,08331	0,4040	4,88	11,94
500	19,22	0,29680	0,12893	37,1085	665	17935	23,60	66,64	0,07342	0,3786	7,28	19,22
	18,36				691	21780	28,66	27,40	0,03003	0,2440	6,42	18,36
					688	21322	28,05	32,12	0,03521	0,2635	6,54	18,48
600	29,98	0,17969	0,11711	46,5775	688	11698	15,39	108,09	0,11847	0,4800	11,50	29,98
	26,96				730	18542	24,40	76,90	0,08429	0,4061	8,48	26,96
					721	17001	22,37	48,50	0,05316	0,3236	8,87	27,35
700	67,36	0,07413	0,10556	65,3263	721	3438	4,52	169,07	0,18530	0,5950	40,01	67,36
	41,33				772	12830	16,88	52,00	0,05699	0,3349	13,98	41,33
	44,98				754	9295	12,23	96,05	0,10528	0,4527	17,63	44,98
					759	10233	13,47	84,36	0,09245	0,4250	16,41	43,76
737	60,30	0,04000	0,3413	85,0000	759	4063	5,35	237,90	0,26074	0,6998	16,54	60,30
					770	6176	8,13	156,42	0,17143	0,5731	11,94	55,70
750	66,64	0,02711	0,01289	103,5880	768	3403	4,48	243,29	0,26665	0,7065	10,34	66,64
					772	4184	5,50	163,64	0,17935	0,5807	8,85	65,15
760	77,09	0,01679	0,01031	93,5930	772	2315	3,05	238,41	0,26130	0,7000	11,94	77,09
					774	2709	3,56	188,19	0,20626	0,6260	10,72	75,87
770	97,25	0,00840	0,00840	83,5980	774	785	1,03	301,45	0,33039	0,7804	21,38	97,25
	89,94				777	1380	1,82	208,19	0,22818	0,6567	14,07	89,94
					776	1181	1,55	239,40	0,26238	0,7013	15,71	91,58



Valamennyi szakasz utolsó iterációs lépésének adataiból a felület hőmérsékletét is kiszámítottuk (XVI. táblázat).

A 10. ábrán felrajzoltuk a  $\vartheta_F(t)$  felületi hőmérséklet függvényét és az előző számítás  $\vartheta_F(t_i)$  függvényértékeit jelentő pontokat.

XVI. táblázat

$\bar{\vartheta}_i = \tilde{\vartheta}_i$	$H$	$\bar{\varphi}_i$	$h_{1i}$	$h_{0i} = H - h_{1i} \bar{\varphi}_i$	$h_{0i}/h_{1i}$	$\varphi_i + \frac{h_{0i}}{h_{1i}}$	$\bar{w}_F$	$\vartheta_F$
80	89,75	0,90243	286,36	-168,66990	-0,58901	0,31342	0,88118	93,43
140	70,05	0,80776	208,09	-98,03680	-0,47113	0,33663	0,78969	151,40
200	55,35	0,71387	162,96	-60,98280	-0,37422	0,33965	0,69908	209,58
300	42,76	0,56476	62,50	7,46220	0,11939	0,68415	0,55266	308,55
400	32,19	0,42572	76,00	-0,16661	-0,00219	0,42353	0,41668	406,69
500	28,05	0,29680	32,12	18,51459	0,57628	0,87308	0,28468	510,07
600	22,37	0,17969	48,50	13,65439	0,28151	0,46121	0,17274	606,35
700	13,47	0,07413	84,36	7,21190	0,08549	0,15962	0,07041	703,67
737	7,61	0,04000	171,42	0,75828	0,00442	0,04442	0,03797	739,33
750	5,50	0,02711	163,64	1,06932	0,00653	0,03364	0,02564	751,42
760	3,56	0,01679	188,19	0,40390	0,00215	0,01894	0,01585	761,13
770	1,55	0,00840	239,40	-0,45600	-0,00190	0,00649	0,00799	770,49

Az eredmények összehasonlításából megállapíthatjuk, hogy a közelítő megoldás az egész hevítési tartományon belül kielégítő pontosságot biztosít. A teljes felhevítési időt 1%-on belüli pontossággal szolgáltatja.

Ezzel az eljárással a módszert jól ismerő, gyakorlott számító viszonylag rövid idő alatt meghatározhatja a test felmelegedési folyamatát leíró  $\vartheta(r, t)$  hőmérsékleteloszlást.

A módszer alkalmazását még megnehezíti az a körülmény, hogy a nálunk használatos szabványminőségi anyagok  $k(\vartheta)$ , illetve  $c(\vartheta)$  termikus paraméter értékei csak részben ismeretesek, így adott esetben  $k(\vartheta)$ , illetve  $c(\vartheta)$  értékeit mérések útján kellene meghatározni. A mérések eredményei és az irodalmi forrásokban található adatok alapján össze lehetne állítani egy  $\int_{\vartheta=0}^{\vartheta} k(\vartheta) d\vartheta$  táblázatot, mely a  $w$  és  $\varphi$  gyors számítását tenné lehetővé.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Végtelen homogén hengerszimmetrikus test hevítésének közelítő megoldása, időbelileg változó kemencehőmérséklet mellett vett 3. peremértékfeltétel esetén, hőmérséklettel változó termikus paraméterekkel. A változó kemencehőmérséklet melletti hevítés a termikus paraméterek megfelelő linearizálása után egy ún. egyenértékű hőtadási tényező segítségével az állandó kemencehőmérsékletet feltételező megoldásokra vezethetők vissza.

# KEPLER EGYENLETÉNEK ITERÁCIÓ NÉLKÜLI ALGEBRAI MEGOLDÁSA

BARKÁSZ EMIL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1959. január 19-én]

## I. A szokásos iterációs eljárás

Az égitestek mechanikájának egyik alapvető problémája nagy tömegű égitest körül kör- vagy ellipszispályán keringő, elhanyagolhatóan kis tömegű másik égitest mozgásának pontos meghatározása.

Általános esetben a két égitest tömegviszonya nem olyan, hogy az egyik égitest tömege a másik tömegéhez képest elhanyagolhatóan kicsiny lenne. Ebben az általános esetben mindkét égitest a közös súlypont körül végzi mozgását. Ilyenkor beszélünk „két-test problémá”-ról. E problémának különleges példája az, ha a két égitest közül az egyiknek tömege oly kicsiny, hogy a másikéhoz képest elhanyagolható. A világegyetemben ez az eset is igen gyakran előfordul. Ilyen például az ellipszispályán mozgó üstökösök Nap körüli keringése vagy legújabban, a mesterséges holdak föld körüli mozgása is.

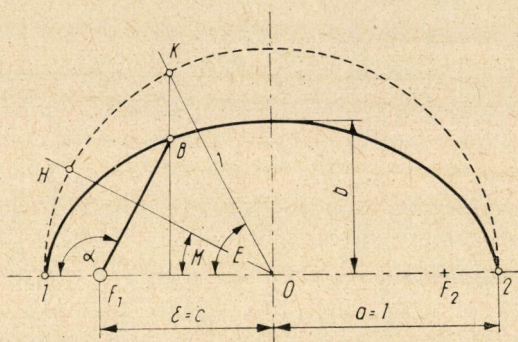
Ha ilyen különleges példát vizsgálunk, úgy a nagy tömegű égitestet a körülötte keringő másik égitesthez viszonyítva állónak kell elképzelnünk. Ha a kis tömegű égitest az álló égitest körül körpályán mozog, az álló égitest a kör középpontjában foglal helyet; ha pedig a mozgás ellipszispályán történik, az álló égitest az ellipszis egyik gyújtópontjában van. Amennyiben a keringő égitest körpályán végzi mozgását, a mozgás a mechanikából ismeretes körmozgás törvényszerűségeivel jellemezhető, de szigorúan véve csak akkor, ha mindkét égitest tömege külön-külön saját tömegközéppontjába egyesítetten képzelhető el. Ugyanez a kikötés érvényes ellipszispályán mozgó égitest és az álló égitest viszonylatában is.

Földünk tudvalevőleg nem pontosan gömb alakú, hanem földrajzi sarkain belapult, ezenfelül tömege sem helyezkedik el egyenletesen a tömegközéppontból kiinduló gömbhéjakban. Ez a körülmény a kör- vagy ellipszispályán mozgó mesterséges holdak pályájában a szabályos mozgáshoz képest zavarokat, *perturbációkat* hoz létre.

Naprendszerünk bolygóinak mozgását KEPLER három fontos törvényt foglalja össze. E törvényeket KEPLER a bolygók mozgásának észlelési adatai

alapján fedezte fel, anélkül azonban, hogy törvényeinek indokolását elméletileg is le tudta volna vezetni. A törvények szükségszerű fennállását jóval később NEWTON bizonyította be. A tömegvonzás és az erőtvény megfogalmazása ennek a lányszű fizikusnak nevéhez fűződik. E Newton-féle törvények alapján KEPLER mindhárom törvénye, mint következmény, szükségszerűleg adódik a matematikai levezetések során.

KEPLER három törvényének alkalmazása közben felmerül annak a szükségessége, hogy a két-test probléma speciális esetében matematikailag írjuk le az ellipszispályán keringő égitest mozgásának törvényszerűségeit. E törvényszerűségek közül fontos volt azt megállapítani, hogy bizonyos időpillanatban az ellipszispályán keringő égitest pályájának melyik pontjában tartózkodik.



1. ábra

Legyen az ellipszis fél nagytengelyének hossza egységnyi, azaz  $a = 1$ . Az ellipszis numerikus excentricitása ( $\varepsilon$ ) és a fél kistengely között ekkor a következő összefüggés érvényes:

$$b = \sqrt{1 - \varepsilon^2}.$$

A keringő  $B$  bolygó és az  $F_1$  fókuszban levő állónak képzelt másik égitest viszonylagos helyzetét egy bizonyos  $t$  időpillanatban, poláris koordináta-rendszerben a pólustengelytől számított  $a$  szöggel jellemezhetjük.

Nyilvánvaló, hogy az  $a$  szögelforgás és az idő ( $t$ ) között határozott összefüggésnek kell lenni.

Amikor a keringő  $B$  bolygó és az álló égitest között a távolság a legkisebb, a  $B$  bolygó „napközelen” ha az  $F_1$  pontban a föld van („földközelen”) van; amikor pedig legtávolabbra kerül, azaz a 2. pontban, „naptávolban” („földtávolban”) halad el. A bolygó egy teljes körülfordulást  $T$  idő (az ún. keringési idő) alatt végez el az álló égitest körül.

KEPLER az ellipszispályán változó sebességgel haladó égitest mozgását olyan hipotetikus égitest mozgásával vetette össze, mely körpályán állandó szögsebességgel mozog. A körpálya sugara azonos az ellipszis fél nagytengelyével, s feltételezte, hogy a körpályán mozgó hipotetikus égitest keringési ideje megegyezik az ellipszispályán keringő valóságos égitest keringési idejével.

Tételezzük fel, hogy amikor a hipotetikus égitest a körpályán a fenn említett kikötések mellett az  $I$  pontból a  $H$  pontba jutott el, ugyanezen idő alatt a valóságos égitest az  $I$  pontból a  $B$  pontba érkezett. Ha  $\tau$ -val jelöljük az  $I$  pontra vonatkozó átmenetek azonos időpontját mind a valóságos, mind a hipotetikus égitestre vonatkozólag, s ha a hipotetikus égitest állandónak feltételezett szögsebessége  $\omega$ , úgy a körpályán mozgó égitest szögelforgására vonatkozólag érvényes, hogy ez az  $M$  szögelforgás a  $t$  időpillanatban :

$$M = \frac{2\pi}{T} (t - \tau) = \omega t.$$

Ha most a  $(t - \tau)$  időtartam alatt az  $I$  pontból a  $B$  pontba érkezett valóságos égitest helyzetét szögelforgással akarjuk érzékeltetni, akkor ezt az  $a$  szöggel fejezhetjük ki. Ha a  $B$  pontból az ellipszis nagytengelyére merőlegest emelünk, e merőlegessel a körpályát a  $K$  pontban metszettük el. A körpálya  $O$  középpontját e  $K$  ponttal összekötve, az  $\widehat{OK} \sphericalangle = E$  szöget alkottuk meg, mely szög közvetve a valóságos bolygó  $B$  helyzetét is meghatározza és pedig abban az esetben, ha az  $M$  szögnek, mint időpillanatot meghatározó szögnek az  $E$  szöggel való összefüggését ismerjük, de az  $a$  szög ilyen összefüggését még nem. Ez az alap gondolat is KEPLERTŐL származik éppúgy, mint a fenn leírt teljes eszmemenet.

KEPLER az időt meghatározó  $M$  szöget „közepes anomáliá”-nak, az  $E$  pozíciót meghatározó szöget „excentrikus anomáliá”-nak, az  $a$  pólusszöget, mely a valóságos bolygó helyzetét az ellipszis fókuszában levő álló égitesthez viszonyítottan adja meg, „valóságos anomáliá”-nak nevezte el. Ez az értekezés az  $M$  szöget „időszög”-nek, az  $E$  szöget „központi szög”-nek, az  $a$  szöget pedig „pólusszög”-nek említi és nevezi, főleg azért, mivel az „anomália” szót sok esetben értelemszavarónak tekinti.

KEPLER az  $M$  és  $E$  szögek, valamint az ellipszispálya excentricitása ( $\varepsilon$ ) között a következő összefüggést vezette le (a levezetést mellőzöm) :

$$M = E - \varepsilon \sin E$$

Ez a nevezetes *Kepler-egyenlet*, mely transcendens trigonometrikus egyenlet, melyben  $M$  és  $\varepsilon$  adott független változók,  $E$  pedig a függő s kiszámítandó változó. ( $M$  és  $E$  ívmértékben.)



A központi  $E$  szög és az  $a$  pólusszög között az alábbi összefüggés vezethető le :

$$\operatorname{tg} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1+\varepsilon}{1-\varepsilon}} \operatorname{tg} \frac{E}{2}.$$

Ezt az egyenletet a szakirodalom Gauss-egyenletnek nevezi (Valószínű, hogy ezt az összefüggést már KEPLER is ismerte.) Ha tehát KEPLER egyenlete alapján az adott  $M$  időszög  $s$  az ellipszispálya  $\varepsilon$  excentricitása felhasználásával a központi  $E$  szöget kiszámítottuk,  $E$  segélyével közvetett úton az  $a = f(M, \varepsilon)$  függvényt is meghatároztuk.

Látható, adott  $M$  és  $\varepsilon$  értékek mellett az elsődleges feladat a központi  $E$  szög meghatározása a Kepler-egyenlet alapján. Ismeretes, hogy olyan transzcendens trigonometrikus egyenletek, melyekben a függő és kiszámítandó szög-változó additív alakban, ívmértékben és trigonometrikus szögfüggvény kifejezésben is előfordul, általában csak igen ritka esetben oldhatók meg algebrai módon ; ezért Kepler egyenletét is iterációs közelítő számítással szokás megoldani, oly pontossáig végezve az iterációt, mely a csillagászati számításokkal szemben támasztott követelményeket kielégíti. Ez a pontosság pedig a szögmásodperc századrészének meghatározását is megkövetelheti. Ezt a számítási pontosságot iterációs eljárással el is érhetjük. Be kell azonban ismerni, hogy ez a számítási mód igen kellemetlen s ezenfelül — elektronikus számológép hiányában — időtrabló és fáradságos is.

Az iterációs eljárás lényege :

$$\left. \begin{aligned} E &= M + \varepsilon \sin E \\ E_1 &= M + \varepsilon \sin M \\ E_2 &= M + \varepsilon \sin E_1 \\ E_3 &= M + \varepsilon \sin E_2 \\ &\quad \downarrow \\ &\quad \text{stb.} \end{aligned} \right\} \quad \left| \begin{aligned} E - E_1 &= \varepsilon (\sin E - \sin M) ; \\ |\sin E - \sin M| &< |E - M| = \\ &= |\varepsilon \sin E| \leq \varepsilon \\ |E - E_1| &\leq \varepsilon^2 \end{aligned} \right.$$

A baloldalon feltüntetett iterációt legalább addig kell folytatni, amíg az újbóli iteráció  $E_i$  eredményében csak olyan differenciát hozott  $E_{i-1}$  értékéhez viszonyítva, mely a csillagászati számítás megkívánt pontossága szempontjából már nem jelentős.

Sok esetben érdemes megrövidíteni az iterációs eljárást aképpen, hogy olyan diagramot használunk, mely az  $E = f(M, \varepsilon)$  összefüggést kb. 20 ívpercnyi pontossággal leolvashatólag megadja. Az ilyen diagram úgy készül, hogy  $\varepsilon$ -nak  $s$  a független változónak felfogott  $E$  központi szögnek felvett értékei alapján az  $M$  időszöget a Kepler-egyenlet alapján kiszámítjuk, s az eredményt

diagramban felrajzoljuk. Elegendő, ha  $E = 15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135, 150$  és  $165$  fok értékeket, továbbá  $\varepsilon = 0,2, 0,4, 0,6, 0,8$  és  $1$  értékeket vesszük alapul a diagram megszerkesztésénél. A koordinátákon  $1 \text{ mm} = 20'$  léptéket alkalmazva, az adott  $M$  időszög és  $\varepsilon$  numerikus excentricitás mellett a diagramból a központi szög  $E_t$  tájékoztató értéke kb.  $20$  ívpernyi pontossággal meghatározható. Így az iterációs számítás  $E_t$  tájékoztató értékével kezdhetjük el:

$$\begin{aligned} E_I &= M + \varepsilon \sin E_t \\ E_{II} &= M + \varepsilon \sin E_I \\ E_{III} &= M + \varepsilon \sin E_{II} \\ &\downarrow \\ &\text{stb.} \end{aligned}$$

Az első iterációs lépések  $E_n$  értékét erős mértékben javítják, illetve közelítik a valóságos  $E$  értékhez; a további iterációknál a helyesbítés mindig csökkenő tendenciát mutat. Sokszor előfordul, hogy —  $M$  és  $\varepsilon$  értékétől függően —  $5, 6$ , esetleg  $7$  iterációt kell alkalmazni a kellő pontosság eléréséhez még abban az esetben is, ha az első lépést nem  $\sin M$ -mel, hanem  $\sin E_t$ -vel kezdjük. Érzékeltessük ezt egy gyakorlati példán:

Legyen  $M = 37^\circ 20'$ ,  $E = 0,45$  s  $E_t$  tájékoztató értékének felhasználásával legyen  $E_I = 59^\circ 33' 42,163''$ .

Az iterációk során a további eredmények a következők:

$$\begin{aligned} E_I &= 59^\circ 33' 42,163'' \\ E_{II} &= 59^\circ 33' 47,046'' \\ E_{III} &= 59^\circ 33' 47,516'' \\ E_{IV} &= 59^\circ 33' 47,601'' \\ E_V &= 59^\circ 33' 47,620'', \text{ ívmértékben } E_v = 1,03957450. \end{aligned}$$

Tételezzük fel, hogy a csillagászati számításnál elegendő  $\frac{1}{10}$  szögmásodpercnek megfelelő pontosság. Ebben az esetben további iterációra már nincs szükség.

## II. Új módszer a központi $E$ szög meghatározására

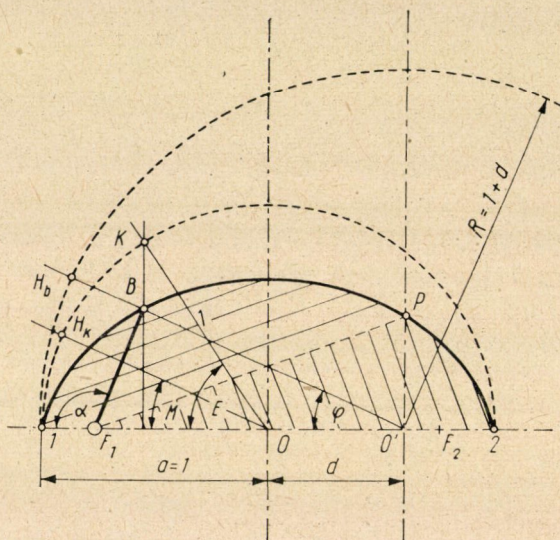
Szerző egy a Magyar Tudományos Akadémiához benyújtott értekezésében olyan számítási eljárást javasolt, mellyel a mesterséges holdak megjelenését tetszőleges földrajzi hely zenitje felett, valamint a megjelenések ismétlődését közelítő pontossággal ( $30$ — $35$  időmásodperc) meg lehet határozni.

A számítási eljárás alapelve a következő (2. ábra).

A 2. ábrán az  $r = 1$  sugarú (Kepler) körön kívül egy  $R = 1 + d$  sugarú kör is fel van tüntetve. E nagyobb sugarú kör középpontja az ellipszis középpontjától  $d$  távolságra esik ( $0'$  pont). Az  $0'$  pontban az ellipszis nagytengelyére emelt merőleges az ellipszispályát  $P$  pontban metszi. Ha ezt a  $P$  pontot az

$F_1$  fókuszban levő állónak feltételezett égitest középpontjával összekötjük, olyan egyenest kapunk, mely az ellipszis nagytengely feletti területét két egyenlő részre osztja. (A  $d$  távolság  $E$  értékétől függőleg  $e$  területfelezés elve alapján határozható meg.)

Ha most feltételezzük, hogy a nagyobb sugarú körön egy hipotetikus mesterséges hold állandó szögsebességgel kering s keringési ideje azonos a valóságos mesterséges hold keringési idejével, ezenfelül feltételezzük, hogy a perigeumpontot mind a hipotetikus, mind a valóságos mesterséges hold



2. ábra

azonos időpillanatban lépi át, úgy a hipotetikus mesterséges holdra vonatkozólag szintén érvényes, hogy

$$M = \frac{2\pi}{T} (t - \tau) = \omega (t - \tau).$$

Ha azt képzeljük el, hogy egy megfigyelő a nagyobb sugarú kör  $O$  középpontjából figyeli a valóságos mesterséges hold mozgását, akkor azt tapasztalná, hogy a  $B$  pontba beérkezett valóságos holdat és a  $H_B$  pontba beérkezett hipotetikus holdat csaknem egy egyenesben, tehát fedésben látja. Teljesen pontos fedést csak az  $O'1$ ,  $O'2$  és  $O'P$  irányokban észlelné. Ennek az a magyarázata, hogy a 2. ábra szerint a  $\varphi$  szög

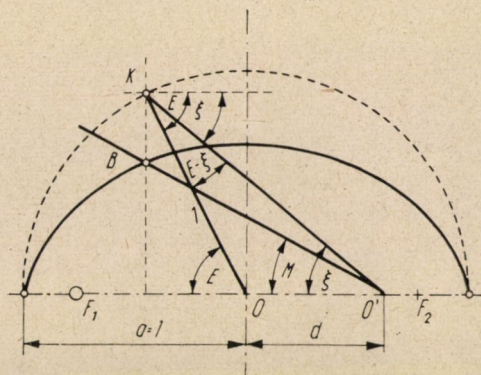
$$\varphi \simeq M.$$



Ennek a közelítő összefüggésnek a felhasználásával könnyű az  $a = f(\varphi, \varepsilon)$  kapcsolatot is levezetni s ezt diagramban ábrázolni, ami gyors pozíció meghatározást tesz lehetővé. (A részletekre itt nem térünk ki.)

Annak az elérése céljából, hogy a fenn említett pontos fedés az ellipszispálya bármely pontjában levő mesterséges hold és a hipotetikus mesterséges hold között fennálljon,  $d$  értékét variábilisnek kell vennünk. Ekkor természetesen a nagyobb kör sugara is változó lesz.

Határozzuk meg  $d$  értékét tetszőleges  $M$  és  $\varepsilon$  mellett, azaz állapítsuk meg a  $d = f(M, \varepsilon)$  összefüggést.



3. ábra

Az ábra szerint az  $OKO'$  általános háromszögből

$$[a = 1 \text{ és } \varphi = M]$$

$$d = \frac{\sin(E - \xi)}{\sin \xi},$$

ahol  $\xi$  és  $M$  összefüggése  $\varphi = M$  esetén

$$\operatorname{tg} \xi = \frac{\operatorname{tg} M}{b} = \frac{\operatorname{tg} M}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}.$$

Adott  $M$  és  $\varepsilon$  esetén tehát adott  $\xi$  is;  $E$  még ismeretlen.

Az  $(E - \xi)$  szögnek jellegzetes tulajdonsága, hogy amíg  $\xi$  értéke  $0^\circ$ -tól  $180^\circ$ -ig változik, addig  $(E - \xi)$   $0^\circ$  és  $\varepsilon$ -tól, valamint  $\xi$ -től függőleg egy maximális érték között mozog. Ez a maximális érték még  $\varepsilon = 0,95$  mellett sem lépi túl az  $50^\circ$ -os szélső értéket. E jellegzetes tulajdonsága miatt ajánlatos az  $(E - \xi)$  szöveget külön jelöléssel ellátni [ $E - \xi = z$ ] s ezt a szöveget  $d$  értékének kialakulása szempontjából független változónak tekinteni.



$\xi$  értékének és  $z$  értékének bevezetésével a 4. ábra szerint a következő összefüggés mutatható ki.

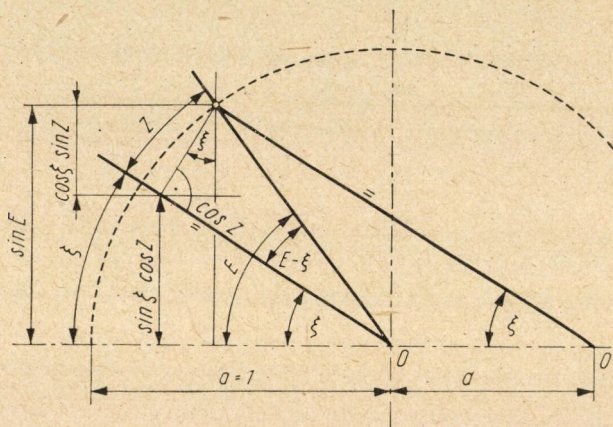
Ha 
$$\begin{cases} E - \xi = z, & E = \xi + z \\ \varphi = M, \end{cases}$$

úgy

$$\sin E = \sin \xi \cdot \cos z + \cos \xi \sin z$$

és

$$d = \frac{\sin z}{\sin \xi}.$$



4. ábra

A kettősen aláhúzott egyenletet Kepler egyenletébe helyettesítve :

$$\frac{\xi - M}{\varepsilon} = \sin \xi \cdot \cos z + \cos \xi \sin z - \frac{z}{\varepsilon} \quad \text{I}$$

vagy rövidebben felírva :

$$\frac{\xi - M}{\varepsilon} = \sin(\xi + z) - \frac{z}{\varepsilon},$$

$\cos z$  helyett  $\sqrt{1 - \sin^2 z}$ -t írva és a  $k = \frac{\sin z}{z}$ , azaz

$\sin z = kz$  jelölést alkalmazva írhatjuk, hogy

$$\frac{\xi - M}{\varepsilon} = \sin \xi \cdot \sqrt{1 - k^2 z^2} + \cos \xi \cdot kz - \frac{z}{\varepsilon}. \quad \text{II}$$

Ez az egyenlet Kepler egyenletének már *algebrai* alakja, és pedig másodfokú egyenlet alakjában. Tételezzük fel, hogy  $k$  értéke ismeretes; ekkor  $z$  értéke — az értelemszerűleg helyes gyök alkalmazása mellett — a másodfokú algebrai egyenlet megoldása után:

$$z = \frac{\sin \xi \sqrt{\beta^2 - m^2 k^2 - mn}}{\beta^2}, \quad \text{III}$$

$$\text{ahol } m = \frac{\xi - M}{\varepsilon}, \quad n = \frac{1}{\varepsilon} - k \cos \xi \text{ és } \beta^2 = n^2 + k^2 \sin^2 \xi.$$

Az egyelőre még ismeretlen  $k$  faktorra vonatkozólag a következő megjegyzéseket kell tennünk:

1. Mivel  $z$  szög értéktartománya még igen nagy excentricitások mellett is — legalábbis  $E$  és  $\xi$  értéktartományához viszonyítva — aránylag szűknek mondható,

$$k = \frac{\sin z}{z}$$

értéktartománya még szűkebb.

$k$  értéke még  $\varepsilon = 0,95$  excentricitás mellett is 1 és 0,88 között van [ $1 > k > 0,88$ ], kisebb excentricitások mellett még szűkebb az értéktartomány. Ha durva közelítéseknél  $k$ -nak középértékével számolunk, úgy *tiszta algebrai megoldásról* beszélhetünk. Mivel csillagászati számítások az ilyen durva közelítést nem engedhetik meg,  $k$  pontosabb meghatározására lesz szükség, ha a III. alatti egyenletet mint algebrai megoldást használni akarjuk.

2.  $k$  értéke a II. alatti egyenlet szerint  $z$  értékét csak kisebb mértékben befolyásolhatja. Ha ugyanis  $k$  értékében hibát követünk el, ez a hiba a  $\sin \xi \cdot \sqrt{1 - k^2 z^2} \mp \cos \xi \cdot kz$  összegben egymást általában kiegyenlítheti;  $k$  értéke legalábbis  $z$  értékének pontossága tekintetében jelentéktelenebb szerepet játszik, mint  $\xi$  vagy  $\varepsilon$  értékei.

3.  $k$  értékének pontosabb előzetes meghatározása a következő módon végezhető el:

Itt is, mint az iterációnál,  $E_t$  tájékoztató és a már említett diagramból kiolvasható értékéből indulhatunk ki. A diagram pontossága kb. 20' ívpercenyi. Interpolációs számítást végzünk és pedig egyszerűség kedvéért nem parabolikus, hanem lineáris interpolációt veszünk alapul.  $E_t$  értékét 20 ívperccel növelve,  $E_2$  értéket, 20 ívperccel csökkentve  $E_1$  értéket kapunk.  $E_2$  és  $E_1$ -et független változónak tekintve, az adott  $\varepsilon$  excentricitással KEPLER egyenlete alapján kiszámítjuk  $E_2$ -höz tartozó  $M_2$  és az  $E_1$ -hez tartozó  $M_1$  értékeket. Ezzel az adott  $M$  és  $\varepsilon$  értékek felhasználásával  $k$  értékének meghatározá-

sára alkalmas  $E_k$  interpolációs értéket kapjuk a következő interpolációs formula alkalmazásával :

$$E_k = E_1 + \frac{E_2 - E_1}{M_2 - M_1} (M - M_1).$$

Ennek alapján  $k$  értékének meghatározására szolgáló  $z_k$  érték (nem azonos a III. egyenletből számítható  $z$  értékkel).

$$z_k = E_k - \xi \quad \text{és így} \quad k = \frac{\sin z_k}{z_k}$$

vagy részletesen kiírva:  $k = \frac{\sin(E_k - \xi)}{E_k - \xi} =$  határozott számérték.

Ezt a határozott számértéket helyettesítjük be a III. egyenletbe s így alapjában véve ezzel a *metódussal Kepler egyenletének iteráció nélküli algebrai megoldását* kaptuk, mert  $z$  pontos értékével az  $E$  központi szög, mely adott  $M$  és  $\varepsilon$  értékekhez tartozik, egyszerűen

$$E = \xi + z. \quad \text{IV}$$

Az  $a$  pólusszög  $e$  metódussal is Gauss

$$\operatorname{tg} \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{1 + \varepsilon}{1 - \varepsilon}} \operatorname{tg} \frac{\xi + z}{2}$$

egyenletéből adódik.

Meg kell még emlékezni a III. algebrai egyenlettel nyerhető  $z$ , illetve  $E$  szögek pontosságáról is. E pontosság oly nagyfokú, hogy a legtöbb csillagászati számításnál iterációra szükség egyáltalában nincs.

A pontosság érzékeltetésére álljon itt a már említett gyakorlati példa :

$M = 37^\circ 20'$ ,  $\varepsilon = 0,45$  a szokásos iterációs eljárással, ha  $E_t$  tájékoztató értékből indulunk ki, az ötödik iteráció után

$$E_v = 1,03957450,$$

az algebrai egyenlettel pedig  $E$  értéke

$$E_{\text{alg.}} = 1,03957435$$

radiánnak adódik.

A különbség 0,000 000 15 radián, ami szögmásodpercben 0,031"-nek felel meg.

Meg kell még említeni, hogy az algebrai egyenlet igen egyszerű alakot ölt, ha  $\xi = M = \frac{\pi}{2}$  (az ellipszis félterület felező egyenesének kiszámítására használható alak). Ekkor ugyanis  $\xi - M = 0$ ,  $\sin \xi = 1$  és  $\cos \xi = 0$ , amivel

$$z_f = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{\varepsilon^2} + k^2}}.$$

Ha pl.  $\varepsilon = 0,5$ ,  $\xi = M = \frac{\pi}{2}$ , úgy e képletből ( $k = 0,9665705$ )

$$z_f = 25^\circ 47' 37''$$

és

$$df = 0,4351008 \cdot \sin z_f.$$

Felmerül még egy gyakorlatilag igen fontos kérdés: Melyik számítási mód mellett lehet gyorsabban a középponti  $E$  szög értékéhez jutni, az iterációs módszerrel vagy a II. algebrai egyenlettel?

A válasz: a számítás gyorsasága a szerző ez irányú ellenőrzött kísérletei szerint körülbelül egyforma. Világos, hogy az elektronikus számológépek korszakában a KEPLER-egyenlet megoldása — különösen az iterációs módszer alapulvételével, digitális rendszerű számológép használata mellett — nem jelent akadályt; ilyen számológép birtokában *azonnal* teljesen pontos eredményhez jutunk. De vajon: általános-e már az elektronikus számológépek használata az egész világon?

Mindezekről függetlenül a szerző úgy véli, hogy a KEPLER-egyenlet iteráció nélküli algebrai megoldása feljegyzésre érdemes.

#### ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző egy korábbi értekezésének további értékelése folyamán lehetőséget látott a Kepler-egyenlet iteráció nélküli algebrai megoldására. A keresett  $E$  központi szög („excentrikus anomália”) számítható az  $E = \xi + z$  összefüggéssel is, ahol  $\xi$  adott ( $\operatorname{tg} \xi = \frac{\operatorname{tg} M}{b}$ ),  $z$  pedig a következőleg fejezhető ki algebrai egyenlettel:

$$z = \frac{\sin \xi \sqrt{\beta^2 - m^2 k^2 - mn}}{\beta^2}, \text{ ahol } m = \frac{\xi - M}{\varepsilon}$$

$$n = \frac{1}{\varepsilon} - k \cos \xi, \beta^2 = n^2 + k^2 \sin^2 \xi, \text{ és } k = \frac{\sin z_k}{z_k} = f(\xi, \varepsilon)$$

és határozott számérték.

Az algebrai egyenlettel végzett számítás gyorsasága a szokásos iterációs számítás gyorsaságával körülbelül egyenértékű.

\* \* \*

#### HOZZÁSZÓLÁS BARKÁSZ EMIL „KEPLER EGYENLETÉNEK ITERÁCIÓ NÉLKÜLI ALGEBRAI MEGOLDÁSA” C. TANULMÁNYÁHOZ

A szerző problémája a geodézia és asztronómia határterületén már inkább az asztronómia körébe vág. Nem ismerem ezért részletesen azokat a módszereket, amelyeket KEPLER szóban forgó

$$M = E - \varepsilon \sin E$$

egyenletének ( $M$  és  $\varepsilon$  adott,  $E$  pedig számítandó) megoldására már megadtak. A szerző által is közölt régebbi iterációs módszer valóban elég lassan vezet a végeredményhez. Ennél gyorsabb a szerző algebrai módszere, amely azonban csak a megoldás módja tekintetében algebrai, mert



a valóságban a III. egyenletnek  $k$ -értéke is a keresett  $z$  érték függvénye. Igaz, hogy ezen  $k$ -érték számítására szabatos módszert ad meg és így iteráció nélkül jut célhoz.

Meg kívánom azonban jegyezni, hogy iteráció nélkül más úton is célhoz lehet jutni. Ha pl. az előbbi egyenletben  $\sin E$ -t sorba fejtjük, s az inverz függvényt képezzük,  $E$ -t  $M$  és  $\varepsilon$  függvényében egy hatványsorral fejezzük ki. Ha  $\varepsilon$  elég kicsiny (és ez rendszerint ilyen), a sor elég gyorsan konvergál.

De iterációs módszerrel is gyorsan juthatunk célhoz, ha a következőképpen járunk el:  $E$ -re egy  $E_t$  közelítő tájékoztató értéket veszünk fel (mint a szerzőnél is), s keressük ennek  $\Delta E$  kiegészítő értékét, akkor, tekintetbe véve, hogy

$$\sin(E_t + \Delta E) = \sin E_t \cos \Delta E + \cos E_t \sin \Delta E = \sin E_t + \Delta E \cos E_t,$$

a kiinduló egyenletet a következőképpen írhatjuk:

$$M = E_t + \Delta E - \varepsilon \sin E_t - \Delta E \varepsilon \cos E_t = E_t - \varepsilon \sin E_t + \Delta E (1 - \varepsilon \cos E_t).$$

Ebből a keresett kiegészítő érték:

$$\Delta E = \frac{M - E_t + \varepsilon \sin E_t}{1 - \varepsilon \cos E_t}.$$

Az így kiszámított  $\Delta E$ -vel megjavítjuk  $E_t$  értékét. Ezzel a jobb  $E_t$ -vel a számítást megismételjük. A kapott újabb  $\Delta E$ -vel a jobb  $E_t$ -t javítjuk meg és a számítást addig folytatjuk, míg az utolsó számított  $\Delta E$  nullának nem vehető.

A szerző példájában  $M = 37^\circ 20'$ ,  $\varepsilon = 0,45$  és  $E_t = 59^\circ 33' 42,163''$ .

Ennek megfelelően:

$$\Delta E_I = \frac{0,651\,588\,975 - 1,039\,547\,005 + 0,387\,978\,894}{1 - 0,227\,974\,526} = 0,000\,027\,025.$$

Ebből az újabb  $E_t = 1,039\,574\,030$ .

Ennek segítségével

$$\Delta E_{II} = \frac{0,651\,588\,975 - 1,039\,574\,030 + 0,387\,985\,064}{1 - 0,227\,964\,041} = 0,000\,000\,011.$$

Ebből a harmadik  $E_t = 1,039\,574\,041$

s így

$$\Delta E_{III} = \frac{0,651\,588\,975 - 1,039\,574\,041 + 0,387\,985\,066}{1 - 0,227\,964\,037} = 0$$

már teljesen nullát ad. Két iteráció tehát már célhoz vezetett, s így a számítás gyorsabbnak mondható, mint a szerző részéről megadott—kétségtelenül szép és elvileg érdekes—módszer.

Összehasonlításul közöljük az eredményeket. Az eddigi iterációs módszerrel (5 közelítés útján)

$$E = 1,039\,574\,50 \text{ rad.}$$

A szerző algebrai módszerével:

$$E = 1,039\,574\,35 \text{ rad.}$$

Az itt közölt iterációs módszerrel (2 közelítés útján)

$$E = 1,039\,574\,041 \text{ rad.}$$

Ez utóbbi értékünket behelyettesítve az első egyenletbe ez pontosan kielégül, míg a Barkász-féle algebrai megoldásnál

$$0,651\,588\,975 = 1,039\,574\,350 - 0,387\,985\,137 = 0,651\,589\,213$$

értékekből  $-0,000\,000\,238$  ellentmondás keletkezik. A mi értékünk tehát amellet pontosabb.

*Tárczy-Hornoch Antal*

# A FORGATTYÚHÁZ RELATÍV TÉRFOGATÁNAK HATÁSA A SZÍVÁSI FOLYAMATRA

SITKEI GYÖRGY

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, MEZŐGAZDASÁGI GÉPTANI TANSZÉK

[Beérkezett 1959. február 11-én]

## Bevezetés

A forgattyúház öblítésű kétütemű motoroknál a töltőszivattyú feladatát a forgattyúház tölti be. A henger friss levegővel való ellátása tehát, az öblítés minőségi lefolyása mellett, a forgattyúház feltöltésétől függ. Ezért a forgattyúház jó volumetrikus hatásfoka elengedhetetlen feltétele a nagy effektív középnyomásnak.

A forgattyúház feltöltési viszonyainak mind elméleti, mind pedig kísérleti vizsgálata igen bonyolult probléma, amennyiben a töltési viszonyokat a szívócsőben, valamint magában a forgattyúházban lejátszódó jelenségek nem határozzák meg. Lényeges hatással van még a henger, valamint a kipufogórendszer öblítés alatti dinamikája is. Ez azt jelenti, hogy a négy rendszer (szívócső, forgattyúház, henger- és kipufogórendszer) differenciál egyenleteinek együttes megoldása adná az egzakt megoldást. Ilyen számítási módszer ma még nem ismeretes.

Szakkörökben igen elterjedt az a vélemény, hogy a forgattyúház relatív térfogatának csökkentése minden esetben javítja a volumetrikus hatásfokot s ezzel az elérhető maximális effektív középnyomást. Elméleti és kísérleti vizsgálatok alapján kimutatjuk, hogy a fenti felfogás nem egyértelműen helytálló s bizonyos viszonyok között annak ellenkezője is lehetséges.

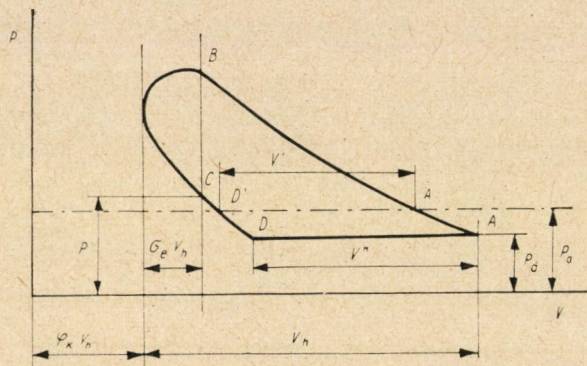
## *A volumetrikus hatásfok*

A forgattyúház elméleti indikátor diagramját az 1. ábra mutatja, ahol  $\varphi_k \cdot V_h$  — a forgattyúház térfogata a dugattyú alsó holtponthelyzeténél,

$\sigma_e$  — az öblítőrés relatív hossza a lökethez viszonyítva, százalékban.

A dugattyúnak felfelé mozgásakor a forgattyúházban depresszió jön létre.  $D$  pontban nyitnak a szívószelepek és  $DA$  vonal mentén levegő beáramlás történik a forgattyúházba. A dugattyú lefelé haladva az  $AB$  vonal men-

tén komprimál, majd  $B$  pontban nyitnak az öblítőrések.  $BC$  vonal mentén a levegő átáramlik a forgattyúházból a hengerbe,  $C$  pontban az öblítőrések zárnak. A  $CD$  vonal mentén a forgattyúházban maradt levegő expandál.



1. ábra

A forgattyúház szívási ( $p_a$ ) végnyomásra vonatkoztatott volumetrikus hatásfoka

$$\eta'_{of} = \frac{V''}{V_h}, \quad (1)$$

ahol  $V''$  — a forgattyúházba beszívott levegő térfogata ( $p_a$ -ra vonatkoztatva).

Ha a  $CD$  görbeszakaszt politróp állapotváltozásnak vesszük, akkor

$$(\varphi_k \cdot V_h + \sigma_e \cdot V_h) p'^{\frac{1}{\kappa}} = (\varphi_k V_h + V_h - V'') p_a^{\frac{1}{\kappa}},$$

ahonnan

$$\eta'_{of} = \frac{V''}{V_h} = 1 - \left[ (\varphi_k + \sigma_e) \cdot \left( \frac{p'}{p_a} \right)^{\frac{1}{\kappa}} - \varphi_k \right]. \quad (2)$$

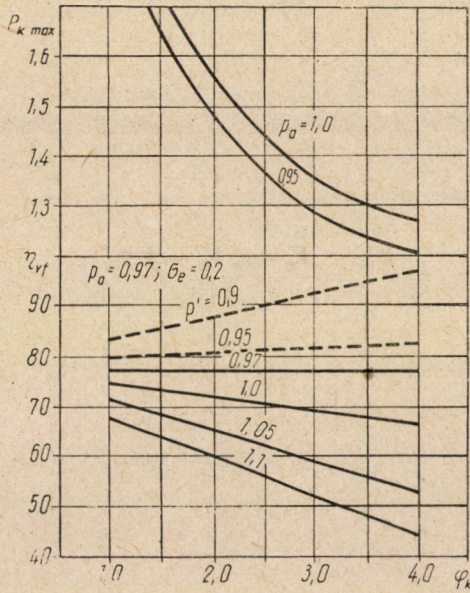
Az egyenletből látható, hogy  $p'$  nyomás növekedésével a volumetrikus hatásfok erősen csökken.  $p'$  nyomás értékét főleg az öblítés alatti hengernyomás szabja meg, melyet viszont a kipufogórészek időszelvénye és a kipufogórendszer dinamikája befolyásol.

Indikátor diagramok feldolgozásakor célszerűbb a volumetrikus hatásfokot az atmoszférikus ( $p_0$ ) nyomásra vonatkoztatni. Ekkor

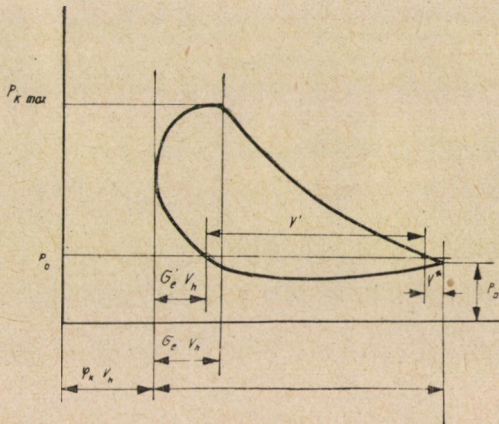
$$\eta_{vf} = \frac{V'}{V_h},$$

ahol  $V'$  — az a térfogat, melyet az indikátor diagramon az  $A'D'$  szakasz jelez (1. ábra).





2. ábra



3. ábra

Az  $\eta_{vf}$ oefficiensek közötti összefüggést így fejezhetjük ki

$$\eta_{vf} = \eta'_{vf} \cdot \left(\frac{p_a}{p_0}\right)^{\frac{1}{\kappa}} \tag{3}$$

A 2. ábrán látjuk  $\eta_{vf}$  változását  $p'$  nyomás és a  $\phi_k$  tényező függvényében. Mint látható,  $\phi_k$  növekedésével  $\eta_{vf}$  értéke különbözőképpen változik attól függően, hogy a  $p'$  és  $p_a$  nyomások milyen viszonyban vannak egymással. Ha  $p' = p_a$ , akkor a  $\phi_k$  tényező nem befolyásolja a volumetrikus hatásfokot.



Gyorsjárású motorok forgattyúház indikátor diagramja lényegesen különbözik az előbb tárgyalt elméleti diagramtól (3. ábra). A szívási nyomás nem lesz állandó és helyes konstrukciós kialakítások esetén a  $p_a$  nyomás elérheti a  $p_0$  atmoszférikus nyomást is. Vagyis a  $p'$  nyomás, ellentétben az elméleti diagrammal, kisebb lehet a  $p_a$  nyomásnál.

Az előbbi értelmezés szerint

$$\eta_{vf} = \frac{V'}{V_h} = \frac{V_h - \sigma'_e V_h - V^+}{V_h}.$$

A DC szakaszra felírva a politrópikus állapotváltozás egyenletét kapjuk, hogy

$$V^+ = V_h \cdot (1 + \varphi_k) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \right]$$

s ezzel

$$\eta_{vf} = 1 - \sigma'_e - (1 + \varphi_k) \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_a}{p_0} \right)^{\frac{1}{\kappa}} \right]. \quad (4)$$

$\sigma'_e$  értéke a  $\varphi_k$  tényező, a hengernyomás időbeni változása, a relatív réshossz, valamint az átömlés időszelvényének függvénye

$$\sigma'_e = f[\varphi_k, p_h(\alpha), \sigma_e, \text{fedt}].$$

$\sigma'_e$  értékét ma még csak kísérletileg tudjuk megállapítani, előre pontosan nem számítható az instacionér áramlási jelenségek miatt.

A 2. ábrából látható, hogy ha  $p' > p_a$ , akkor  $\varphi_k$  növekedésével  $\eta_{vf}$  csökken, míg  $p' < p_a$  esetén  $\varphi_k$  növekedésével  $\eta_{vf}$  is nő. A  $p' < p_a$  feltétel jó átömlési viszonyok létrehozásával, valamint megfelelő szívócső hangolással (tuning) biztosítható. Így ért el LIST [1] már 1931-ben 128%-os volumetrikus hatásfokot  $\varphi_k \approx 4,0$  érték mellett.

#### A szívócsőben lejátszódó folyamatok

Mint azt számtalan kísérlet mutatja [1, 2, 3], a szívócső méreteinek helyes választásával a forgattyúház feltöltése lényegesen jobbá tehető. A szívócső célja, minél nagyobb  $p_a$  szívási végnyomás biztosítása.

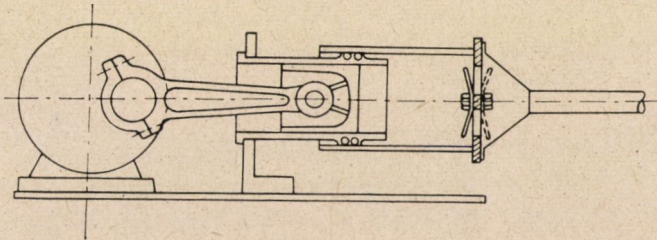
A szívócsőben lejátszódó folyamatokat röviden a következőkben foglaltuk össze :

a) A csővezetékben nagy sebességgel áramló gázoszlop tehetetlenséggel rendelkezik, melyet előnyösen ki lehet használni a töltés szempontjából.

b) A szívás üteme alatt keletkező depresszióhullám a csővezeték mentén a hangsebességgel terjed tova, majd a csővégeken visszaverődve szuper-

ponálódik a vele szembejövő hullámrészekre. Az ide-oda futó hullámok szuperpozíciója folytán kialakult szívócsőnyomás a szívóütem végén csökkentheti vagy növelheti a szívási ütem hosszát.

c) A szívási ütem végeztével a szívócsőben helyetfoglaló gázoszlop önlengésszámával leng tovább, jelentős amplitudóval. Tekintve, hogy a lengések amplitudója a következő szívási ütemig csak igen kissé csökken [3], a hullám szívás kezdetekor keletkező fázisa jelentősen befolyásolhatja a szívás effektív kezdetét.



4. ábra

A szívócsőben áramló gázoszlop sebességét és tehetetlenségét a depresszióhullám szabja meg, melynek elméleti értéke HAJLOV [4] szerint

$$\Delta p = - \frac{a_0 \gamma_0}{g} \frac{F_d}{f_{cs}} r \cdot \omega \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

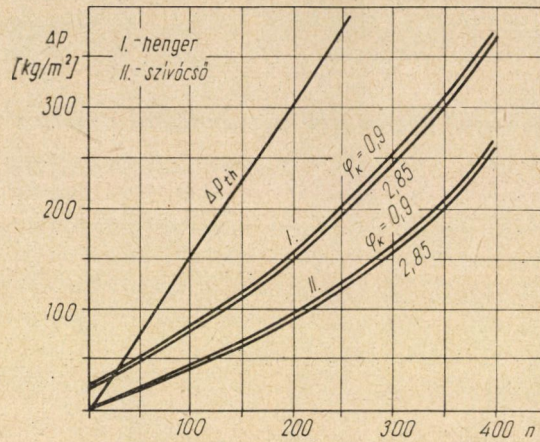
ahol  $a_0$  — a hangsebesség,  
 $F_d, f_{cs}$  — a dugattyú és a szívócső keresztmetszete,  
 $r$  — a forgattyúsugár.

Az (5) egyenletből látható, hogy a depresszióhullám amplitudója lineárisan növekszik a fordulatszámmal és független a  $\varphi_k$  tényező értékétől.

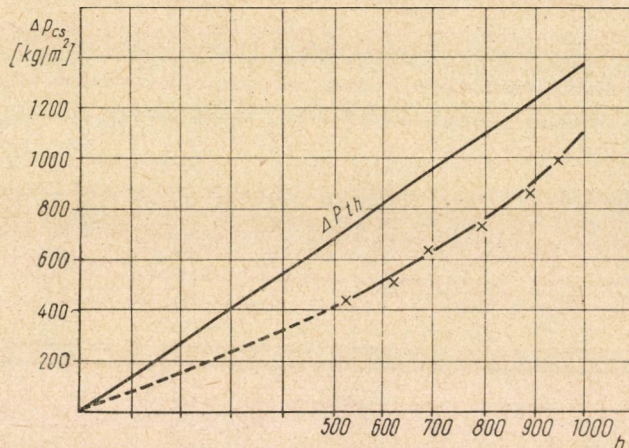
Önműködő csappantyúszeleppel felszerelt forgattyúház esetére a fenti kifejezés használhatóságát illetően semmilyen kísérleti anyag nem található, ezért a szerző különleges forgattyúház kismintát épített (4. ábra), melyen különböző  $\varphi_k$  tényező volt megvalósítható. A depresszióhullám maximális értékét elektropneumatikus indikátorral mértük, amikor műszerünket maximumértéként használtuk.

A mérések eredményeit az 5. ábrán láthatjuk. A depresszióhullám maximális amplitudója kisebbre adódik az elméletinél és nem lineárisan növekszik a fordulatszámmal. Ennek egyik oka az, hogy a szelepenállás miatt a szívócsősebesség nem követi a dugattyúsebességet a keresztmetszetek arányában. A másik ok abban keresendő, hogy a csappantyúszelepeken áthaladó nyomáshullám, a nyitás mértékétől függően, nyomásesést (csökkenést) szenved.





5. ábra



6. ábra

Az utóbbival magyarázható az a tény, hogy a nyomáshullámok amplitudói a fordulatszámmal nem lineárisan növekszenek.

Valóban, kis fordulatszámok esetén, ahol a szelepek nyitása kicsi, a nyomáshullám nagyobb mérvű csökkenése várható, az eltérés az elméleti és mért értékek között jelentős. Nagyobb fordulatszámoknál a szelep nyitása nő, a nyomáshullám kisebb mérvű csökkenése következtében a mért értékek mindjobban megközelítik az elméletit.

Hasonló eredményeket kaptunk az M-18 traktormotor szivócső indikátordiagramjainak feldolgozásakor is (6. ábra).

A modell-kísérleteknél egyúttal a  $\varphi_k$  tényezőnek a szívási folyamatra gyakorolt hatását is vizsgáltuk. Az 5. ábrából kitűnik, hogy  $\varphi_k$  növekedésével  $\Delta P_{\max}$  értéke valamit csökken, de ez nem jelentős.

Ebből látható, hogy viszonylag nagyobb relatív térfogatú forgattyúház esetén is annak dinamikus feltöltése ugyanolyan lesz, mint kisebb relatív térfogat esetén.

### Összefüggés a fordulatszám és a $\varphi_k$ tényező között

Fenti megfontolásainkban mindig feltételeztük, hogy a henger kipufogás alatti nyomás esése, valamint az átömlési időszelvény biztosítja a forgattyúház időbeni expanzióját a henger felé, vagyis a motor a fordulatszám korlát alatt dolgozik [3].

Amennyiben nincs így, akkor a  $\varphi_k$  tényező lényegesen befolyásolni fogja a volumetrikus hatásfokot azzal, hogy növeli a  $p'$  nyomás értékét.

Az öblítés ideje alatt a forgattyúházból a hengerbe átmenő levegő térfogata

$$V = \frac{\mu}{\alpha_\delta} \int_{-a_e}^{+a_e} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_k - p_h)} da. \quad (6)$$

Azonos időkeresztmetszet és hengernyomás változásakor  $[p_h(a)]$  az átömlött mennyiség a forgattyúház nyomásváltozástól  $[p_k(a)]$  függ. A forgattyúház nyomás maximális értéke a

$$p_{k \max} = p_a \left( \frac{1 + \varphi_k}{\sigma_e + \varphi_k} \right)^x \quad (7)$$

összefüggés szerint függ  $\varphi_k$ -tól, vagyis  $\varphi_k$  növekedésével csökken.

Az átömlési időszelvény a fordulatszám növekedésével fordított arányban csökken, ezért ilyenkor a forgattyúház időbeni expanziójának biztosítására egyedül járható út a forgattyúház relatív térfogatának csökkentése, s ezzel a forgattyúház nyomás növelése.

A fordulatszám határt az alábbi egyenlettel fejezhetjük ki [3].

$$Dn = \frac{120}{\pi \cdot a} \frac{\mu_k \cdot \beta_e}{\alpha_\delta} f(\alpha_e) \int_{-a_e}^{+a_e} \sqrt{\frac{2g}{\gamma} (p_k - p_h)} da, \quad (8)$$

ahol  $D$  — a hengerátmérő

$\beta_e$  — relatív résszélesség



Az egyenlet jobb oldalán állandó, illetve szűk határok között változtatható mennyiségek vannak, így a  $Dn$  szorzat közel állandó érték (170—190).

Megjegyezzük, hogy kétütemű traktormotorok esetén az üzemi fordulatszám általában kellő biztonsággal a fenti fordulatszám határ alatt van, így  $\varphi_k = 3,0$  értéknél kisebbre nem kell törekedni, mert az helyes szívócső konstrukció esetén semmi előnyt nem szolgáltat. Egy azonban biztos, a kisebb relatív térfogatú forgattyúház kevésbé érzékeny a rosszul hangolt vagy rosszul szerkesztett szívócső (pl. HSCS traktorok) és vezérlési adatok mellett jobb eredményt ad, mint a nagy forgattyúház (lásd 2. ábra).

#### IRODALOM

1. LIST, H.: Die Erhöhung des Liefergrades durch Saugrohre bei Dieselmotoren. Tungchi-Universität China 1932.
2. LIST, H.: Der Ladungswechsel der Verbrennungskraftmaschine. Springer Verlag, Wien 1949—50.
3. SITKEI GYÖRGY: Kétütemű Diesel-motor vizsgálata. Diss. 1958.
4. Хайлов М.: Труды «МАП» БНТ, № 154. 1948.

#### ÖSSZEFOGLALÁS

Elméletileg és kísérletileg igazoltuk, hogy helyes vezérlési adatok és szívócső hangolás esetén a forgattyúház relatív térfogatának erőszakolt csökkentése nem lehet célja a szerkesztőnek, feltéve, hogy a motor a fordulatszám határ alatt működik. Ha pedig a forgattyúház térfogat csökkenése javítja a volumetrikus hatásfokot, az egyben bizonyíték arra, hogy a forgattyúház töltési folyamata nem az optimális paraméterek mellett történik.

# KARBURÁTOROS MOTOROK ÉGÉSFOLYAMATAI

SITKEI GYÖRGY

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, MEZŐGAZDASÁGI GÉPEK TANSZÉKE

[Beérkezett 1959. február 11-én]

## Bevezetés

Belsőégésű motorok gazdaságos üzemének fő feltétele a hengerben levő üzemanyag-levegő keverék tökéletes és időbeni elégetése. Az égési folyamat, kezdve az előoxidációs folyamatoktól a kipufogás kezdetéig, igen bonyolult komplexumot képez s a reakciók láncolatai pontosan ma sem ismeretesek.

Az égési folyamatot karburátos motorban az jellemzi, hogy a keveréket egy pontban (pl. elektromos szikrával) meggyújtjuk s innen a kialakult lángfront a tér minden irányában tovaterjed. A lángfront mérete és sebessége fizikai—kémiai jellemzőktől, valamint hidrodinamikai jelenségektől függ. Különösen az utóbbinak van nagy jelentősége a gyorsjárású motorok szempontjából, ahol a fordulatszámmal közel lineárisan növekvő turbulens pulzáció biztosítja a szükséges égési sebességet.

Motorokban az áramlás jellege mindig turbulens, ezért foglalkoznunk kell a lángfront tovaterjedési viszonyaival lamináris és turbulens áramlásban.

## I. A láng tovaterjedése lamináris áramlásban

### *(A láng tovaterjedésének hőelmélete)*

Az elmélet szerint a láng tovaterjedését a molekuláris hővezetés okozta hőátadás biztosítja, miközben a lángövből hő adódik át a lángfront előtti hidegebb résznek.

A viszonyok vázlatos ábrázolása az 1. ábrán látható. Feltételezzük, hogy a friss homogén gázkeverék folyamatosan elmozdul a nagyobb hőmérséklet irányában. Stacioner állapotban az egységnyi gázfelületen a hővezetés következtében áthalad

$$q = \lambda \frac{T_e - T_l}{\delta}$$

mennyiségű hő, ahol  $\lambda$  — hővezetési együttható  
 $\delta$  — az égési öv feltételezett szélessége.

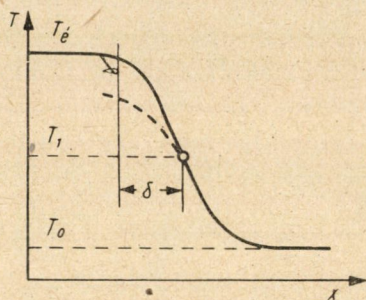
Ez a hőmennyiség arra fordítódik, hogy az állandóan jövő gázáramot felmelegítse a  $T_\epsilon$  gyulladási hőmérsékletre, vagyis

$$q = w \cdot C_p \gamma (T_l - T_0),$$

ahol  $w$  — a gázáram sebessége, illetve ellenkező irányban a lángfront továbbterjedési sebessége  $w = w_l$ .

A két egyenletet összehasonlítva

$$w_l = \frac{\lambda}{C_p \cdot \gamma \cdot \delta} \cdot \frac{T_\epsilon - T_l}{T_l - T_0}$$



1. ábra

vagy

$$w_l = \frac{a}{\delta} \cdot \frac{T_\epsilon - T_l}{T_l - T_0}, \quad (1)$$

ahol  $a = \frac{\lambda}{C_p \cdot \gamma}$  a közepes hőmérsékletvezető képesség.

Ha  $\tau_l$ -el jelöljük a reakció idejét, akkor közelítőleg  $\delta \approx w_l \cdot \tau_l$ , így

$$w_l = \sqrt{\frac{a}{\tau_l}} \cdot \sqrt{\frac{T_\epsilon - T_l}{T_l - T_0}}. \quad (2)$$

A kapott összefüggés azt mutatja, hogy a láng továbbterjedési sebessége négyzetgyökösen arányos a hőmérsékletvezető képesség és a reakcióra jellemző  $\tau_l$  idő hányadosával. Ez utóbbit közelítőleg kifejezhetjük a reakció sebességi tényezőjének reciprokával

$$\tau_l = \frac{1}{k} = \frac{E}{k_0 e^{\frac{E}{RT_\epsilon}}}.$$

Helyettesítve a (2) egyenletbe

$$w_l = \sqrt{a \cdot k_0 \cdot e^{-\frac{E}{RT_l}} \sqrt{\frac{T_l - T_0}{T_l - T_1}}}, \quad (3)$$

ahonnan látható, hogy a reakció sebessége gyorsan növekszik a hőmérséklet emelkedésével.

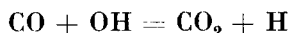
Ha pontosabban akarjuk felírni a (2) egyenletet, akkor annak tartalmaznia kell egy mérete nélküli  $f$  tényezőt, amelynek értéke kisebb egynél és a reakció kinetikájának konkrét formájától függ.

$$w_l = f \cdot \sqrt{\frac{a}{\tau_l}} \cdot \sqrt{\frac{T_l - T_0}{T_l - T_1}}. \quad (4)$$

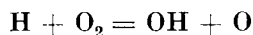
Az  $f$  tényező többek között kapcsolatos azzal, hogy a reakcióöv általában keskenyebb az 1. ábrán bejelölt lángfront szélességénél. A reakciósebesség erős hőmérséklettől való függése miatt a kiégés az öv magasabb hőmérsékletű oldalán lesz igen intenzív. Ezért a reakcióöv keskenyebb annál az övnél, amelyben a hőmérséklet és a koncentráció változik ( $\delta$ ), s melynek szélessége a diffúzióval és hővezetéssel kapcsolatos.

Ezen hőelmélet fogyatékosága, hogy nem veszi figyelembe a diffúziót. Ugyanis a valóságban a hőátadás a hővezetés és a diffúziós keveredés együttes hatásaként jön létre [2]. Ezenkívül a diffúzióknak még egy igen fontos feladata van, nevezetesen az aktív részecskék átvitele a front előtti friss keverékbe. Mint azt SZEMJONOV [1] kimutatta, a reakció folyamata általában láncreakció. Ennek jellegzetessége, hogy az átalakulások egész sorozatán keresztül jut el csak a végtermékhez. Közben az elemi reakciók során aktív részecskék és gyökök keletkeznek.

Pl. CO égésekor ez utóbbi nem közvetlenül lép reakcióba egy oxigén atommal, hanem egy aktív OH gyökkel.



Az elfogyasztott aktív OH gyök helyett keletkezett egy másik aktív részecske H, így a reakció további menete biztosítva van. Azonban a reakció menetét nemcsak ilyen típusú reakciók biztosítják, hanem pl.



típusával is, ahol egy aktív részecske elfogyasztása mellett keletkezett kettő (elágazó láncreakció).

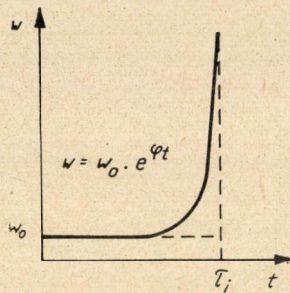


Így a lánreakció miatt a láng nemcsak a hőnek, de aktív részecskéknek is forrása, melyek a diffúzió következtében a láng előtti friss keverékbe diffundálnak, s ott a hőmérséklet emelkedésével elősegítik a reakció megindulását.

Habár a lánreakcióban résztvevő elemi reakciók sebessége szintén nő a hőmérséklet emelkedésével, az égés első szakaszában izotermikus lánreakcióval van dolgunk, vagyis a reakciókban felszabaduló hő nem emeli lényegesen a hőmérsékletet. A reakció továbbfejlődésében tehát lényegesen kisebb jelentőségű a viszonylag lényegtelen gázfelmelegedés, mint a keletkezett nagyszámú aktív centrum.

Csak akkor, amikor a reakciósebesség már elég nagy értéket ért el, s a hőelvezetés már nem elég a keletkezett hő elvitelére, lép előtérbe a hőreakció.

Ezért a reakció idejét két részre oszthatjuk.



2. ábra

1. Izotermikus lánreakció ( $\tau_i$ ), amikor a reakció hő okozta gyorsítása alárendelt jelentőségű és

2. hőreakció, amikor a folyamat önmaga gyorsul a gyors hőfelszabadulás miatt. Vagyis

$$\sum \tau_r = \tau_i + \tau_{hő}.$$

Általában a hőreakció ideje lényegesen kisebb az első szakasz idejénél, így az egész folyamat hosszát  $\tau_i$  szabja meg.

Így a láng tovaterjedését mintegy hasonlóan tudjuk felfogni gázkeverék öngyulladás folyamatának tovaterjedéséhez zárt edényben, ahol szintén két részre lehet a folyamatot osztani:

1. indukciós periódusa ( $\tau_i$ ) és
2. szinte egyidőben bekövetkező öngyulladás (2. ábra).

Lánreakció sebességének növekedése az időben SZEMJONOV szerint

$$w = w_0 e^{\varphi \cdot t}, \quad (5)$$

ahol  $w_0$  — a reakció kezdősebessége  
 $\varphi$  — a hőmérséklet és nyomás függvénye

$$\varphi = P^n \cdot e^{-\frac{E}{RT}} \quad (6)$$

A láng tovaterjedésének folyamata tehát a gáz hővezetéssel való felmelegítésével és aktív részecskéknek s lángövből diffúzió útján a friss keverékbe való juttatásával kapcsolatos. E két tényező (hővezetés és aktív részecskék diffúziója) általában közösen együtt hat a láng tovaterjedési sebességére, azonban bizonyos esetekben lehet egyik vagy másik jelentősebb. Pl. szegény keverékben ( $\alpha > 1,0$ ) a kisebb koncentráció miatt a láng hőmérséklete alacsonyabb lesz, ami csökkenti a hőáramlás intenzitását a friss keverék felé. A láng tovaterjedési sebessége csökken.

Van olyan eset is, amikor a sebesség változása nincs kapcsolatban hőmérsékletváltozással. Pl. a sűrítés alatt létre jöhetnek olyan kémiai változások, melyeknek eredményeképpen felhalmozódnak nem stabil oxidációs termékek (peroxidok), melyek egész kicsiny hőimpulzus hatására szétesnek, miközben hirtelen az aktív centrumok igen nagy koncentrációja keletkezik. Ez szintén a lángsebesség növekedéséhez vezet, függetlenül a hőmérsékletváltozástól.

Pl. vegyünk kémiai struktúrára nézve közeleső üzemanyagot, a parafin sorban levő  $n$ -heptánt és  $i$ -oktánt, melyeknél a lánghőmérsékletben jelentős különbség nincs hasonló  $\alpha$  légfelesleg tényezőnél. Ugyanakkor a bomba kísérletek [3]  $n$ -heptánra jóval nagyobb lángsebességet adtak, mint  $i$ -oktánra.

A hőelmélet alapján ezt magyarázni lehetne vagy a reakció idejének csökkenésével, vagy az öngyulladás hőmérséklet csökkenésével ( $n$ -heptánnál). Azonban kísérleti adatok szerint (JOST [4]) az  $n$ -heptán aktivációs hője nagyobb mint az  $i$ -oktáné, így ez a (3) egyenlet szerint kisebb sebességet ad  $n$ -heptánra. A hőelmélet keretei között maradván, nem tudjuk megmagyarázni a fenti jelenséget, hacsak nem vesszük segítségül az üzemanyagok öngyulladási hőmérséklet jellemzőit, a jelen esetben azt, hogy az  $n$ -heptán öngyulladási hőmérséklete jóval kisebb.

Különösen élesen kell megjelenni a különbségnek különböző összetételű üzemanyagok között, amikor összehasonlítjuk lángsebességeiket ugyanazon sűrítésű arányokkal bíró motorok példájában, nem számolva azzal a ténnyel, hogy ezek a formálisan azonos viszonyok (azonos  $\varepsilon$ )  $n$ -heptán és  $i$ -oktán esetén teljesen elütő előoxidációs folyamatokat jelentenek. Így pl. olyan sűrítési arányt választva, amelynél az előzetes oxidációs folyamatok  $n$ -heptánra jelentős értéket érnek el,  $i$ -oktánra teljesen hiányozni fognak. Az intenzív előoxidációs folyamat jelentősen megnöveli az aktív centrumok kezdeti koncentrációját, ami a lángsebesség növekedéséhez vezet.

## 2. Égés turbulens áramlásban

Belsőégésű motorokban soha nincs lamináris áramlás, normális üzemi fordulatszámok feltételezésekor. Ezért meg kell vizsgálni, hogyan alakul a láng sebessége turbulens áramláskor.

Mielőtt vizsgálataink ismertetésébe kezdenénk, először röviden fel-  
említjük a turbulens áramlás alapelemeit.

Turbulens áramlásban a pillanatnyi sebességek értékei nem egyeznek meg az áramlás közepes sebességével. A sebesség ingadozásai között semmi törvényszerűséget felfedezni nem lehet a közepes értékhez viszonyítva. A sebesség vektora állandóan változtatja irányát is, ami a mozgás bonyolult, rendezetlen voltára enged következtetni.

A valódi sebességet két részből tehetjük össze

$$w = \bar{w} + w', \quad (7)$$

ahol  $\bar{w}$  — közepes sebesség

$w'$  a közepes sebességtől való pillanatnyi eltérés.

A közepes sebesség az alábbi kifejezésből számítható

$$\bar{w} = \frac{1}{\tau_0} \int_0^{\tau_0} w(\tau) d\tau. \quad (8)$$

A  $\tau_0$  időintervallumot úgy kell választani, hogy ismétlődő közepelésnél  $\bar{w}$  ne változzék.

A fentiekből következik, hogy a pulzációs sebesség közepes értéke zérus

$$\bar{w}' = 0.$$

A pulzáció intenzitásának jelölésére a közepes négyzetes érték szolgál  $\sqrt{\overline{(w')^2}}$ , melyet közvetlen mérhetünk kísérlet folyamán pl. közepes sebességre állított termoanemométerrel. Mivel a pulzáció közepes négyzetes értéke alapvető jellemzője a turbulens áramlásnak, s mely a továbbiakban gyakran előfordul, a következőképpen fogjuk jelölni:

$$u' = \sqrt{\overline{(w')^2}}.$$

A turbulens áramlás másik jellemző mennyisége a turbulencia közepes mérete. Ennek fogalmát a következő egyszerű kísérlettel magyarázzuk. Az áramlás két pontjában állandóan távolodva egymástól mérjük a pulzáció sebességét.

Ha két pont egybeesik, akkor nyilvánvalóan

$$\overline{w'_1 \cdot w'_2} = \sqrt{\overline{(w'_1)^2}} \cdot \sqrt{\overline{(w'_2)^2}} = \overline{(w'_1)^2},$$

vagy a méretnélküli úgynevezett korrelációs tényező

$$K = \frac{\overline{w'_1 \cdot w'_2}}{\sqrt{\overline{(w'_1)^2}} \cdot \sqrt{\overline{(w'_2)^2}}} = 1.$$

A távolság növelésével (a két pont között)  $K$  értéke csökken, majd egy bizonyos  $\xi = \xi_2$  távolságnál zérus lesz. Valóban, amíg  $\xi$  kicsi, fel lehet tételni, hogy a részecskék a kiválasztott pontok körül egy s ugyanazon mozgásban vesznek részt. A két pont távolodásával a kapcsolat az elemi mozgások között mind gyengébb lesz, míg végül megszűnik.

Ekkor

$$\overline{w'_1 \cdot w'_2} = \overline{w'_1} \cdot \overline{w'_2} = 0, \quad K = 0.$$

Az

$$l = \int_0^{\xi_0} K(\xi) d\xi \quad [\text{m}] \quad (9)$$

mennyiséget a turbulencia méretének nevezik.

Turbulens áramlásban, éppen a pulzáció létrejötte miatt, nagymértékben (több százszor) megnövekszik a diffúzió és hőmérsékletvezetés tényezője.

A hőmérsékletvezetés tényezője turbulens áramlásban

$$a_t \cong l \cdot u'. \quad (10)$$

Amikor a turbulencia hatását vizsgáljuk a láng terjedési sebességére vonatkozólag, két esetet kell megkülönböztetnünk. Az első, amikor a turbulencia mérete kicsi a lángfront szélességéhez viszonyítva  $l < \delta$  (mikro- vagy kisméretű turbulencia), a második, amikor a turbulencia mérete nagyobb a lángfront szélességénél  $l > \delta$  (nagyméretű turbulencia). E kétfajta turbulencia hatása között lényeges különbség van.

Kisméretű turbulencia esetén a pulzáció nem tudja a lángfront fel-színét deformálni, azonban, mint azt az előbbiekből láttuk, a hőmérséklet-vezetés és diffúzió tényezőit igen nagy mértékben megnöveli. Ezzel mind a hőközlés, mind pedig az aktív részecskék lángfront előtti térbe való diffúziója meggyorsul. Következésképpen, a láng tovaterjedési sebességének is meg kell növekednie.

Ha feltételezzük, hogy a molekuláris és turbulens hőmérsékletvezetési tényezők hatásukban összegeződnek, akkor a turbulens égés sebessége közelítőleg

$$w_{nt} \approx \sqrt{\frac{a + a_t}{\tau_l}} = w_l \cdot \sqrt{1 + \frac{a_t}{a}}. \quad (11)$$



Vagy helyettesítve  $a_t \cong l \cdot u'$  értékét

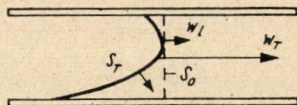
$$w_{nt} \approx w_l \sqrt{\frac{l \cdot u'}{a}}. \quad (12)$$

Erős turbulencia esetén  $a_t$  sokkal nagyobb, mint  $a$ , így mellettük az egység elhanyagolható.

$$w_{nt} \approx w_l \sqrt{\frac{l \cdot u'}{a}}. \quad (13)$$

A lángfront sebességének növekedése mellett a lángfront szélessége is növekszik. Erős turbulencia esetén

$$\delta_{nt} \approx \tau_l \cdot w_{nt} = \frac{\sqrt{a \cdot l \cdot u'}}{w_l}. \quad (14)$$



3. ábra

Nagyméretű turbulencia esetén, amikor  $l \gg \delta$ , a pulzáció hatása egészen más jellegű lesz. Itt a turbulencia nagy mérete következtében, jelentős nagyságú gáztérfogat vesz részt egy-egy pulzációban, ami képes magával vinni az égő gázcseccskéket is. Ennek következtében a front felszínén kúp alakú kidudorodások keletkeznek, ezzel nagymértékben megnövelvén annak felszínét.

Nézzük, milyen hatása van a lángfelszín megnövekedésének. Tételezzük fel, hogy az égés csőben történik, s a felszínre merőleges irányban mindenütt  $w_l$  sebességgel (3. ábra).

Felírva a térfogatsebességeket

$$S_T \cdot w_l = S_0 \cdot w_T,$$

ahonnan

$$w_T = w_l \cdot \frac{S_T}{S_0}. \quad (15)$$

Vagyis ha a csővezetékben a lángfront felszíne az  $S_0$  keresztmetszethez viszonyítva  $S_T$ -re nő (a front kidomborodik), akkor a front sebessége, a tényleges égési sebesség változása nélkül megnő.

Belsőégésű motor égésterében természetesen más képpel van dolgunk. Itt a rendezetlen pulzációs sebességek következtében a lángnyelvek a pul-

záció sebességével dobódnak előre. A lángnyelvek körülzárhatnak bizonyos mennyiségű friss keveréket, mely így bejutván az égés zónájába, a fronton belül ég el. A front sebességét ekkor tulajdonképpen a pulzáció szabja meg.

$$w_T \approx u'.$$

SCSELKIN [5] nagyméretű turbulens égés példájára az alábbi kifejezést vezeti le

$$w_T = w_{nt} \sqrt{1 + B \frac{U'^2}{w_{nt}^2}}, \quad (16)$$

mely erős turbulencia esetén szintén a  $w_T \approx u'$  összefüggéshez vezet (ekkor ugyanis az egység elhanyagolható a négyzetgyök alatt).

A lángfront nagy sebessége miatt a front szélessége erősen megnövekszik. Ugyanis a nagyobb mennyiségű gázkeverék elégését (a sebesség növekedése miatt) csak az égési öv kiszélesedése árán tudjuk biztosítani. Az égési öv szélességét meghatározza a gáz pulzáló térfogatelemeinek égési ideje.

$$\delta_T \approx \tau_T \cdot w_T = \frac{l \cdot w_T}{w_{nt}} \approx \frac{l \cdot u'}{w_{nt}}, \quad (17)$$

ahol  $w_{nt}$  — a frontra merőleges turbulens égési sebesség.

Az égési öv szélessége tehát a pulzációs sebesség növekedésével növekszik, míg fordítva arányos a tényleges égési sebességgel.

Az égési öv szélessége, mint azt INOZEMCEV és KOSKIN stroboszkópos gázelemzési kísérletei mutatták, néhány centiméter is lehet, ellentétben a lamináris áramban lefolyó égéssel, ahol csak néhány tized milliméter.

Még meg kell jegyezni, hogy belsőégésű motor esetén sohasem egynemű (izotróp) turbulenciával van dolgunk, hanem mindig a különböző méretű turbulencia egész skálája van. Azonban e skálában mindig fellelhető egy domináló turbulens méret.

### 3. Az égés fázisai karburátoros motorban

Az égésfolyamat fázisokra való osztása H. R. RICARDOTól ered [7]. RICARDO az egész folyamatot két részre osztotta: az első, melyben a lángfront kialakul, a második, melyben a kialakult lángfront az egész keveréket elborítja.

Mi az egész égési folyamatot négy részre osztjuk. Megfigyelve az égésfolyamat fejlődését pl. lángfront fényképezésével és nyomás indikálással, mindig megfigyelhető a szikra átugrása után olyan szakasz, amelyben sem

a nyomás emelkedése a kompresszió vonalhoz viszonyítva, sem láng tovaterjedés nem vehető észre. Ez a gyújtás fázisa. A szikra által átfogott térfogatban megindul a reakció folyamat, kialakul a láng első fészke, ahonnan a továbbiakban tovaterjed. Ebben a fázisban csak kémiai és fizikai tényezők hatnak. A fázis hossza főleg a tüzelőanyag kémiai tulajdonságaitól és a szikra jellemzőitől függ.

A második fázisban a kialakult tűzfészkekből a láng kezd tovaterjedni. Mivel a lángfront maga, de főleg a lángöv szélessége még kicsiny, nagyméretű turbulencia nem lehetséges, csak a kisméretű turbulencia hat, megnövelvén a hőátadást és az aktív részecskék diffúzióját. Közben a lángöv szélessége növekszik a (14) egyenlet értelmében. A lángfront növekedésével az égésfolyamatba kezd bekapcsolódni a turbulencia folyton növekedő mérettel, míg végül is, mikor a lángöv szélessége összemérhetővé válik az uralkodó turbulencia méretével, kezdődik az égésfolyamat *alapfázisa*, ahol a láng tovaterjedési sebességét alapján egyedül a pulzáció sebessége határozza meg. Az égés valódi sebessége az égési öv szélességére van kihatással. Pl. szegény keverékben az égés valódi sebessége a koncentráció csökkenése miatt kisebb lesz, az égési öv szélessége nő.

Az égési öv túlzott kiszélesedése csökkenti az égés tömegsebességét, s jöllehet a front már egészében áthaladt a kamrán, az égés még folytatódik a front mögötti térben.

Itt kezdődik az égési folyamat *negyedik* szakasza, az utóégés. Ennek a hossza és a benne résztvevő még el nem égett anyag mennyisége függ a létrejött égési öv szélességétől, vagyis az égés valódi sebességétől. Itt a nagyméretű turbulencia hatása már nem érvényesül, hiszen az égés már csak egyes elkülönült térfogatokban folytatódik, összefüggő frontot már nem alkot.

Az első két fázis különválasztása feltételes és a kísérleti vizsgálatoknál nem is választják külön. Ellenben a második és harmadik fázis különválasztása fontos, tekintve, hogy az égés mechanizmusa lényegesen különbözik egymástól. E két fázis határán a láng tovaterjedési sebessége  $w_n$  értékről  $w_T$ -re nő. Tehát helyes lenne e határt kijelölni sebesség-idő görbe alapján. Ez azonban nagy nehézségbe ütközik, tekintve, hogy mi pl. a lángfront fényképezésekor, nem az égés valódi sebességét, de nem is a  $w_T$  turbulens égési sebességet kapjuk meg közvetlenül, hanem az égés úgynevezett látható sebességét, ami

$$w_{\text{láth.}} = w_T + w_{sz},$$

ahol  $w_{sz}$  — a front szállítósebessége.

A lángfront mögötti térben ugyanis létrejön az égéstermékek expanziója a lángfront előtti tér rovására. Ez az expanzió járulékos sebességgel a frontot előre szállítja.

Ezért, amikor indikátor diagram áll rendelkezésre, az alapfázis kezdetét attól a ponttól számítják, ahol a nyomásgörbe elszakad a kompresszió vonalá-

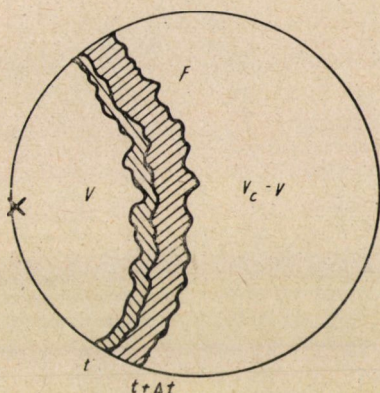


tól. A láng tovaterjedéséről készült fényképek az alapfázist a kamratérfogat 10—15%-os kiégésétől számítják. Ez alatt az idő alatt a gázkeverék mintegy 2—4%-a ég el.

Az alapfázis végét az indikátor diagramban a nyomás maximuma ( $P_{zmax}$ ) jelzi, míg az égőtérfelvételek alapján választhatjuk azt az időpillanatot, amikor a kamra térfogat 95—100%-át borította el a láng.

Ismételten hangsúlyozzuk, hogy a fenti gyakorlatilag alkalmazott határok nem felelnek meg pontosan a valóságos viszonyoknak, azonban jó közelítésnek vehetők, s így megfelelnek a gyakorlati követelményeknek.

Még meg kell jegyeznünk, hogy a turbulencia mérete és intenzitása állandóan változik a löket mentén. Az uralkodó turbulencia méretén és intenzi-



4. ábra

tásán kívül változik a turbulencia spektrumán belül található, valamennyi méret intenzitása is. Ez azt jelenti, hogy összehasonlítás alkalmával vigyázni kell arra, hogy akár az első fázis, akár az alapfázis kezdete ugyanazon forgattyúállásra essék. Az első fázis hosszának összehasonlításánál (pl. a keverék-összetétel vagy fordulatszám függvényében) az még azért is fontos, mert a löket mentén a nyomás és hőmérséklet is változik, melyeknek lényeges befolyása van az égés sebességére.

#### a) A lángfront szállítósebességének figyelembevétele

A folyamat bonyolultságára való tekintettel a számítási módszert jelentősen egyszerűsíteni kell. Ez azt jelenti, hogy a kapott értékeket csak megközelítőeknek szabad tekinteni.

A folyamatot a következőképpen gondoljuk el. A lángfront  $\Delta t$  idő alatt  $w_T$  égési sebességgel

$$\Delta S_1 = w_T \cdot \Delta t$$



utat tesz meg s ezalatt

$$\Delta V_1 = F \Delta S_1 = F w_T \Delta t$$

gáztérfogat ég el. A felszabadult hő

$$\Delta Q_1 = F \cdot w_T \Delta t \cdot \gamma_1 \cdot H_v.$$

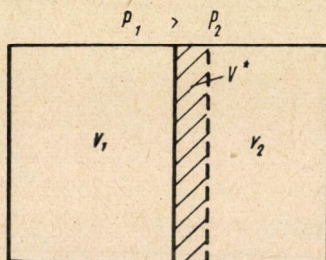
S most feltételezzük, hogy az így felszabadult hő a front mögötti térfogat pillanatnyi  $T_1$  hőmérsékletét  $T_2$ -re emeli. Ez ugyan közelítés, de tekintve, hogy a valóságban az égési öv elég mélyen benyúlik a front elülső széléhez viszonyítva, megengedhető. Ilyen feltételezéssel a front mögötti hőmérséklet-emelkedés

$$\Delta Q_1 = C_x (T_2 - T_1) \cdot V \cdot \gamma_1.$$

A két egyenlet összevetéséből

$$T_2 = \frac{F \cdot w_T \cdot \Delta t \cdot H_v}{C_x \cdot V} + T_1. \quad (18)$$

A hőmérséklet emelkedése egyúttal a front mögötti térfogat nyomás-emelkedését is jelenti. Ez a nyomás-emelkedés hozza létre a front mögötti



5. ábra

térfogat expanzióját a front előtti térfogat rovására. Meg kell jegyezni, hogy az előzőkben mind a front előtti, mind a front mögötti térre  $\gamma_1 - t$  helyettesítettünk. Ez egyenlő nyomásokat feltételezve sem helyes a különböző hőmérséklet miatt. Azonban a hőmérsékletek számítása a hőátadás miatt, mind a lángfront előtti tér felé, mind a hengerfal felé, annyira nem pontos, hogy erre jelenleg nem kell tekintettel lennünk.

Most nézzük az 5. ábra alapján, mennyivel növekszik meg a  $V_1$  térfogat, ha a  $P_1 > P_2$  nyomásokat kiegyenlítjük. Felírva a politróp állapotváltozás egyenleteit

$$P_1 \cdot V_1^* = P^* (V_1 + V^*)^*$$

$$P_2 V_2^* = P^* (V_2 - V^*)^*$$

s ezekből

$$V^* = \frac{V_1 \cdot V_2 (p_1^{\frac{1}{\kappa}} - p_2^{\frac{1}{\kappa}})}{p_1^{\frac{1}{\kappa}} \cdot V_1 + p_2^{\frac{1}{\kappa}} \cdot V_2}$$

A mi példánkban  $V_1 = V$ ;  $V_2 = V_c - V$ ; továbbá helyettesítve a

$$\left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{\kappa}} \approx \frac{T_2}{T_1}$$

$$V^* = \frac{V(V_c - V)(T_2 - T_1)}{V \cdot T_2 + (V_c - V)T_1}$$

Most már a láng szállítósebessége

$$w_{sz} = \frac{V^* - F w_T \Delta t}{F \cdot \Delta t} = \frac{1}{F \cdot \Delta t} \left[ \frac{V(V_c - V)(T_2 - T_1)}{V T_2 + (V_c - V)T_1} - F \cdot w_T \cdot \Delta t \right]$$

Helyettesítve  $T_2$  értékét a (18) egyenletből s rendezve, kapjuk

$$w_{sz} = w_T \left[ \frac{V_c (V_c - V) H_u}{V_c c_x T_1 + F w_T \cdot \Delta t \cdot H_u} - 1 \right]. \quad (19)$$

Az égés látható sebessége pedig

$$w_{l\acute{a}th.} = w_T + w_{sz} = w_T \frac{(V_c - V) \cdot H_u}{V_c \cdot c_x \cdot T_1 + F w_T \Delta t \cdot H_u}. \quad (20)$$

A fenti egyenletből,  $w_{l\acute{a}th}$  ismeretében tudjuk számítani  $w_T$  értékeit. A számítást intervallumonként kell végezni, kb. 2° szögelfordulásként.  $\Delta t$  értéke az alábbi összefüggés szerint helyettesítendő

$$\Delta t = \frac{\Delta \varphi}{6 \cdot n}$$

Az intervallum elejére vonatkozó  $T_1$  hőmérsékletet szintén lépésenként számítjuk a (18) egyenletből.

#### 4. Kémiai és hidrodinamikai jellemzők hatása az égési folyamatra

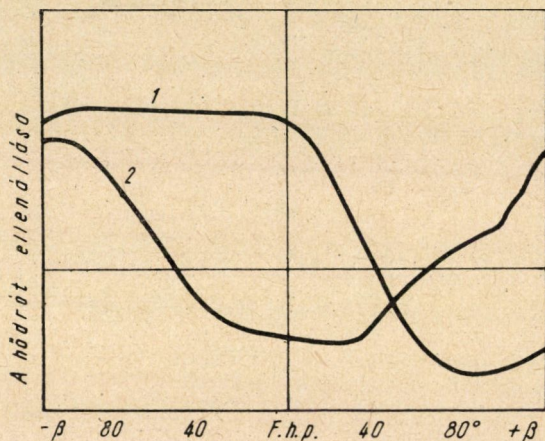
A karburátoros motorban létrejövő égésfolyamatot az jellemzi, hogy annak kifejlődése folyamán a kémiai és hidrodinamikai (turbulencia) jellemzők viszonylagos jelentősége lényegesen változik. Feltételezhető, hogy az égés meghatározott fázisában a láng tovaterjedési sebességét a keverék fizikai—



kémiai jellemzői határozzák meg, míg más fázisában a hidrodinamikai jellemzők uralkodnak.

Termoanemométerrel végzett mérések [11] azt mutatták, hogy a turbulens pulzáció intenzitása a felső holtpont környékén jelentősen változik (6. ábra). Ebből következik, hogy az égés alapfázisának elhelyezkedése, melyben a láng tovaterjedési sebessége főleg a turbulens pulzáció sebességétől függ, nagy jelentőségű az égés időtartamára nézve. Ezt a kísérletek is igazolták.

A 7. ábrán láthatjuk az égés kezdeti és alapfázis hosszának, valamint a láng tovaterjedési sebességének változását a légfelesleg függvényében, állandó előgyújtás ( $\beta = -20^\circ$ ) mellett. Mint látható, az égés első fázisában



6. ábra

a sebesség és a fázis időtartama függ a keverék összetételétől. A 8. ábrán az égés viszonylagos sebességét és időtartamát láthatjuk a légfelesleg függvényében. Mivel a két görbe gyakorlatilag egybeesik,

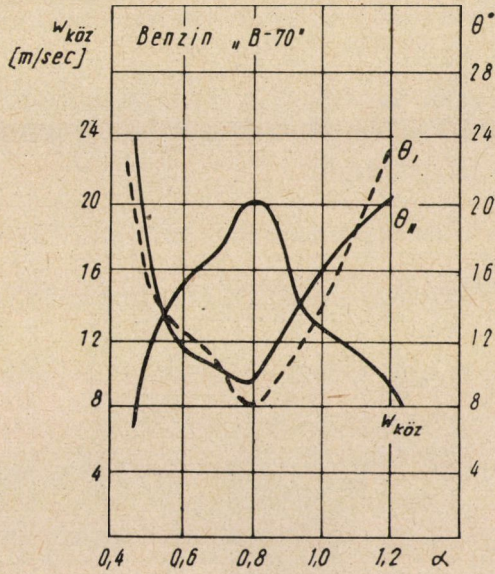
$$\frac{(w_{nt})_{\max}}{w_{nt}} \approx \frac{\Theta_I}{(\Theta_I)_{\min}}, \quad (21)$$

ahol  $(\Theta_I)_{\min}$  — az égés első fázisának hossza  $a = 0,9$  értéknél.

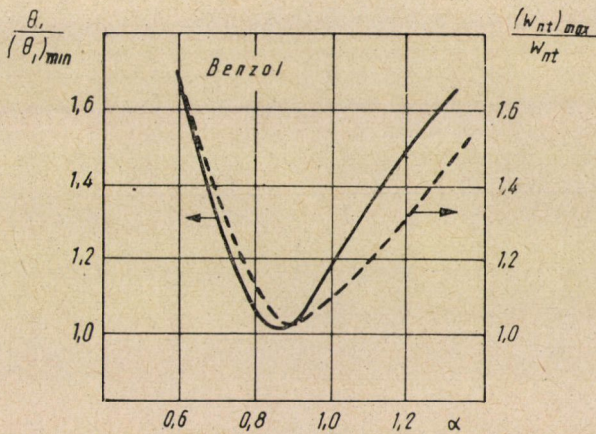
Az üzemanyag kémiai tulajdonsága szintén befolyással van a lamináris égési sebességre, s ezzel az első fázis hosszára.

Mint a 7. ábrán látható, az égés alapfázisának időtartama ( $\Theta_{II}$ ) az első fáziséhoz hasonlóan változik. Ez főként azzal magyarázható, hogy rögzített előgyújtás és változó hosszúságú első fázis mellett az alapfázis kezdete más-más forgattyúállásra esett. Ezért SZOKOLIK [11] kísérleteiben különböző légfelesleg tényezőkhöz úgy válaszotta az előgyújtás szögét, hogy az alapfázis





7. ábra

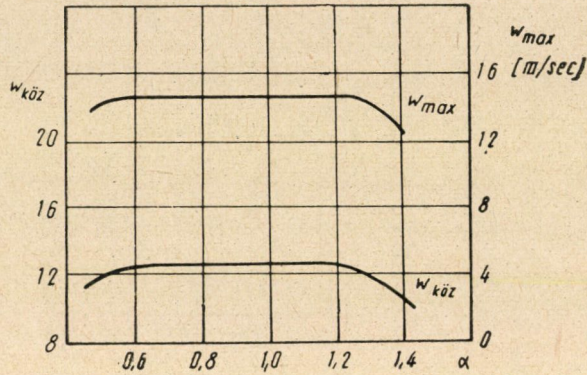


8. ábra

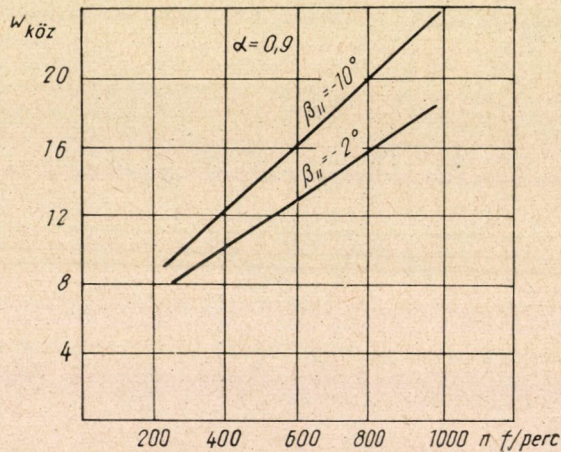
kezdete mindig ugyanarra a forgattyúállásra essék, vagyis a turbulencia viszonyok azonosak legyenek. A 9. ábrán látható, hogy ekkor a lángfront tovaterjedési sebességének mind közepes, mind pedig maximális értéke a legfelesleg tényező függvényében gyakorlatilag nem változik. Ez a kísérleti eredmény igazolja korábbi elméleti megállapításainkat, mely szerint az égés alapfázisában a láng tovaterjedési sebességét lényegében a turbulens pulzáció értéke szabja meg. Az üzemanyag fizikai—kémiai tulajdonságai mégis befolyásolhatják az égés tömegsebességét. Ugyanis az égés tényleges sebessége a



frontra merőleges irányban a (12) egyenlettel megadott  $w_{nt}$  sebességgel történik, melyben előfordul a kémiai tulajdonságtól függő  $w_l$  sebesség. Ha pl.  $w_{nt}$  értéke csökken, akkor az égési öv szélessége a (17) egyenlet szerint növekedik s a lángfront hiába haladt át a kamrán, az égés a viszonylag széles égési övön belül tovább folytatódik.



9. ábra



10. ábra

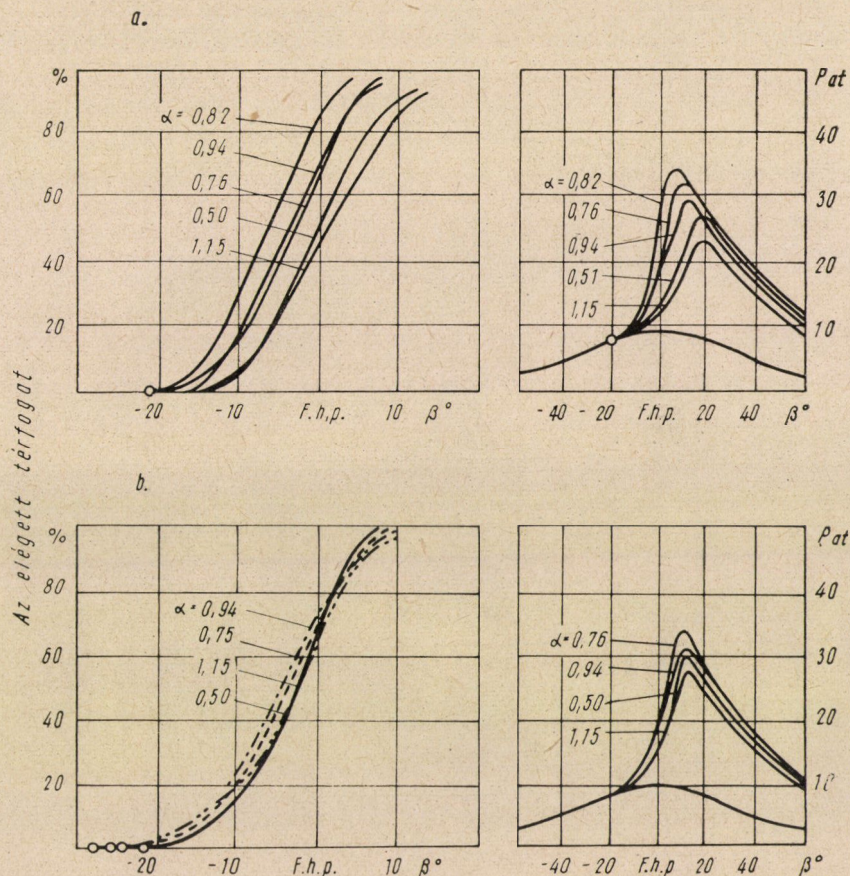
A fordulatszám változásának hatása az égési sebességre a 10. ábrán látható. A turbulencia a fordulatszámmal lineárisan növekszik, így várható, hogy az égés sebessége is lineárisan növekszik. A kísérleti eredmények ezt igazolják.

A fentieket igen szemléletesen illusztrálja a 11a, b ábra. Állandó előgyújtás esetén, különböző légfeszültség tényezők mellett, erősen változik az



égés térfogati és tömegsebessége. Az alapfázis kezdetének rögzítése mellett az égés térfogati sebessége azonos lesz, míg a tömegsebesség a fentebb említett okok miatt  $\alpha$  növekedésével kissé csökken.

Az égési sebesség változását az alapfázis kezdetének különböző forgattyúállásra történő beállításakor a 12. ábrán láthatjuk. Az égési sebességek leg-



11. ábra

nagyobb mérvű változása a felső holtpont előtt mintegy 10°-kal figyelhető meg. Ez jól egyezik a turbulencia mérések eredményeivel, a felső holtpont tájékán ui. erős turbulenciát mértek.

Az üzemanyag oktánszámának növelése céljából gyakran ólomtetraetil adalékot használnak. Az ólomtetraetil különböző légfeszültség tényezőnél különbözőképpen hat a láng tovaterjedési sebességére (13. ábra).

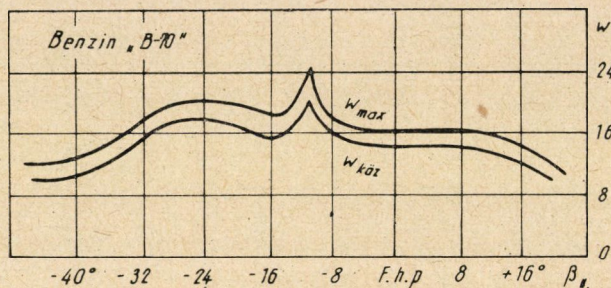
a)  $\alpha = 0,75 \sim 0,95$  intervallumban az ólomtetraetil gyakorlatilag nem befolyásolja az égési sebességet. A  $\Theta_1$  és  $\Theta_1^*$  görbék összeesnek.



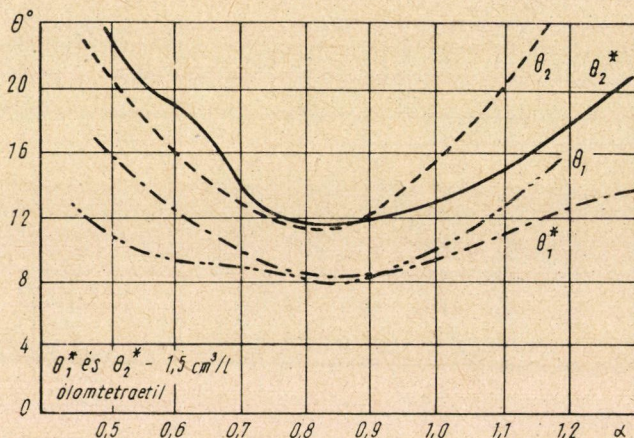
b) Dús keverék esetén ( $\alpha < 0,75$ ) csökkenti a láng tovaterjedési sebességét.

c) Szegény keverék esetén növeli az égési sebességet.

Az is megfigyelhető, hogy az ólomtetraetil a fellobbanás alsó határát  $\alpha = 1,2$ -ről,  $\alpha = 1,3$ -ig tolja el.



12. ábra



13. ábra

#### a) Az optimális előgyújtási szög

Az optimális előgyújtási szöget a következő megfontolások alapján határozhatjuk meg.

a) Túlzott korai gyújtással a kompresszió negatív munkája növekszik, míg késői gyújtással az expanzió hasznos munkája csökken. Ezért a ciklus maximális hatásfokát akkor kapjuk, ha az égés alapfázisa a felső holtpontra szimmetrikusan helyezkedik el. Optimális előgyújtáskor az égés alapfázisa sem fizikai—kémiai tényezőktől, sem a fordulatszámától gyakorlatilag nem

függ és  $20\text{--}25^\circ$  forgattyú elfordulási szöggel egyenlő. A fentiekből következik, hogy az égés alapfázisának a  $-10^\circ$  és  $+10^\circ$  forgattyúszög intervallumba kell esnie.

b) Az alapfázis holtponthoz viszonyított szimmetrikus elhelyezkedése biztosítja a legkisebb hővesztéséget, mivel a hőátadás „felület-idő” integrálja ekkor veszi fel minimumát.

c) Jó hatásfok elérése céljából az égésnek olyan maximálisan megengedhető sebességgel kell történnie, amelynél még a motor lágy járása biztosítható. Gyakorlati tapasztalatok alapján

$$\left(\frac{dP}{d\beta}\right)_{\text{köz}} = 1,5 - 2,0 \frac{\text{kg}}{\text{forgattyúszög}}$$

A közepes nyomásemelkedés sebességét így írhatjuk fel

$$\frac{dP}{d\beta} = \frac{P_z - P_c}{\Theta_{11}} = P_c \frac{\lambda - 1}{\Theta_{11}},$$

ahol  $P_z$  — az égési végnyomás

$P_c$  — nyomás az égés alapfázisának kezdetén

$\lambda = \frac{P_z}{P_c}$  — a nyomásemelkedési fok.

Mivel

$$\Theta_{11} = 6n \frac{L}{w_{\text{köz}}},$$

ahol  $L$  — a láng útja az égés alapfázisában

$w_{\text{köz}}$  — a közepes láng tovaterjedési sebessége,

kapjuk

$$\frac{dP}{d\beta} = \frac{P_c(\lambda - 1)}{6L} \cdot \frac{w_{\text{köz}}}{n}.$$

Turbulens égés példájában (lásd 10. ábra)

$$w_{\text{köz}} = w_l + u' = w_l + kn \approx kn,$$

ezért

$$\frac{dP}{d\beta} = \frac{P_c(\lambda - 1)}{6L} \cdot k. \quad (22)$$

A kifejezésből látható, hogy a közepes nyomásemelkedési sebesség nem függ a fordulatszámtól. Értékét a töltés fizikai—kémiai jellemzői ( $P_c$ ,  $\lambda$ ), az égéstér konstrukciója ( $L$ ) és a turbulenciát jellemző  $k$  szám határozza meg.

Pl.  $P_c = 10$  at.,  $\lambda = 5$ ,  $L = 0,1$  m., és  $\frac{dP}{d\beta} = 2,0$



esetén

$$k = \frac{w_{köz}}{n} = \frac{2 \cdot 6 \cdot 0,1}{10 \cdot 4} = 0,03,$$

vagyis  $w_{köz} = 0,03 \cdot n$ .

Ha  $n = 1000$  f/perc  $w_{köz} = 30$  m/sec, ami kb. megfelel a valódi viszonyoknak.

### 5. A nyomás és hőmérséklet hatása az égés sebességére belsőégésű motorban

A bombában végzett kísérletek azt mutatják, hogy a nyomás és hőmérséklet ellenkező irányban hatnak az égés sebességére [9, 10].

A kísérletek szerint a nyomás növekedésével, állandó hőmérsékletet feltételezve, az égés sebessége csökken a következő egyenlet szerint

$$(w)_p = w_0 \left( \frac{P}{P_0} \right)^{-n}, \quad (23)$$

ahol  $n$  kitevő értéke 0,13—0,28 között változik a keverék összetétele szerint. Szegény keverékhez a nagyobb érték, míg a gazdag keverékhez a kisebb értékek tartoznak. Közepes értéként NYIKITYIN [10] az  $n = 0,20$  értéket ajánlja.

A hőmérséklet növekedésével az égési sebesség négyzetesen növekszik.

$$(w)_{T^\circ} = w_0 \left( \frac{T}{T_0} \right)^2. \quad (24)$$

A hőmérséklet és nyomás együttes hatása ezek után a következőképpen fejezhető ki

$$(w)_{T;P} = w_0 \left( \frac{P}{P_0} \right)^{-0,2} \left( \frac{T}{T_0} \right)^2.$$

Belsőégésű motor esetére helyettesítve a

$$\frac{T}{T_0} = \left( \frac{P_0}{P} \right)^{\frac{1-x}{x}}$$

kifejezést  $x = 1,28$  értékkel,

$$(w)_{T;P} = w_0 \left( \frac{P}{P_0} \right)^{0,24}. \quad (25)$$

A fentiekből látható, hogy a hőmérséklet hatása erősebben érvényesül a nyomás fordított irányú hatásánál, s emiatt végeredményben az égés sebessége kb. a nyomás negyedik hatványával növekszik.

Ha a (24) egyenlet mindkét oldalát szorozzuk a gázsűrűséggel

$$(\rho)_{T:P} = \rho_0 \frac{P}{P_0} \frac{T_0}{T},$$

megkapjuk az égés tömegsebességét ( $w_m$ )

$$w_m = w_{m0} \left( \frac{P}{P_0} \right)^{1,02} = w_{m0} \frac{P}{P_0}. \quad (26)$$

Az égés tömegsebessége arányosan nő a nyomás emelkedésével.

### 6. Az égés mennyiségi lefolyása

A láng terjedési sebességén kívül igen fontos lenne megállapítani az égés időbeni mennyiségi lefolyását. A szerkesztőt ugyanis végeredményben a nyomásnövekedés törvényszerűsége érdekli, amely mind dinamikai, mind gazdaságossági szempontból jellemzi a munkafolyamatot.

A nyomás emelkedését belsőégésű motor hengerében a következő általános egyenlettel fejezhetjük ki

$$p = \int_{t_1}^{t_2} k \cdot \rho \cdot w \cdot F dt,$$

ahol az egyes tagokat a következő egyenletekből kaphatjuk:

A lángfront tovaterjedésének egyenlete

$$V_{ég} = f(t).$$

Az elégett gáztömeg egyenlete

$$m_{ég} = f(V_{ég}).$$

Összefüggés az égő gáztömeg és nyomás között

$$p = f(m_{ég}).$$

A 14. ábrán felrajzoltuk a fenti egyenleteknek megfelelő görbéket. Ezek a görbék természetesen a folyamatoknak csak valószínű lefolyását mutatják, a görbék pontos meghatározása ma még nagy nehézségekkel járna.

Így pl. a láng  $w$  tovaterjedési sebessége nem jellemzi pontosan az átalakulási sebességet, tekintve, hogy a lángövön belül még folytatódik az égés. Ennek pontos számbavétele igen nehéz feladat. Mindenesetre megállapítható, hogy

mennél szélesebb az égési öv, annál nagyobb lesz ez a különbség. Ugyancsak az égési öv miatt  $V_{ég} = 100\%$  esetén  $m_{ég} < 100\%$ . Mint az ábrából látható az égéstérfogat növekedésével  $m_{ég}$  először lassan, majd később igen gyorsan növekszik. Ennek az a magyarázata, mint azt már előzőleg láttuk, hogy az égés tömegsebessége a nyomással egyenes arányban nő.

## 7. Detonációs égés karburátoros motorokban

Karburátoros motorokban meg nem felelő kompresszió viszony és oktánszám esetén a normálistól eltérő, úgynevezett detonációs égés figyelhető meg. Ilyenkor a motor erős, csilingelő hangot ad, melynek oka egyrészt a gyors égés okozta nagy nyomásemelkedési sebesség, másrészt a keletkező ütőhullámok visszaverődése a henger falán  $f = \frac{c}{2d}$  frekvenciával ( $c$  — az ütőhullám sebessége). Az ütőhullámmal egy bizonyos gáztömeg is együtt mozog, amely a hengerfallal történő ütközéskor a hőátadást megnöveli, s ezzel a körfolyamat gazdaságosságát csökkenti.

A detonációs égési folyamatot igen sok kutató vizsgálta mind a gyorsfényképezés, mind pedig spektroszkópi módszerekkel. A vizsgálatot megnehezíti az a tény, hogy a detonációs égés mindig normális égéssel kezdődik, s csak a töltés utolsó még el nem égett részében fejlődik ki. A lángfront előtti tér egy pontjában megtörténik a felfolbanás, s innen a lángfront 500—1500 m/sec sebességgel borítja el a még el nem égett részt. 1200 m/sec és 2000 f/perc fordulatszámmal számolva a detonációs lángfront 1 cm utat 0,10 forgattyúszög elfordulás alatt teszi meg. Ebből rögtön látható az a nehézség, amely a kutatók elé tárul.

Spektroszkópi vizsgálatok azt mutatták, hogy a detonációs égés okai kémiai természetűek. Az idevágó vizsgálatok főbb eredményei a következők:

a) A lángkisugárzás spektruma detonációs égés esetén megváltozott, amikor is a szénhidrogének égésére jellemző CC és CH gyökök vonalai erősen gyengültek [12].

b) Detonációs és detonáció nélküli égések elnyelési spektrumainak összehasonlítása az ultraibolya tartományban (2900° alatt) azt mutatta, hogy detonációs égés esetén a front előtti előoxidációs folyamatok jellemzője a formaldehid keletkezése [13]. Ezenkívül peroxidok jelenléte is kimutatható volt.

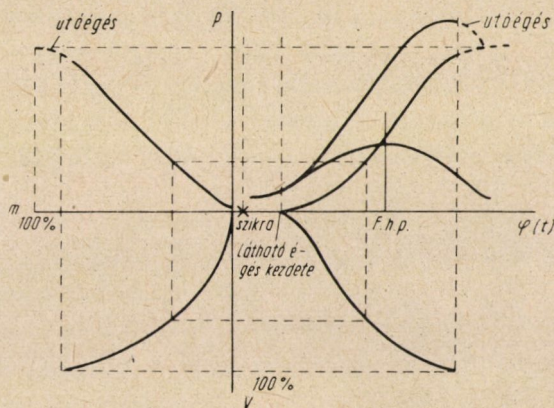
A fenti kísérleti eredmények alapján született meg a detonációs égés peroxidos elmélete [14, 15].

Hogy a detonációs égés mechanizmusát és kinetikai természetét jobban megérthessük, vizsgáljuk meg a szénhidrogének öngyulladásának lehetséges kinetikai eseteit.

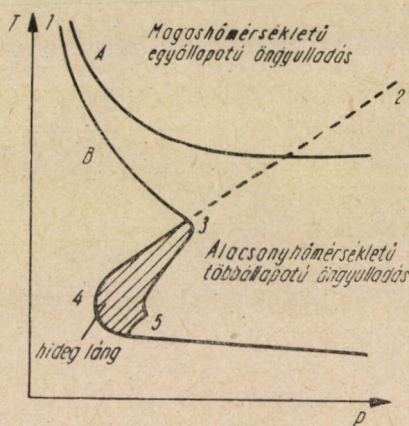


## a) Szénhidrogének öngyulladásának két kinetikai típusa

Detonáló (pl. magasabb parafinok) és nem detonáló (pl. metán és benzol) üzemanyagok öngyulladásának vizsgálata azt mutatta, hogy az öngyulladások mechanizmusában mélyreható különbség van. E különbségek legszemlé-



14. ábra



15. ábra

letesebben az öngyulladási határok összehasonlításával érzékeltethetők (15. ábra). Nem detonáló üzemanyagok esetén a hőmérséklet és nyomás határértékei normális összefüggést mutatnak (*A* görbe), vagyis a hőmérséklet csökkenésével a nyomás folyamatosan növekszik. Detonáló üzemanyagok esetén hasonló összefüggés figyelhető meg, de csak elegendő magas hőmérsékleten és kis nyomások esetén (*B* görbe 1—3 szakasza). A 3. ponttól kezdve

a „normális” összefüggés megszűnik és a hőmérséklet csökkenésével a nyomás határértéke szintén csökken (3—5 szakasz). Ez arra mutat, hogy a magas-hőmérsékletű és kishőmérsékletű öngyulladás között lényeges különbség van.

A *nagyhőmérsékletű öngyulladás* a reakció folyamatok kifejlődésének leginkább természetes módja, mikor is elegendő nagy hőmérsékleten lehetővé válik a viszonylag erős molekulák közötti kötések szétszakadása. Így szabad radikálok (pl.  $\text{CH}_3$ ) keletkeznek, amelyek a reakció folyamat kezdeti aktív centrumát képezik. A szénhidrogén molekulákban a C—H kötések szétszakításához a molekulák struktúrájától függően 60—90 kcal/mól energia szükséges s ez magyarázza a magashőmérsékletű öngyulladás viszonylag nagy aktivációs hőjét.

Az aktív centrumokból kifejlődő láncreakció SZEMJONOV [1] szerint a

$$w = w_0 e^{\varphi \cdot t}$$

összefüggés szerint gyorsul, ahol

$$\varphi = p^n \cdot e^{-\frac{E}{RT}}$$

és  $w_0$  — a reakció kezdeti sebessége, annál nagyobb, minél nagyobb a kezdeti hőmérséklet.

Amikor a reakció annyira kifejlődött, hogy a keletkezett hő nem tud elvezetődni, a bekövetkező nagy reakciógyorsulás miatt jelentkezik az öngyulladás. A folyamat kezdetén keletkező láncreakció okozta reakciógyorsulás folyamatosan megy át a termikus reakciógyorsulásba, ami azt jelenti, hogy a magashőmérsékletű öngyulladás egyállapotú folyamat.

Mint már előbb megjegyeztük, a nagyhőmérsékletű öngyulladási folyamat aktivációs hője viszonylag nagy. Ez azt jelenti, hogy a térben mutatkozó jelentéktelen hőmérséklet ingadozások is a reakciósebesség nagymértékű ingadozását okozzák, vagyis az öngyulladás a legmagasabb hőmérsékletű pontban előbb jön létre, mint a tér többi pontjában. Így a magashőmérsékletű öngyulladás mindig *pontbeli* fellobbanás.

Belsőégésű motorban ilyen típusú öngyulladást okoz a feltüzesedett gyertya-elektroda vagy izzó korom. Ilyenkor egy második lángfront alakul ki, teljesen normális láng tovaterjedési folyamattal.

A fentiekből következik, hogy a magashőmérsékletű, egyállapotú öngyulladási folyamat detonációs égést és detonációs hullámot nem hozhat létre, mivel az utóbbihoz meghatározott *térfogat* öngyulladása szükséges.

*Alacsonyhőmérsékletű öngyulladás.* Mint már az előzőekben láttuk, alacsonyhőmérsékletű öngyulladás esetén a nyomás és hőmérséklet határ-

értékei nem a normális összefüggést mutatják, hanem csökkenő nyomáshoz csökkenő hőmérséklet tartozik (a görbe 3—5 szakasza). Ez azt jelenti, hogy ekkor a termikus öngyorsulásnak nincs döntő jelentősége az öngyulladás szempontjából.

Mivel alacsony hőmérsékleten igen kicsi a valószínűsége aktív centrumok létrejöttének molekulák szétesése útján, azért az előoxidációs folyamat a szénhidrogének önoxidációja folytán peroxid képződéssel indul, pl.  $R-CH_2-O-O-H$ .

Mint azt NEJMAN [18] kísérleteiben kimutatta, a peroxidok felhalmozódása növekvő sebességgel történik, mindaddig, amíg koncentrációjuk el nem ér egy kritikus értéket. Ekkor a peroxid hirtelen szétesik az úgynevezett „hidegláng” kíséretében. Az égés termékei ebben a lángban főleg aldehidek és CO, így a felszabadult energia az összes kémiai energiának csak kis részét (5—10%) teszi ki. A hideglángok sugárzása a formaldehid molekulák optikai gerjesztésének következménye keletkezésük pillanatában, vagyis a kémiai reakció energiájából jön létre. A hidegláng folyamat eredményeképpen a kezdeti keveréket a kémiailag aktív peroxidok, aldehidek és gyökök keveréke váltja fel.

A folyamat további alakulására, SZOKOLIK [16] szerint, lényeges hatással van a még nem reagált szénhidrogének további oxidációja, melyeket a hidegláng termékei indukálnak. Ez utóbbiak közül fontosak a peroxidok szétesésekor keletkezett gyökök és acetaldehid, amelynek oxidációja szintén peroxid képződéshez és  $CH_3CO(OO)$ -típusú peroxid gyök képződéséhez vezet. Feltételezhető, hogy egy bizonyos  $\tau_2$  indukciós periódus elteltével (16. ábra) ismét létrejön a felgyülemlett peroxidok szétesése, második hidegláng kíséretében, azzal a különbséggel, hogy az a kiinduló keverék nagyobb részét foglalja magában a felgyülemlett peroxid termékek nagyobb koncentrációja mellett. Ez már jelentékeny hőmérsékletemelkedéssel jár együtt, s a kémiai energiának mintegy 50%-a felszabadul. A reakció még itt sem megy a végtermékekig ( $CO_2$ ,  $H_2O$ ), a keverékben sok CO, felhasználatlan oxigén és aktív centrumok maradnak vissza. Az utóbbiak elegendő nagy koncentrációjánál létrejön a termikus öngyulladás.

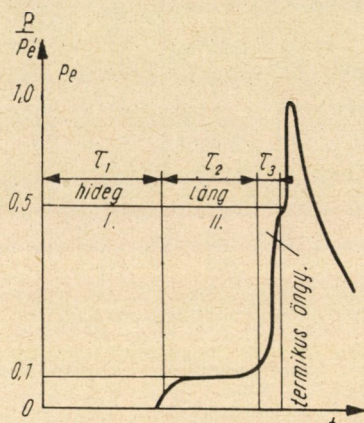
Ilyenformán, az alacsony kezdeti hőmérséklet ellenére is létrejön a fellobbanás az egymást követő átalakulások láncolatán keresztül. Az ilyen típusú öngyulladást többállapotú öngyulladásnak nevezzük.

#### b) A detonációs égés, mint a többállapotú öngyulladás következménye

Mint az előzőekben láttuk, a termikus öngyulladás folyamatát hidegláng folyamatok előzik meg. Belsőégésű motorban ezek az előoxidációs folyamatok a lángfront előtti térben játszódnak le, ahol a keletkező elsődleges és másodlagos hidegláng teljesen vagy részben elborítja a még el nem égett



részt (a lángfront előtti teret). Amikor az aktív centrumok koncentrációja és a gáz felmelegedése elegendő nagy lesz, kezdődik a CO termikus öngyulladása, amely lényegesen különbözik a közönséges egyállapotú öngyulladási folyamattól. A hidegláng folyamatok alatt ugyanis az aktív centrumok olyan nagy koncentrációja keletkezik, amely már a termikus öngyulladás szempontjából lényeges aktivációs energiát nem igényel. Ezért, ha egy pontban megtörténik az öngyulladás, az a kellően előkészített keverékben a hang terjedési sebességével (mint kis megzavarás következménye) terjed tovább. Az öngyulladás a hang sebességével borítja el a töltés azon részét, amelyen



16. ábra

a második hidegláng front végig tudott vonulni a  $\tau_3$  idő alatt (16. ábra). Természetes, hogy ilyen öngyulladási sebesség esetén az elégett tér határfelületén nagy nyomásesés keletkezik, ami a detonációs ütőhullám előidézőjéül szolgál.

Még meg kell vizsgálnunk, milyen feltételek mellett jöhet létre a lángfront előtti tér egyidejű öngyulladása, vagyis a detonációs égés. Meg kell határozni azokat a fizikai—kémiai feltételeket, melyek szükségesek a detonáció kifejlődéséhez.

Az első szakasz, amely az elsődleges hideglángot előzi meg, a következő összefüggés szerint változik a nyomással és a hőmérséklettel

$$\tau_1 \cdot p^n \cdot e^{-\frac{E}{RT}} = \text{const.},$$

ahol  $n$  kitevő 0,3—1,0 között, míg  $E$  értéke a parafinos szénhidrogéneknél 18—35 kcal/mól között változik. Mivel az indukciós periódus az egész láng-előtti folyamat jelentős részét foglalja el, a fenti kifejezést közelítőleg az egész



lángelőtti folyamatra is vonatkoztathatjuk. Mármost a detonáció első feltétele az, hogy a  $\tau_1$  indukciós periódus kisebb legyen az égés  $\theta$  hosszánál.

$$\tau_1 < \theta. \quad (27)$$

Emellett azonban fontos a hidegláng intenzitása is, amely annak a kritikus peroxid koncentrációnak felel meg, melynél a peroxid szétesik. Ugyanis ettől függ a keletkező aktív centrumok, pl. peroxid gyökök koncentrációja, melyeknek oxidációja a következő szakasz kémiai átalakulásának lényeges részét foglalja el.

Az elsődleges hidegláng intenzitása a nyomással nő, míg a hőmérséklettel csökken. A hőmérséklet növekedésével ugyanis a peroxidok szétesése gyorsul, instabilitásuk növekszik. Éppen ezért nem lehetséges nagyhőmérsékletű öngyulladás esetén a peroxidok felhalmozódása.

Ilyenformán a hőmérséklet emelkedésének kettős hatása van. Egyrészt csökkenti a  $\tau_1$  indukciós periódust, ami elősegíti a (27) egyenlettel adott feltétel teljesülését, másrészt csökkenti a hidegláng intenzitást, ami megnehezíti a folyamat további kifejlődését.

Mint látjuk, a detonáció kialakulásának második feltétele a hidegláng folyamatok nagy intenzitása, amely elsősorban a nyomástól és a tüzelőanyag kémiai tulajdonságaitól függ.

### c) Többállapotú öngyulladás lehetősége belsőégésű motorban

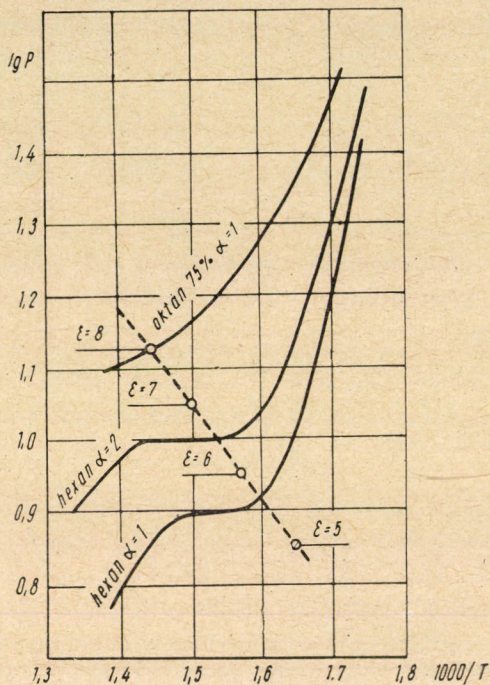
Sokáig azt tartották, hogy a többállapotú öngyulladási folyamat csak alacsony hőmérsékleten ( $400\text{ C}^\circ$  alatt) lehetséges. Motorokban a lángfront előtti tér hőmérséklete  $600\text{ C}^\circ$  körül van, ezért itt csak az egyállapotú öngyulladási folyamatot tartották lehetségesnek. SZOKOLIK [16] kísérleteiben kimutatta, hogy a többállapotú öngyulladás annál nagyobb hőmérsékleten lehetséges, mennél nagyobb a nyomás ( $B$  görbe 2—3 szakasza a 15. ábrán).

Ez azt jelenti, hogy a motorban előforduló nagyobb nyomásoknál a többállapotú öngyulladás jóval nagyobb hőmérsékletnél lehetséges.

A fentieket bizonyítják VOINOV [17] kísérletei is, amelyben meghatározta a szükséges kompresszió-hőmérsékletet a nyomás függvényében állandó gyúlési késedelem mellett (17. ábra). A görbékben látható, hogy többállapotú öngyulladási folyamat esetén az össz gyúlési késedelem különbözőképpen függ a hőmérséklettől és a nyomástól a különböző hőmérsékleti zónákban. Így kis hőmérsékleten ( $600\text{—}700\text{ K}^\circ$  alatt)  $\tau_2$  értéke erősen függ a hőmérséklettől, míg a nyomástól csak igen kis mértékben. Közepes hőmérsékleteknél ( $700\text{—}900\text{ K}^\circ$ )  $\tau_2$  a nyomástól függ erősen, míg a hőmérséklettől szinte teljesen független (a görbék vízszintes szakaszai). Végül nagy hőmér-

sékleteken normális összefüggés figyelhető meg a nyomás és hőmérséklet függvényében a Szemjonov-formulának megfelelően. Az ábrából látható, hogy *n*-hexán használatakor a kritikus vízszintes szakasz  $\varepsilon = 6,0$  kompresszióviszonynak megfelelő nyomásoknál és hőmérsékleteken, vagyis a motorban keletkező értékeknél mutatkozik.

A detonációs égés előbb kifejtett elmélete alapján érthető, hogy annak színeképében miért nem lehettek fel a szénhidrogének égésére jellemző CC és



17. ábra

CH vonalak. Ugyanis a láng nem a kiinduló szénhidrogén-levegő keverékben, hanem az átalakulások termékeiben (főleg CO-ban) keletkezik.

### 8. Karburátoros motorok gazdaságosságának növelése a sűrítési arány növelésével, s szegény keverék alkalmazásával

Ismert tény, hogy a karburátoros motorok gazdaságosságát leginkább a sűrítési arány növelésével lehet fokozni. Azonban karburátoros motoroknál a sűrítési arány növelésével kellemetlen jelenséggel állunk szemben, s ez a detonáció. A detonációs égés megjelenésével a kopások erősen nőnek, a motor

melegszik s teljesítménye csökken. Ezért a detonációs égést mindenképpen kerülni kell.

Hogy a detonációs égés milyen sűrítési aránynál kezdődik, az függ a használt üzemanyag előoxidációs folyamatokkal szembeni állékonyságától, vagyis az oktánszámtól. Mennél magasabb az üzemanyag oktánszáma, vagyis mennél inkább ellenáll az előoxidációs folyamatok kialakulásának, annál nagyobb sűrítési arány alkalmazható.

Tekintve, hogy jelenleg nem áll rendelkezésünkre elegendő nagy oktánszámmal rendelkező üzemanyag, más utat kell keresni a probléma megoldására.

A kísérletek azt mutatták, hogy a keverék összetétele leginkább az égés első fázisában (fellobbanás) hat a folyamat fejlődésmenetére.

Igen szegény vagy igen gazdag keverékben a gyújtás helyén létrejött láng nem képes tovaterjedni. Ennek oka első esetben a kis koncentráció, másik esetben az oxigénhiány. A láng bizonyos távolságban a gyújtás helyétől kialszik.

A keverékösszetétel eme határai, amin belül még lehetséges a láng tovaterjedése, egész sor tényezőtől, többek között a nyomástól és a hőmérséklettől függ.

Gyertyagyújtásnál a keverék meggyújtása a pólusok közti térben történik, ahol a gyújtás időtartama mintegy  $10^{-5}$ — $10^{-6}$  sec és a hőmérséklet kb. 6000—10 000 C°.

Természetes, hogy rögtön a fenti hőmérséklet elérése után a fenti kis térfogat igen gyorsan elkezd hűlni. Ha a reakció ideje kisebb lesz a hűtés idejénél meghatározott minimális hőmérsékletig, akkor a reakció kifejtette hő nem vezetődik el, s gyorsítja a reakció további menetét. Ellenkező esetben a reakció fékeződik, és megáll. Mivel szegény keveréknél a reakció ideje hosszabb (azonos feltételeket véve), a keverék hőfejlesztő képessége kisebb, ezért az utóbbi eset könnyen lehetséges.

HITRIN szerint a gyújtáshoz szükséges energia

$$E \approx \frac{H_u}{\sqrt{P}}. \quad (28)$$

Innen látható, hogy a nyomás növekedésével a gyújtás energiája csökken, illetve szegényebb keverék meggyújtható (kisebb  $H_u$ ) ugyanazon gyújtási energiánál. A hőmérséklet emelkedése szintén a könnyebb gyújtást kell hogy előidézze.

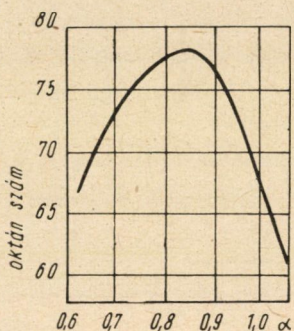
A fentiekből láthatjuk, hogy a keverékösszetétel alsó határa a nyomás és hőmérséklet növekedésével jelentősen eltolható. Így a sűrítési arány felemelése lehetővé teszi a szegény keveréknek is biztos meggyújtását. Azonban a sűrítési arány felemelésének biztosítani kell a detonációmentes égést is.

Detonációs égés karburátoros motorban nem stabilis közbenső oxidációs termékek (peroxidok) koncentráció növekedése miatt keletkezik. Közbenső

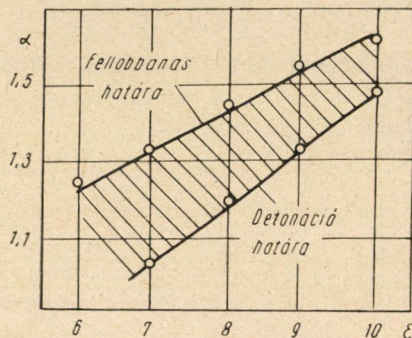


termékek keletkezésének intenzitása függ a keverék összetételétől, a nyomástól és hőmérséklettől (egy és ugyanazon üzemenyagra nézve).

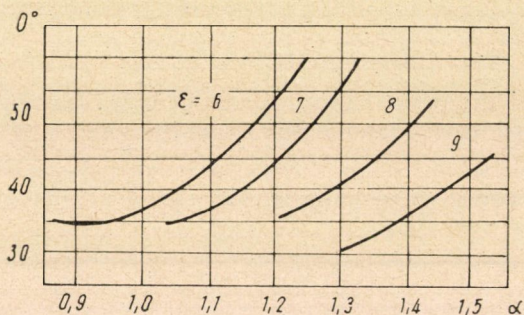
A kísérletek szerint a keverék szegényedése gátlólag hat a fenti nem stabilis közbenső termékek keletkezésére. Ugyanis a légfesleg tényező  $a$  növekedésével csökken a körfolyamat nyomása és hőmérséklete, ami csökkenti a közbenső termékek keletkezésének sebességét. A 18. ábrán látjuk a szükséges



18. ábra



19. ábra



20. ábra

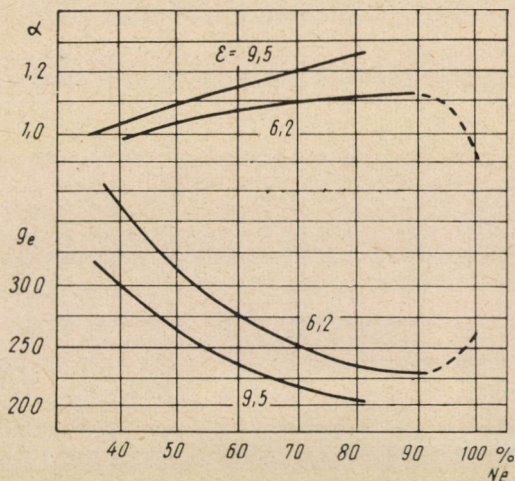
oktánszám változását a légfesleg tényező függvényében. Amint az ábrából látható, a keverék szegényedésével csökken a szükséges oktánszám. Fordítva ez azt jelenti, hogy a keverék szegényedésével egy és ugyanazon oktánszám mellett növelhető a sűrítési arány.

Ha most mindkét jelenséget figyelembe vesszük, akkor az  $\epsilon$  függvényében kijelölhetjük a légfesleg tényező azon értékeit, amelynél a motor normális, detonációmentes üzeme lehetséges (19. ábra).

A sűrítési arány növekedésével az előgyújtás szöge csökken, mint az a 20. ábrán látható. A MAMI-ban kísérletképpen Pobeda „M-20” motornak  $\epsilon = 9,5$ -re emelték fel a sűrítési arányát. A motor a légfesleg tényező meg-



határozott értékei között rendszeresen dolgozott 58 oktánszámú benzinnel. Terhelési diagramját a 21. ábra mutatja. Az ábrából látható, hogy a fajlagos fogyasztás mintegy 15–20%-kal csökken. Ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy a maximális teljesítményt ilyenkor nem tudjuk elérni a nagy értéke miatt. (Pl. a jelen esetben csak mintegy 83%-át.)



21. ábra

Mivel az elérhető gazdaságosság nem nő lineárisan  $\varepsilon$  növekedésével a sűrítési arányt mintegy  $\varepsilon = 8-9$  értékig célszerű emelni. Ezenkívül, mint az a 19. ábrából is látható,  $\varepsilon$  növekedésével a felső és alsó értékei közelednek egymáshoz, ami az üzemanyag pontos adagolását követeli meg.

## IRODALOM

1. Семенов, Н.: Цепные реакции. Л. 1934.
2. Зельдович, Я.: Теория горения и детонации газов. Изд. АН СССР 1944.
3. Fiock, E. Marvin, Ch.: Flame speeds and energy consideration for explosions. NACA REP. 682 1940.
4. Jost, W.: Explosions- und Verbrennungsvorgänge in gasen. 1939.
5. Щелкин, К.: О сгорании в турбулентном потоке. Ж. Т. Ф. № 9–10, 1943.
6. Damköler, G.: Der Einfluss der Turbulenz auf die Flammengeschwindigkeit. "Zeitschrift für El. Chem." № 11 1940.
7. Ricardo, H.: The High Speed Internal Combustion Engine. London 1929.
8. Иноземцев, Н., Кошкин, В.: Процессы сгорания в двигателях. Машгиз 1949.
9. Хитрин, Л.: Экспериментальное исследование влияния давления на нормальную скорость распространения пламени. Ж. Т. Ф. 1937.
10. Никитин, Д.: Исследование некоторых вопросов горения газовых смесей методом сферической бомбы. Дисс. 1951.
11. Соколик, А.: Влияние химических и турбулентных факторов на процесс сгорания в двигателях. Изд. АН СССР. 1951.

12. *Rassweiler, G. and Withrow, L.*: Emission Spektra of Engine Flames "Ind. Eng. Chem." 1931 N° 7, 1932N° 5.
13. *Rassweiler, G. and Withrow, L.*: Spectrographic Detection of Formaldehyde in an engine Prior to knock. "Ind. Eng. Chem." 1933 N° 12, 1934 N° 12.
14. *Egerton, A.*: Estimation of Combustion Products from the Cylinder of the Petrol Engine. "Phil. Tra.s. Roy. Soc." 1925 N° 744.
15. *Соколик, А.*: Перекиси и детонация в двигателях. Проблемы кинетики и катализа Т. IV. Л. 1937.
16. *Соколик, А.*: Основы теории детонации в двигателях. Изд. АН СССР. 1951.
17. *Воинов, А.*: О детонации и воспламенении в двигателе с искровым зажиганием. Изд. АН СССР. 1956.
18. *Нейман, М.*: Роль перекисей при образовании холодного и горячего пламен углеводов. Проблемы кин. и кат. Вып. IV. 1940.
19. *Морозов, К.*: Улучшение топливной экономичности карбюраторных двигателей. Труды МАМИ, 1954.

### ÖSSZEFOGLALÁS

Karburátoros motorokban a gyújtás egy pontban történik s innen a kialakult lángfront a tér minden irányában tovaterjed. Turbulens égés esetén a lángfront tovaterjedési sebességét gyakorlatilag a nagyméretű turbulens pulzáció intenzitása szabja meg. Ezért lehetséges igen nagy fordulatszámú motorok gyártása is.

Az égési folyamat kinetikai szempontból egyállapotú (egy p o n t beli) gyúlási folyamat, amely természeténél fogva csak normális láng tovaterjedéshez vezethet.

A karburátoros motorokban előforduló detonációs égés többállapotú öngyulladási folyamat következménye, amely meghatározott térfogatban alakul ki. A hidegláng folyamatok alatt az aktív közbenső termékek és gyökök olyan nagy koncentrációja képződik, hogy az öngyulladás az illető térfogatban a hangsebességgel terjed tova. A térfogat határán keletkező nagy nyomásgradiens okozza a detonációs hullámot.



# AZ ÉGÉS LEFOLYÁSA DIESEL-MOTORBAN

SITKEI GYÖRGY

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, MEZŐGAZDASÁGI GÉPEK TANSZÉKE

[Beérkezett 1959. február 11-én]

## I. Az égésfolyamatról általában

A Diesel-motor gazdaságos üzemének egyik fő feltétele a beadagolt üzemanyag időbeni és teljes elégetése. Így az égésfolyamat ismerete szükséges lenne a szerkesztő részére, hogy feladatát ésszerűen és jól megoldhassa. Ugyanakkor a Diesel-motor körfolyamatának legkevésbé tanulmányozott része éppen az égésfolyamat. Ennek oka abban keresendő, hogy a keverékképzés és égés folyamatai egymásbafonódnak, miközben különféle fizikai és kémiai időbeni folyamatok bonyolult komplexuma befolyásolja az elemi részfolyamatok kialakulását. Ezért a részfolyamatok működő motoron igen nehezen vagy egyáltalán nem figyelhetők meg. Modelleken (pl. bombában) végzett kísérletek során egyes paraméterek hatásának vizsgálata lehetővé válik, s az így kapott eredmények elméleti szempontból sokszor igen hasznosak lehetnek. Sajnos, a különböző kísérleti feltételek miatt a kapott eredmények legtöbbször közvetlenül nem vihetők át a motorra. Ezért a modellek szerkesztésénél a lehetőségekhez mérten biztosítani kell a tényleges motorüzemnek megfelelő feltételeket.

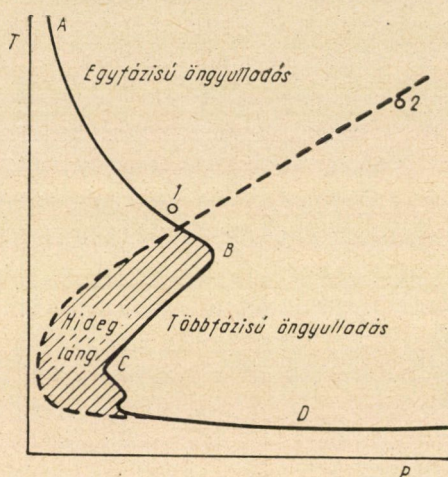
A keverékképződés, párolgás és égés folyamatáról alkotott felfogások a fejlődés folyamán jelentékeny változáson mentek keresztül. Maga DIESEL s a korabeli kutatók azt tartották, hogy a gyulladást a párolgási folyamat előzi meg, s a láng az elgázosodott üzemanyag-levegő keverékben terjed tovább. Később ALT, majd NEUMANN azt állították, hogy a párolgás nincs lényeges jelentőséggel a gyúlás és égés folyamatára, s az égés folyékony fázisban is létrejöhet. Pontosabb elméleti (WENTZEL [1]) és kísérleti vizsgálatok (ROTHROCK [2]) azonban ismét a párolgási folyamat nagy jelentőségére mutattak rá, s igazolták, hogy a gyúlási késedelem ideje alatt az üzemanyag jelentős része elpárologhat. Így kétségtelenül bebizonyult, hogy a tüzelőanyag-cseppek elpárologásának lényeges jelentősége van az égésfolyamatban.

A tüzelőanyag párolgási folyamata hatással van az égés menetére már csak azért is, mert a párolgás helyi lehűléssel járhat. Az egyes fizikai—kémiai folyamatok egymásba fonódása azt eredményezi, hogy a keverék nem lesz

homogén s az égés különbözni fog a homogén gázkeverékben történő égéstől. A párolgással egy időben megindul az elpárolgott üzemanyag diffúziója a környező légkör szomszédos rétegeibe s az öngyulladás ott következik be, ahol a koncentráció és hőmérséklet az öngyulladás szempontjából a legkedvezőbb.

## 2. A szénhidrogén-levegő keverékek öngyulladási folyamata

Mint azt több elméleti és kísérleti vizsgálat mutatta [3, 4], a Diesel-motor öngyulladási folyamata kinetikai szempontból többállapotú öngyulladási folyamat. Ugyanis a többállapotú öngyulladás felső hőmérsékleti határa



1. ábra

annál magasabb, minél nagyobb a nyomás (1. ábra, 1—2 szakasz), így az a motorban előforduló hőmérsékleteken is lehetséges.

A következőkben a szénhidrogének öngyulladási folyamatai különböző kinetikai eseteit tárgyaljuk, különös tekintettel a Diesel-motor égési folyamatára.

### A láncolatos-termikus öngyulladás

A szénhidrogének öngyulladási folyamata nem tekinthető egyértelmű jelenségnek. A jelenség természetét a kémiai kinetika néhány alapvető törvénye határozza meg, ugyanakkor lényegesen változhat azoktól a fizikai—kémiai feltételektől függően, amelyben az öngyulladási folyamat kifejlődik.

A szénhidrogének öngyulladási folyamata mindig egy bizonyos indukciós periódus (gyúlási késedelem) elteltével mutatkozik. Ha ez jelentősen meg-

haladja a hőrelaxációs időt (vagyis azt az időt, amelynél a hőmérséklet  $e$ -szerecsére csökken, s amely a hűtés viszonyait jellemzi), akkor TODESZ [5] szerint ilyen reakciósebesség és hűtési viszonyok mellett nem jöhet létre progresszív önfelmelegedés és termikus öngyulladás sem. Ebből következik, hogy az ilyen öngyulladás nem lehet egyszerű termikus öngyulladási folyamat. Az öngyulladás csak bizonyos autokatalizáló folyamatokon keresztül lehetséges, mikoris a reakció öngyorsulása a felhalmozódott reakciótermékek katalizáló hatására jön létre. Azonban hosszú indukciós periódusban tiszta láncolatoss öngyulladás sem lehetséges, mivel ekkor a kiinduló anyag már azelőtt oly mértékben elfogyhat, mielőtt a reakciósebesség a kritikus öngyulladási értéket elérte volna. Ezt az ellentmondást SZEMJONOV [6] oldotta meg a láncolatoss-termikus öngyulladás elméletének kidolgozásával. Eszerint a lassú láncreakció fejlődése nem az aktív centrumok okozta lánccélgazásokon keresztül jön létre, mely aktív centrumok az elemi reakciók során közvetlen keletkeznek (pl.  $\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$ ), hanem viszonylag stabilis közbenső termékek szétcsésése útján. A széteséskor keletkező szabad gyökök új reakciólánccokat kezdenek, melyek elágazása annál lassúbb, minél stabilabb a közbenső termék. SZEMJONOV az ilyen lassan fejlődő láncreakciót „elfajuló elágazású láncreakció”-nak nevezte. A reakciósebesség növekedésével növekszik a hőfelszabadulás sebessége is, s amikor az utóbbi meghaladja a hőátadás sebességét, bekövetkezik a reakció progresszív termikus gyorsítása s ezzel az öngyulladás.

Kísérletek igazolják, hogy a szénhidrogének öngyulladási folyamata az összes megjelenési alakjaiban a fenti fajtájú láncreakció szerint megy végbe.

#### *Az öngyulladás különböző hőmérsékleti zónákban*

A szénhidrogének kinetikai vizsgálata azt mutatta [7], hogy bizonyos hőmérsékleti zónában a termikus öngyulladás alapvető összefüggései nem érvényesek.

A termikus öngyulladás elmélete szerint a következő összefüggés érvényes a nyomás és hőmérséklet között

$$p \cdot e^{-\frac{A}{T}} = \text{const.},$$

ami azt jelenti, hogy a hőmérséklet csökkenésével az öngyulladásához szükséges nyomás határértéke növekszik. A fenti összefüggés csak nagy hőmérsékleten érvényes és bizonyos hőmérsékleti tartományban ennek a fordítottja figyelhető meg (1. ábra, BC szakasz), vagyis a hőmérséklet emelkedése megnehezíti az öngyulladást.



A gyúlási késedelem a hőmérséklettel a következő összefüggés szerint változik

$$\tau \cdot e^{-\frac{E}{RT}} = \text{const.}$$

A valóságban ez csak nagy és kis hőmérsékleten figyelhető meg, míg közbülső hőmérsékleti zónában (700—900 K°) szinte teljesen független a hőmérséklettől, sőt bizonyos esetekben a hőmérséklet növekedésével  $\tau$  értéke is növekszik.

A láncreakciók általános elméletéből következik, hogy az oxidáció sebessége a hőmérséklet emelkedésével növekszik. Ugyanakkor meghatározott hőmérsékleti zónában a reakció sebessége vagy nem függ a hőmérséklettől, vagy negatív hőmérsékleti koefficiens figyelhető meg.

Végül még határozott különbség figyelhető meg a különböző hőmérsékleti zónákban. Nagy hőmérsékleten a láng keletkezését folytonos reakció okozta öngyorsulás előzi meg, amelyben a legnagyobb rész az elágazó láncreakció okozta öngyorsulás és csak az utolsó kis részét foglalja el a termikus öngyorsulás. Alacsonyabb hőmérsékleteken a lángot az úgynevezett „hidegláng” folyamatok előzik meg, vagyis az öngyulladás folyamat több különböző stádiumon keresztül fejlődik ki. A fentiek alapján az öngyulladás területét két részre lehet osztani: nagyhőmérsékletű zónára, amelyben a legegyszerűbb módon jön létre a láncolatos-termikus öngyulladás, és kishőmérsékletű zónára, amely mindig több fázisú.

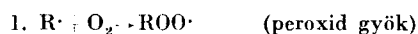
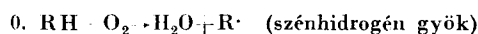
#### *A hidegláng folyamatok mechanizmusa*

Kisebb hőmérsékleten kicsi a valószínűsége aktív centrumok létrejöttének a molekulák szétesése útján, ezért ilyenkor az előoxidációs folyamat a szénhidrogének önoxidációja folytán peroxid képződéssel indul.

Mint azt NEJMAN [8] kísérleteiben kimutatta, a peroxid felhalmozódása a hidegláng indukciós periódusában növekvő sebességgel történik, valamilyen exponenciális törvény szerint  $\text{per} \sim e^{pt}$ . Azt is tapasztalták, hogy peroxid bevitele a keverékbe nagymértékben elősegíti a hidegláng keletkezését s annak indukciós periódusát is lényegesen csökkenti. Aldehidek szintén gyorsítják a hidegláng folyamatot, azonban jóval kisebb mértékben, mint a peroxidok.

A fenti kísérleti eredmények alapján született meg a hidegláng folyamatok kémiai természetéről alkotott két elmélet, amelyek lényegében az elfajuló elágazású láncreakció forrásául szolgáló aktív termék kiválasztásában különböznek egymástól. Az egyik elmélet szerint ilyen aktív termékül a peroxid, a másik szerint pedig az aldehid szolgál. SZOKOLIK [3] szerint ezt a két módot (peroxid és aldehid) úgy kell tekinteni, mint az elfajuló elágazású láncreakció létrejöttének lehetséges módjait, melyek bizonyos feltételek között egymásra hatnak.

Az alábbiakban bemutatjuk a szénhidrogének oxidációjának két lehetséges módját [3].



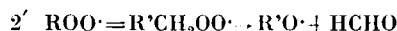
Peroxid séma

Formaldehid séma

a lánc folytatása



peroxid

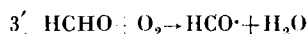


formaldehid

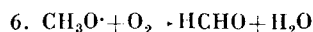
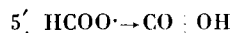
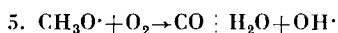
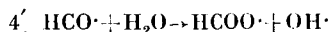
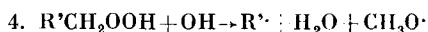
elfajuló elágazások



vagy



vagy



Eszerint a peroxidos minta a következőképpen jön létre. Először a szénhidrogén molekulákból reakció, vagy szétesés útján szénhidrogén gyökök keletkeznek, melyek szabad vegyértékük révén igen nagy kémiai aktivitással bírnak (0. reakció). Ezek  $\text{O}_2$ -vel reagálva peroxid gyököt adnak (1. reakció), mely a következő reakcióban hidroperoxidot (ROOH) ad (2. reakció). A hidroperoxid viszonylag stabilis, ugyanakkor aktív közbenső termék, amely időről időre szétesik, s több szabad gyököt hoz létre. Ezek a szabad gyökök hozzák létre az új önálló reakcióláncokat (3. reakció).

Mivel a peroxidok szétesésekor keletkező szabad gyökök az újabb peroxid molekulákkal történő ütközéskor azok szétesését okozzák, ezért a peroxidok szétesése lavinaszerű jelleget ölt. A reakció exotermikus jellege miatt felborul a hőegyensúly, s most már a peroxid szétesését a keverék felmelegedése is sietteti. A folyamat robbanási jelleget ölt az úgynevezett hidegláng kíséretében. A hidegláng folyamatban az összes kémiai energiának csak mintegy 10—15%-a szabadul fel s a keletkezett termékek

1. szabad gyökök, melyek tovább gyorsítják a szénhidrogének oxidációját,

2. nagy mennyiségű formaldehid, amely nemcsak a 3. számú reakciónak megfelelően keletkezik, hanem pl.



típusú szabad gyök rekombinációk során is. A felszabaduló energia elegendő a formaldehid optikai gerjesztéséhez.

Így kisebb hőmérsékleten is mindig megfigyelhető a hidegláng intenzív kisugárzása, amely a keletkező termékek kémiaiilag aktív voltára enged következtetni.

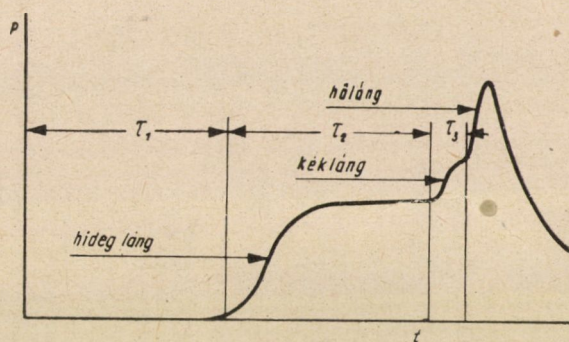
A formaldehid lényeges hatással van magára az öngyulladás folyamatra is, és hatása kis és nagy hőmérsékleten ellentétes. Nagy hőmérsékleten a formaldehid gyorsítja az öngyulladás folyamatát, míg kis hőmérsékleten gátolja azt.

Az utóbbi évek kísérleti eredményei azt mutatták, hogy a hidegláng folyamat nemcsak dús keverékben jöhet létre, hanem igen szegény keverékben is. Pl. BASZEVICS [4]  $\alpha \cong 100$  légfelesleg tényezőnél is regisztrálta a hidegláng kisugárzást, fénysockszorozóval. Ez utóbbi tény a peroxid-mód alapján nehezen magyarázható. Ugyanis a peroxid-mód szerint a hidegláng egy meghatározott sebességű peroxid szétesés következménye, amelyhez elegendő nagy peroxid koncentráció szükséges. A peroxid képződéshez szükséges  $O_2$  koncentráció (az 1. és 2. reakció szerint) nem nagyobb a szénhidrogén koncentrációnál, ami heptán esetén  $\alpha = 0,09$  légfelesleg tényezőt jelent. Kísérletek igazolják, hogy a hidegláng képződése szempontjából a fenti oxigén koncentráció az optimális. Ekkor viszont teljesen érthetetlen (a peroxid-mód szerint) a hidegláng keletkezése  $\alpha \gg 1$  keverékekben. A fenti ellentmondások megszüntetésére SZOKOLIK [3] a következő egységes módot ajánlja. Eszerint a kezdeti aktus mindig  $ROO\cdot$  peroxid, gyököt hoz létre (0. és 1. reakció), s az oxidáció a továbbiakban vagy a peroxid, vagy pedig a formaldehid-séma szerint folytatódik. Hogy melyik módon folytatódik a reakció, az attól függ, hogy a peroxid gyökök tudnak-e reagálni a szénhidrogén molekulákkal szétesésük előtt, amit végeredményben a keverék hőmérséklete és koncentrációja határoz meg. Az  $ROO\cdot$  gyökök létezése annál rövidebb idejű, minél nagyobb a hőmérséklet és a koncentráció. Ezért nagyobb hőmérsékleten egyedül a formaldehid-mód lehetséges, ugyanez kisebb hőmérsékleten csak igen szegény keverékben fejlődhet ki.

A peroxid gyök szétesése formaldehid képződését okozza (2' reakció), amely  $O_2$  jelenlétében a reakciólánc elágazását idézi elő (3'—5' reakciók), újra létrehozva a formaldehidet és az  $OH$  gyököt. Így a formaldehid-séma az elfajuló elágazású láncreakció összes jellegzetességeit mutatja és szintén létrehozza az aktív gyökök magas koncentrációját. A formaldehid itt szintén gerjesztett állapotban keletkezik, így a hideglánggra jellemző kisugárzás itt is mutatkozik. Ellentétben a peroxid-sémától, itt jelentős mennyiségű  $CO$  is keletkezik és feltételezhető, hogy ennek reakciója okozza azt a jellegzetes kékszínű kisugárzást, amely ennek a jelenségnek a „kék láng” elnevezést adta. Most már a folyamatot úgy képzelhetjük el, hogy a reakció párhuzamosan megy mind a peroxid-, mind pedig a formaldehid- módon, miközben a



formaldehid kihat a peroxid képződésére — a pillanatnyi viszonyoknak megfelelően. A formaldehid oxidációja szabad gyököket hoz létre, melyek a peroxid szétesését okozzák, vagyis gátolják a peroxidos hidegláng folyamat fejlődését. Ez utóbbi a hőmérséklet növekedésével növekszik, így meghatározott hőmérsékleti zónában a reakció lassulását okozza (negatív hőmérsékleti koefficiens). Meghatározott viszonyok között a peroxid folyamat gátlása a hidegláng kialakítását okozza azzal, hogy most már mint kék láng jelenjék meg a szénhidrogén jelentős részének oxidációja közepette, egészen a CO-ig. A hőfejlődés és az aktív gyökök (OH) nagy koncentrációja következtében létrejön a CO öngyulladása, mellyel be is fejeződik a folyamat.



2. ábra

A szénhidrogének öngyulladási folyamatáról összefoglalóan a következőket mondhatjuk:

a) A szénhidrogének öngyulladása végső soron mint a CO öngyulladása következik be.

b) Szénhidrogének kishőmérsékletű, többfázisú öngyulladási folyamatát általában mint háromfázisú folyamatot lehet felfogni (2. ábra), amely hidegláng képződéssel indul, majd átmenve a kék lángba, a CO öngyulladással fejeződik be.

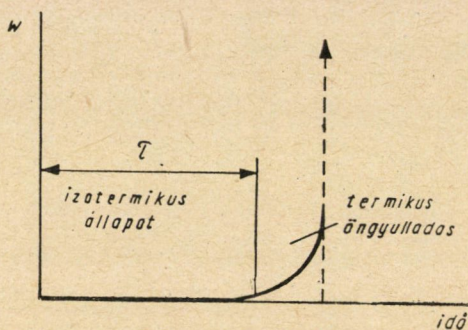
c) A magashőmérsékletű öngyulladás folyamatos, egyfázisú elágazó (formaldehiden keresztül) láncreakciót képez, amely szintén a CO öngyulladással fejeződik be (3. ábra).

Az öngyulladáshoz szükséges nyomás határértéke, valamint az összegyúlési késedelem ( $\tau_{\Sigma}$ ) a hidegláng intenzitásától, vagyis a szabad gyökök koncentrációjától függ. A hőmérséklet növekedésével a hidegláng intenzitása csökken, ami a következő fázisok bizonyos mértékű lassulását eredményezheti (4. ábra).

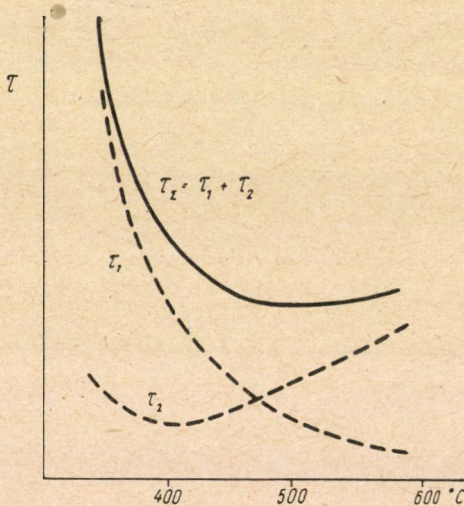


Ezért az összgyúlási késedelem ( $\tau_{\Sigma}$ ) többfázisú öngyulladás esetén a hőmérséklet növekedésével nem csökken a Szemjonov-formula szerint, sőt bizonyos hőmérsékleti tartományban  $\tau_{\Sigma}$  növekedése figyelhető meg.

Mint ismeretes, az Otto-motorokban megfigyelhető detonációs égés szintén többfázisú öngyulladás folyamat következménye [9]. Így természe-



3. ábra



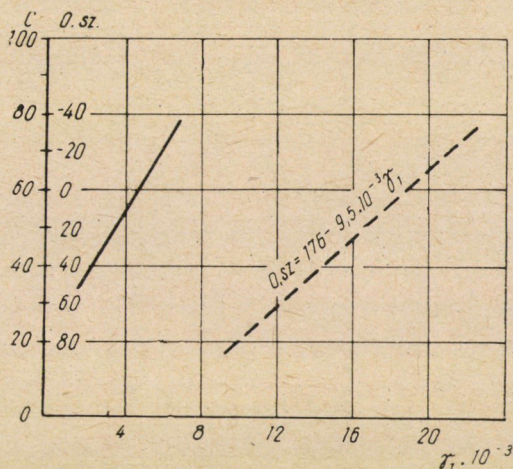
4. ábra

tes, hogy Diesel-motorban is előfordulhat detonációs jellegű égés. Diesel-motorban azonban a keverékképzésből kifolyólag nagyobb összefüggő homogén keverék eloszlású térfogat csak ritkán alakul ki, így a detonáció intenzitása jóval kisebb, mint a karburátoros motorban.

Korábban láttuk, hogy a formaldehid-mód kifejlődésével bizonyos viszonyok között csökken a peroxid-hidegláng intenzitása, vagyis az üzemanyag detonációs ellenállóképessége növekszik. A formaldehid gátló hatása



abban is megnyilvánul, hogy a  $\tau_1$  indukciós periódus hőmérséklettel való csökkenése lassul, vagyis a  $\gamma_1 = \frac{E_1}{R}$  hőmérsékleti koefficiens csökken. A fentiek alapján várható, hogy a hőmérsékleti koefficiens és a Cetán-szám között meghatározott összefüggés van. Valóban, SZOKOLIK [10] még 1940-ben empirikus úton felfedezte ezt az összefüggést, amely a fenti elmélet keretén belül



5. ábra

magyarázható. Parafinos szénhidrogének esetén homogén keverékre

$$O. sz. = 176 - 9,5 \cdot 10^{-3} \frac{E_1}{R},$$

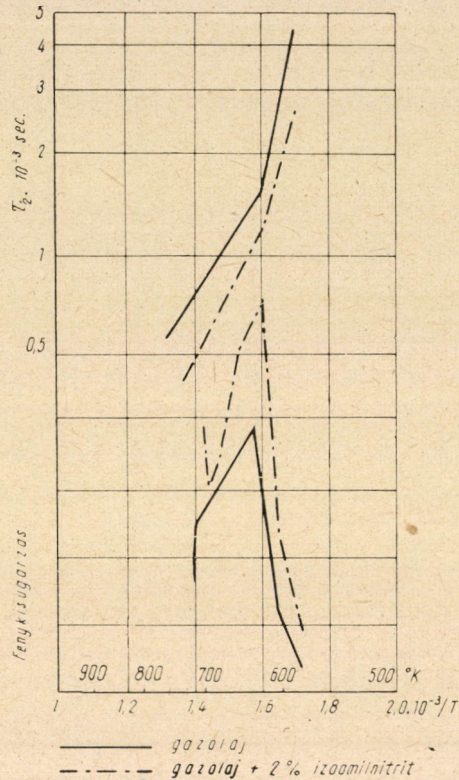
ahol  $O. sz.$  — az oktánszám.

Az üzemanyag befecskendezésére hasonló összefüggést találtak (5. ábra), amely meggyőzően bizonyítja, hogy a dieselmotorikus öngyulladás kinetikai természete azonos a karburátoros motorokban mutatkozó detonációs égés kinetikai természetével. Ugyanakkor látható, hogy dieselüzemanyagok befecskendezésekor  $E_1$  értéke kisebb, mint a homogén keveréké. Ez egyrészt azzal magyarázható, hogy a kísérleteket különböző nyomás- és hőmérséklet-tartományban végezték. Ezenkívül Diesel-motor példájában figyelembe kell venni a párolgási folyamat hatását, valamint a folyékony fázis jelenlétét. SERRUYS [11] kísérletei szerint ugyanis folyékony fázis jelenlétében a peroxid képződés intenzívebb, mint homogén gázfázis esetén. A gyors párolgási folyamat különösen kisebb kompresszió esetén szintén kihat a hidegláng folyamat kifejlődésére, amennyiben a hőmérséklet csökkentésével csökken a hidegláng folyamat sebessége, a gyúlási késedelem nő. Ezt bizonyították a „MIB-D” motorral végzett kísérleteink is, amikor a porlasztási nyomás  $130 \text{ kg/cm}^2$ -ről  $175$



kg/cm<sup>2</sup>-re történő emelése a gyúlási késedelem bizonyos mértékű növekedéséhez és erős detonációs égéshez vezetett [12].

A hidegláng folyamatok intenzitását jó közelítéssel a formaldehid vegyi lumineszcenciája jellemzi. Mint a kísérletek mutatják, a hidegláng intenzitása bizonyos határ után a hőmérséklet növekedésével csökken, s vele együtt



6. ábra

a második fázis aktivációs energiája is. Így a  $\tau_2$  indukción periódus a fenti hőmérséklet elérése után lassabban csökken a hőmérséklet növekedésével, a görbe törést mutat a  $\lg \tau - \frac{1}{T}$  koordináta-rendszerben (6. ábra).

A fentiekből látható, hogy a szénhidrogének dieselmotorikus öngyulladás folyamata igen bonyolult komplexumot képez, melynek egyes fázisai lényegesen kihatnak a folyamat egész fejlődésmenetére. Ezért a gázolajokat jellemző Cetán-szám csak a kísérletekhez megállapított szabványos viszonyok mellett érvényes, más esetekben az egyes fázisok kifejlődésétől függően más-más gyúlási késedelmet kaphatunk, még azonos kompresszió viszony esetén is.

*Az égés lefolyása a „MAN-M” és az izzófejes motorokban*

1954-ben a nürnbergi MAN-gyár új típusú motorral jelent meg a piacon, az úgynevezett M-motorral (Mittenkugel-Brennraum-Verfahren), amely lágý járásával, gazdaságos üzemével és üzemanyag iránti érzéketlenségével tűnt ki. A keverékképzés jellegzetessége a korábbi rendszerekhez viszonyítva az volt, hogy az üzemanyagot a dugattyúkamra falára fecskendezték s az innen elpárolgó üzemanyag levegővel történő elkeveredését megfelelő légmozgás biztosította. A lágý és detonációmentes üzemet MEURER [13] korábbi közleményeiben a Diesel-motoroktól eltérő reakciómechanizmussal s az izzó szénrészecskéktől származó kényszergyújtással magyarázta. Azonban MEURER megállapításai nehezen magyarázhatók. Ugyanis a kamra falán elpárolgó üzemanyagban meginduló előoxidációs folyamat, a viszonylag kis hőmérséklet miatt, feltétlen a korábban ismertetett többfázisú öngyulladású folyamat szerint, vagyis peroxid képződéssel indul. A további fázisokban az eltérés abból adódik, hogy a reakció inkább gázfázisban folytatódik, ami a peroxid képződésre gátlólag hat. Tehát az égés nagyobb részét a formaldehydes mód szerint történik. Az angol kutatások ezt igazolták, mikoris a színeképek alapján nem találtak különbséget az M-motor és a közönséges Diesel-motor égésfolyamata között.

Az izzó szénrészecskéktől származó kényszergyújtás szintén nehezen érthető. Kísérletek szerint az izzópont hőmérsékletének legalább 1000—1200 C° hőmérsékletűnek kell lennie ahhoz, hogy a gyújtás létrejőjön. Néhány mikronos átmérőjű részecskék hőmérséklete szinte pillanatnyilag veszi fel a környezet hőmérsékletét, amely a fenti értékeknél jóval kisebb.

Érdekes megjegyezni, hogy MÜHLBERG legutóbbi közleményéből a fenti Meurer-féle tételek már teljesen hiányoznak [14].

A MAN-M motor lágý járása a keverékképzés időbeni lefolyásában leli magyarázatát. A folyamat kezdetén keletkező, viszonylag kis hőmérséklet miatt a gyútlás kezdetéig az üzemanyagnak csak kisebb része párolog el, ami kis nyomásemelkedési sebességet eredményez. Ugyanakkor az égés következtében a párologás nagy mértékben gyorsul, így az égés időbeni lefolyása biztosítva van.

Lényegében hasonló égési mechanizmussal van dolgunk az izzófejes motorban is. A befecskendezés az alsó holtpon t tájékán történik, s az üzemanyag elpárolgása viszonylag nyugvó közegben jön létre az izzókúpon. Az égésteret égéstermék tölti ki, melynek oxigén koncentrációja minimális és csak az előoxidációs folyamatok megindulásához elegendő. A keletkezett aktív közbenső termékek termikus öngyulladása csak akkor következik be, amikor a dugattyú friss levegőt nyom be a kamrába. Mivel az égéster szájnýlása olyan kiképzésű, hogy az a kamrában egyértelmű légmozgást nem hoz létre, az aktív termékek és a levegő keveredése nem lesz folyamatos. Ezzel magya-

rázható e motorok kemény, detonáció jellegű égésfolyamata. Ezen a téren haladást jelentett a szerző részéről is javasolt [16], majd a Mezőgazdasági Gépkísérleti Intézetben megvalósított tangenciális beömlésű égéskamra használata [17]. A keveredés itt meghatározott törvényszerűség szerint folyik le, ami az égés dinamikáját is szabályozni fogja. A fenti megfontolásokat a Gépkísérleti Intézet mérései igazolják.

### 3. A fizikai—kémiai és hidrodinamikai jellemzők hatása a gyúlási és égési folyamatra

Az égésfolyamat kinetikai természetét lényegében az üzemanyag kémiai összetétele, valamint az égéstérben uralkodó nyomás és hőmérséklet határozza meg. Az égés tömegsebessége, vagyis a hőfejlődés sebessége azonban egész sor fizikai—kémiai és hidrodinamikai tényező függvénye.

A fenti kérdések tisztázásának az ad nagy jelentőséget, hogy napjainkban a Diesel-motorok fordulatszámának növelése kulcskérdéssé vált. A fordulatszám növelésével tovább csökken a keverékképzésre rendelkezésre álló idő, ugyanakkor az üzemanyag tökéletes és időbeni elégetése továbbra is elengedhetetlen követelmény. A gyúlási késedelem növekedése még kompenzálható nagyobb előbefecskendezési szög beállításával, azonban az égés alapfázisa forgattyúszerkezetekben mérve nem növekedhetik.

A Diesel-motorok vizsgálata azt mutatta, hogy az égés alapfázisának hossza jó keverékképzés esetén nem emelkedett lényegesen a fordulatszámmal. Ezért feltételezhető, hogy hasonlóan a karburátoros motorokhoz, a turbulens pulzációnak az égés meghatározott fázisaiban a folyamat gyorsítása szempontjából nagy jelentősége van.

Diesel-motorokban a hőmérséklet változásának még egy hatása van, amennyiben a hőmérséklet növekedésével változik a kémiai reakció és a keverékképzés idejének viszonya  $\left( \frac{\tau_{kém}}{\tau_{kev}} \right)$ .

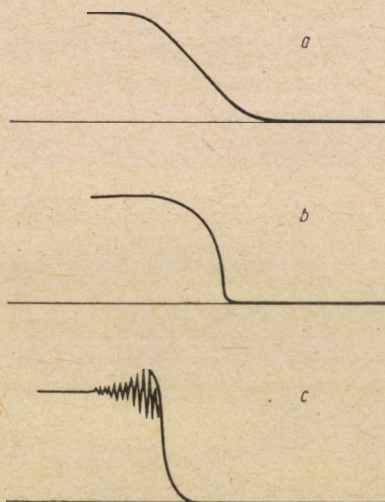
Ha a kémiai reakció sebessége jelentősen felülmúlja a keveredés sebességét (nagy hőmérséklet esetén), akkor diffúziós égéssel van dolgunk. Az üzemanyag sugár-héjában elpárolgott anyag még éppen hogy elkezd diffundálni a szomszédos részek felé, amikor a határfelületen — amely nagy üzemanyag és oxigén koncentráció gradienssel bír — már megkezdődik az égés. A további keveredés a láng zónájában jön létre s az égési sebességet a diffúzió intenzitása szabja meg. Az égés jellemzői: rövid gyúlási késedelem, elnyújtott égés, az égéstermékekben el nem égett közbenső termékek nem találhatók.

A másik szélső eset, amikor a keveredés ideje jóval rövidebb a kémiai reakció idejénél. Ekkor a láng keletkezéséig egynemű keverék képződik, s a keletkezett lángfészkekből az égés a karburátoros motoréhoz hasonlóan terjed tova. A folyamatot füstnélküli, láng égés jellemzi.



Közbülső helyzet adódik, ha a keveredés ideje közel azonos a kémiai reakció idejével. A folyamat jellegzetessége az, hogy a keveredés és az oxidációs folyamat egy időben folyik, melyek egymásra hatnak. Ilyenkor az égéstér jelentős részét aktív részecskékkel telített keverék foglalja el, ami az előoxidáció folyamán a detonációszerű égés feltételeit hozza létre. Az égés nagy nyomásemelkedési sebességgel történik.

A  $\frac{\tau_{\text{kém}}}{\tau_{\text{kev}}}$  viszony több tényező következtében változhatik. Így pl. a keverékképzés sebessége lényegesen függ a turbulencia intenzitásától, ugyanakkor kevésbé a hőmérséklettől. Viszont a reakció sebessége lényegesen csak a hőmérséklettől függ.



7. ábra

A fenti típusú égéseket jellemző nyomás-görbék a 7. ábrán láthatók [18]. Kis hőmérsékleten a hőfejlődés és a nyomásnövekedés lassan, az S-görbe szerint történik. Nagy hőmérsékleten a rövid gyúlási késedelem, a meredek nyomásemelkedés és a lassú utóégés a jellemző. Közepes hőmérsékleti zónában gyors nyomásemelkedés és a detonációs égésre jellemző nyomáshullám vibráció figyelhető meg, utóégés nélkül.

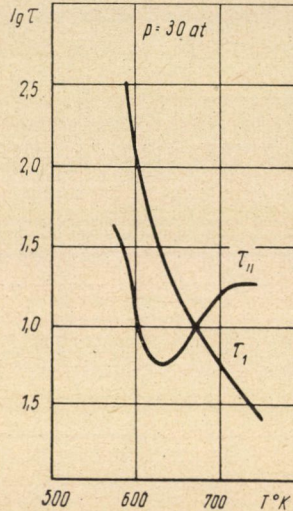
#### *A kezdeti hőmérséklet hatása az öngyúlási és égési folyamatra*

A befecskendezés kezdetekor keletkező keverékhőmérséklettől nagymértékben függ az előoxidációs folyamatok mechanizmusa és ideje s ezzel



a gyúlási késedelem. Ha ugyanekkor a keveredés sebessége lényegesen nem változik, akkor a  $\left(\frac{\tau_{kém}}{\tau_{kev}}\right)$  viszony különbözőképpen alakulhat.

SZVIRIDOV [18] Diesel-bombában kapott kísérleti eredményeit a 8. ábrán láthatjuk. A gyúlási késedelem a hőmérséklet emelkedésével csökken, mialatt az aktivációs energia is csökken. A görbéket a  $\lg \tau - \frac{1}{T}$  koordináta-



8. ábra

rendszerben ábrázolva meghatározható az aktivációs energia látszólagos értéke, melyek az alábbi táblázatban találhatók.

Kezdeti nyomás	Hőmérsékleti zóna	
	magas	alacsony
20	20 000	36 000
30	17 000	34 700
40	10 000	30 000

Az égés alapfázisának ideje  $\tau_{II}$ , a hőmérséklettől különbözőképpen függ. A hőmérséklet növekedésével mintegy 650 K°-ig  $\tau_{II}$  értéke csökken, majd ismét növekedni kezd. A maximális égési sebesség a fenti kísérletekben tehát 650 K° környékén következett be a 7c ábrán látható nyomás-görbével. SZVIRIDOV szerint ugyanis itt teljesült a  $\tau_{kém} = \tau_{kev}$  viszony, mely a fentebb elmondottak értelmében létrehozza a detonáció jellegű égés feltételeit.

Nagyon érdekes, hogy SZOKOLIK [4] a maximális hidegláng intenzitást ugyanilyen hőmérsékletnél mérte (lásd 6. ábra), s a gyúlási késedelem görbéjének töréspontja a  $\lg \tau - \frac{1}{T}$  koordináta-rendszerben szintén itt következett be [19]. Ezért fel kell tételeznünk, hogy a hidegláng folyamatok maximális intenzitása is hozzájárul a rövid detonációszerű égés kifejlődéséhez.

Közönséges Diesel-motoroknál ( $\varepsilon = 14-18$ ) a befecskendezés pillanatában a levegő hőmérséklete  $800-950 \text{ K}^\circ$ , vagyis nagyobb a maximális hidegláng intenzitást jelentő  $650 \text{ K}^\circ$  értéknél. Ez azonban nem jelenti azt, hogy ezen a hőmérsékleten nem fejlődhet ki detonációs égés. A  $\tau_{\text{kém}} = \tau_{\text{kev}}$  feltétel, SZVIRIDOV kísérleteitől eltérően, más hőmérsékleten is fennállhat s végeredményben az égés dinamikáját a fizikai—kémiai és hidrodinamikai tényezők együttesen szabják meg.

Megjegyezzük, hogy az izzófejes motoroknál ( $\varepsilon = 5-6$ ) az égőtérben levő füstgáz hőmérséklete kb.  $650 \text{ K}^\circ$  körül van, ami a fentiek szerint kedvezően hat a detonációs égés kifejlődésére. Ezért a keverékképzés időbeni szabályozása itt különös jelentőséggel bír.

#### *A kezdeti nyomás hatása az öngyulladásra és égési folyamatra*

A kezdeti nyomásnak az öngyulladásra és égési folyamatra gyakorolt hatása ma még nem teljesen tisztázott kérdés. A kísérleti eredmények is többször ellentmondanak egymásnak [18, 19, 20], aminek egyrészt az a magyarázata, hogy azokat különböző feltételek mellett végezték. A kezdeti nyomás változtatása egyben megváltoztatja a befecskendezett üzemanyag sugar alakját, valamint a porlasztás és keverékképzés dinamikáját is, ami a különböző kísérleti berendezéseknél különböző mértékben jelentkezhetik.

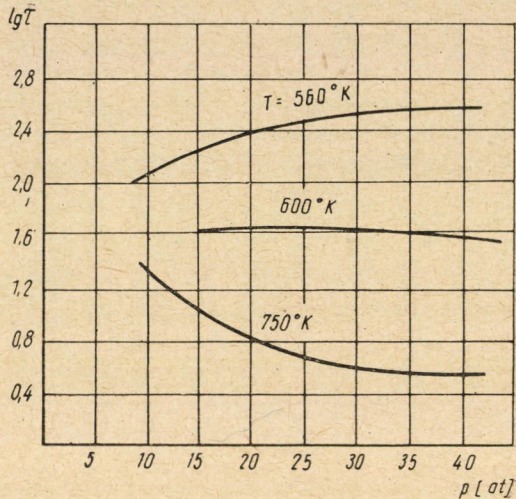
Ismeretes, hogy a gyúlási késedelem a nyomástól a következő alakú összefüggés szerint függ

$$\tau \sim \frac{1}{p^n}$$

WOLFER [20]  $n = 1,19$  értéket ad meg, míg SZERBINOV [19] szerint ez az érték  $0,35-0,50$  között változik. A kérdésben bizonyos mértékű előrehaladást jelentenek SZVIRIDOV [18] legújabb kísérletei, melyek szerint a nyomás befolyása a gyúlási késedelemre a különböző hőmérsékleti tartományokban más és más. Eszerint  $600 \text{ K}^\circ$  alatt a nyomás növekedésével  $\tau$  értéke növekszik,  $600-700 \text{ K}^\circ$  között a nyomásváltozás gyakorlatilag nem befolyásolja a gyúlási késedelmet, míg  $700-900 \text{ K}^\circ$  hőmérsékleti tartományban  $\tau$  erősen függ a nyomástól (9. ábra). Ez utóbbi hőmérsékleti tartományban  $n$  értéke



1,0—1,2 között változik. Hasonló eredményeket találtak más kutatók is [7, 21]. A probléma teljes értékű megoldásához azonban még további kísérleti anyagra van szükség.



9. ábra

#### *Hidrodinamikai tényezők hatása az öngyulladásra és égési folyamatra*

A Diesel-motorok fordulatszámának növelése, különösen a gépjárműtechnikában, kulcskérdéssé vált. A fordulatszám növekedésével mind kevesebb idő áll rendelkezésre a keverékképzésre és az égésre, ezért ez utóbbi folyamatokat valamilyen módon gyorsítani kell. A gyúlási késedelem növekedése (forgattyúszögekben) még nagyobb előbefecskendezési szög állítással ellensúlyozható, azonban az égés elnyúlása már a ciklus gazdaságosságának rovására megy.

Az eddigi megfigyelések azt mutatták, hogy jó keverékképzés esetén az égés ideje észrevehetően nem növekedett meg a fordulatszám növekedésével, ezért fel kell tételezni, hogy — a karburátoros motorokhoz hasonlóan — a turbulencia itt is gyorsítja az égés alapfázisát. Sajnos, eddig csak egyetlenegy munkára hivatkozhatunk [18], amelyben kísérlet történt a fenti feltételezés igazolására. A mérések igazolták, hogy az égés alapfázisában az égés tömegsebessége a turbulenciával nő. A gyúlási késedelem ideje bizonyos mértékben szintén csökken, azonban itt egyértelmű összefüggést nem lehetett eddig megállapítani.

A kísérletek hiányossága, hogy a turbulencia struktúráját és intenzitását nem határozták meg s ezért a turbulencia gyorsító hatása mennyiségileg nem állapítható meg.

A hidrodinamikai jellemzők hatásának vizsgálata a közeljövő egyik legfontosabb kísérleti célját kell hogy képezze.

#### 4. Az égés fázisai Diesel-motorban

A Diesel-motorban végbemenő égésfolyamat, mint láttuk, bonyolult egymásbafonódó folyamatot képez, kezdve a befecskendezés kezdetétől a kipufogás kezdetéig.

Habár az egymást követő folyamatok szorosan függenek egymástól és feltételezik egymást, mégis célszerű a Diesel-motorban lejátszódó égésfolyamatot részekre osztani.

Az égésfolyamat részekre való osztásának gondolata H. RICARDOTÓL (1923) ered. Ő az égésfolyamatot három részre osztotta.

Az égés összetett sebessége a folyamat egyes fázisainak sebességétől függ, s így azt a leglassúbb fázis sebessége szabja meg. Némelykor a fizikai—kémiai átalakulások határolják az égés sebességét (kinetikai égés), máskor a reagenseknek a reakció helyéhez való adagolása, illetve az égéstermékek elvonása (diffúziós égés).

A következőkben az égésfolyamatot négy részre fogjuk osztani.

A *gyúlási késedelem* fázisa a befecskendezés kezdetétől a termikus öngyulladás kezdetéig tart. Főbb jellemzői a következők:

a) A reakciósebességek viszonylag kicsinyek, s a reakció termékei közbülső termékek (pl. hidegláng folyamatok).

b) Az üzemanyag állandóan lép be a hengerbe, felhalmozódva a gyúlás kezdetéhez.

c) A fizikai—kémiai folyamatok okozta nyomás- és hőmérsékletváltozás olyan kicsiny, hogy gyakorlatilag azt a kompresszió szabja meg.

A gyúlási késedelem ideje alatt belépő üzemanyag a fizikai—kémiai átalakulások egész során megy át. Az üzemanyag-cseppek felmelegszenek, elpárolognak és kémiai átalakuláson mennek keresztül, amikor is nagyszámú aktív centrum keletkezik.

A porlasztás, valamint a cseppek levegővel való elkeveredése sohasem egynemű, ezért az öngyulladáshoz szükséges feltételek egyes pontokban vagy kisebb térfogatokban jönnek létre. Az első fázis végére az égéstérben bizonyos számú tüzfészkek keletkezik, melyekben a reakció lángképződéshez vezet.

Az égés *második fázisa* az öngyulladástól a maximális nyomás elérésig tart. (Mai gyorsjárású Diesel-motorban a maximális nyomás helye 6—10°-kal a felső holtpont után.)

A fázis jellemzői a következők:

a) A nagyszámú tüzfészkek csaknem egyidejű öngyulladása.

b) Az égés tömegsebességének gyors növekedése, mely a fázis végére eléri maximumát.

c) A gyúlási késedelem és a befecskendezés idejétől függően az üzemanyag égéstérbe való bevitele folytatódhatik, az üzemanyag koncentráció gyors növekedése mellett.

d) A nyomás és hőmérséklet gyors növekedése.

A második fázisban lejátszódó folyamatok közvetlen meghatározzák a nyomásemelkedés sebességét és a maximális égési nyomást. Ugyanakkor a második fázis meghatározza a következő fázisok lefolyását (hőbevezetés intenzitása) is, és erősen kihat a körfolyamat jóságára.

A több pontbani öngyulladás oka a kiinduló „csepp-levegő” keverék és az ebből fakadó heterogén hőmérséklet és koncentráció eloszlás. Az öngyulladási pontok száma függ a porlasztás minőségétől és a tüzelőanyag-cseppek égéstérbeni eloszlásától. A megfigyelések szerint az öngyulladási pontok számának minden üzemállapotban nagy jelentősége van s ezek a terheléssel nőnek. Az öngyulladás után ezekből a pontokból keletkező láng minden irányban különböző sebességgel tovaterjed. A láng tovaterjedési sebessége attól függ, hogy az adott térfogatban milyen jellegű égés fejlődhet ki. Tiszta kinetikai vagy diffúziós égés esetén a láng tovaterjedési sebessége 10—30 m/sec között változik. Közbülső esetben, amikor a keverékképzés és az előoxidációs folyamatok térben és időben összefonódnak, bizonyos térfogatokban létrejöhet a detonációs jellegű öngyulladás feltétele s ilyenkor a láng tovaterjedési sebessége elérheti a hang sebességét. Tekintve, hogy a legtöbb esetben még a második fázisban is folytatódik az üzemanyag bevitele az égéstérbe, a láng tovaterjedésének befejeztével az égés az egész kamrában tovább folytatódik. Kísérleti adatok szerint [22] a láng tovaterjedési ideje csak mintegy egy-harmadát foglalja el a második fázisnak.

Az égés második fázisában nagy mennyiségű közbenső termék keletkezik, így a közben befecskendezett üzemanyag ezekkel a termékekkel keveredik.

Az égés *harmadik fázisa* a maximális nyomástól a maximális hőmérséklet eléréséig tart (20—35°-kal a felső holtpont után).

Jellegzetességei :

a) Intenzív égés az elért legnagyobb sebességgel.

b) Az adagolás befejeződik, az oxigén és üzemanyag koncentráció csökken. A légfesleg tényező közeledik minimális értékéhez.

c) A közbenső termékek koncentrációja gyorsan csökken, míg a végtermékek koncentrációja gyorsan nő.

d) A hőmérséklet emelkedése a maximális értékig és a nyomás csökkenése az expanzió miatt.

Az égés harmadik fázisában, tekintettel a végtermékek és inert gázok viszonylagos növekedésére, nagy jelentősége van a keveredésnek és a diffúziónak. Ezért itt a rendezett légmozgás és a turbulens pulzáció lényegesen gyorsíthatja az égést. A fázis hosszát a keveredés jósága határozza meg.



A lassú utóégés képezi az égés negyedik fázisát, amely a maximális hőmérséklet elérésétől az égés befejezéséig tart. Kísérletek azt mutatják, hogy az égés folytatódhatik a kipufogás kezdetéig, sőt az alatt is.

A negyedik fázis mintegy 50%-a az egész keverékképzés és égés idejének, mialatt az összes hő 10–20%-a vezetődik be. A fázis jellemzői:

a) Az égési sebesség állandóan csökken, a reakció lassan kialszik.

b) Üzemanyag adagolás nem történik, a kiinduló reagensek koncentrációja zérushoz tart, a légfelesleg tényező állandó lesz.

c) Az égés végtermékeinek lassú növekedése, a  $\text{CO}_2$  és  $\text{H}_2\text{O}$  görbéi aszimptotikusan közelednek maximális értékükhöz.

d) A nyomás és hőmérséklet gyors esése az expanzió következtében.

Mint látható, a negyedik fázis a leghosszabb és jelentős mennyiségű hő vezetődik be, különösen nagy terheléseknél. Mivel a folyamat az expanzió vonalán történik, növekvő dugattyúsebesség mellett, az itt keletkező égéstermékek expanzió lehetősége nagymértékben csökken, s vele együtt a bevitt hő kihasználása is. Ezért nagyon fontos a negyedik fázis rövidítése, jó keverékképzés biztosításával. A légmozgás és turbulens pulzáció itt is lényegesen gyorsítja az égés befejezését s ezzel rövidíti a fázis hosszát.

## 5. A gyúlási késedelem

Az égéstérbe befecskendezett üzemanyag nem gyullad meg azonnal, hanem csak bizonyos idő elteltével. Ezt az időt indukciós periódusnak, vagy gyúlási késedelemnek nevezzük.

A gyúlási késedelem ideje alatt az üzemanyag bejut az égéstérbe, cseppekre esik szét, majd elpárolog. Az elpárolgott üzemanyagban megindulnak az előoxidációs folyamatok, melyek végül is a termikus öngyulladásához vezetnek.

A gyúlási késedelem ideje fontos jellemzője a Diesel-motor körfolyamatának, amennyiben annak hossza erősen befolyásolja a ciklus dinamikai jellemzőit. Ezért a gyúlási késedelem meghatározásának a különböző paraméterek függvényében nagy jelentősége van.

Először NEJMAN és JEGOROV [23] nagyszámú kísérleti anyag feldolgozása alapján állított fel empirikus képletet a gyúlási késedelem kiszámítására (metán;  $T > 1000 \text{ K}^\circ$ )

$$p^{1,8} \cdot \tau \cdot e^{-\frac{41000}{T}} = \text{áll.}$$

Nem sokkal később SZEMJONOV [6] elméletileg is igazolta a fenti kifejezés elvi helyességét. A gyúlási késedelem idejére, izotermikus láncreakció esetén, a reakció sebessége SZEMJONOV szerint

$$w = A \cdot e^{\varphi \cdot \tau},$$

ahol

$$\varphi = \text{const} \cdot p^n \cdot e^{-\frac{E}{RT}}.$$

Mivel a gyúlási késedelem ideje alatt a nyomás és hőmérséklet nem változik lényegesen,  $A$  értéke, sőt maga a reakciósebesség is közel állandónak vehető, vagyis

$$w = A \cdot e^{p\tau} = \text{áll.},$$

ahonnan

$$p^n \cdot \tau \cdot e^{-\frac{E}{RT}} = \text{áll.} \quad (1)$$

A fenti kifejezéshez meg kell jegyeznünk, hogy az csak nagyhőmérsékletű, egyfázisú öngyulladású folyamatra érvényes, amikor a folyamat izotermikus láncreakcióval kezdődik.

Többfázisú öngyulladású folyamat esetén a reakciósebesség állandósága nem tételezhető fel, s ezenkívül a pillanatnyi nyomás és hőmérséklettől függően az egyes fázisok dinamikája másként és másként alakulhat, lényegesen megváltoztatva ezzel a gyúlási késedelem idejét. A keverékképzés különböző fázisainak, valamint az előoxidációs folyamatok egymásbafonódása még csak bonyolítja az amúgy is bonyolult képet. Ezenkívül, mint azt korábban láttuk, többfázisú öngyulladású folyamat esetén a hőmérséklet és nyomás hatása a különböző hőmérsékleti zónákban más és más.

A fent elmondottakkal magyarázható az a tény, hogy minden kutató más és más kitevő értékeket ad meg az (1) egyenletben. Így pl. WOLFER [20] szerint  $n = 1,19$  és  $\frac{E}{R} = 4650$  és  $\text{const} = 0,44 \cdot 10^{-3}$ , SZERBINOV [19]  $n = 0,3-0,5$  értéket ad meg, TOLSZTOV [22] szerint  $n = 0,5$ , míg SZVIRIDOV [18] legújabb kísérleti eredményeiből a minket érdeklő hőmérsékleti tartományban  $n = 1,0-1,2$  értékek adódnak.

Egyes kutatók [22, 25] az (1) egyenletet a következő alakban használják:

$$\tau = \frac{c \cdot \sqrt{T}}{p^n} \cdot e^{-\frac{E}{RT}}.$$

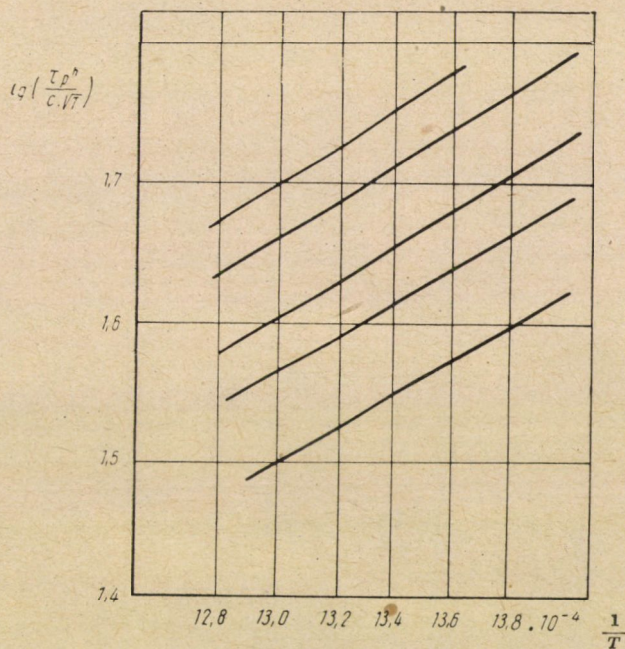
A kísérleti anyag feldolgozásakor célszerű a kapott értékeket  $\lg \tau - \frac{1}{T}$  vagy  $\lg \left[ \frac{\tau \cdot p^n}{c \cdot \sqrt{T}} \right] - \frac{1}{T}$  koordináta-rendszerben ábrázolni. Ilyenkor a görbék tangense az aktivációs energia látszólagos értékét adja megfelelő léptékben (10. ábra).

Az aktivációs energia látszólagos értéke az előoxidációs folyamatokra kísérletek szerint 5100—6000 kcal/mól között változik az üzemanyagok összetételétől függően.

Újabban kísérlet történt arra, hogy dimenzió-analízis alapján új empirikus képletet állítsanak fel a gyúlási késedelem meghatározására [24].

Közvetlen befecskendezésű motorok példájában a gyúlási késedelem a Cetánszám, a kompresszió viszony, az előbefecskendezési szög, a fordulatszám, valamint a kompresszió ütem kezdetén keletkező nyomás és hőmérséklet függvénye. Vagyis

$$\tau = f(C, \varepsilon, \theta, n, p_a, T_a).$$



10. ábra

Az egyenletben előforduló dimenzióval rendelkező paramétereket átalakíthatjuk méretnélkülivé.

$$\varphi = \tau \cdot n; \quad \lambda = \frac{p_a}{p_0}; \quad \pi = \frac{T_a}{T_0}$$

Ezekkel

$$\varphi = f_1(C, \varepsilon, \theta, \lambda, \pi). \tag{2}$$

A dimenzió-analízis elmélete szerint a (2) egyenlet egymáshoz hasonló folyamatok esetére hatványfüggvények szorzataként állítható elő

$$\varphi = A \cdot C^k \cdot \varepsilon^l \cdot \theta^m \cdot \lambda^n \cdot \pi^p,$$

ahol az  $A, k, l, m, n, p$  állandókat kísérleti adatok alapján kell meghatározni.



A kísérleti adatok feldolgozása alapján a következő összefüggést kapjuk

$$q = \frac{\theta^{0,6}}{C^{0,9} \varepsilon^{1,25} \cdot \lambda^{0,4} \cdot \tau^{3,2}} \cdot 4,11 \cdot 10^3.$$

A kapott képlet, mint korábban említettük, gyorsjárású, közvetlen befecskendezésű motorokra érvényes.

## 6. Az égés sebessége. Az indikátor diagram szerkesztése

A Diesel-motor indikátor diagramjának elméleti úton való megszerkesztése csak az égés tömegsebességének ismeretében lehetséges. Ezért az égés tömegsebességének analitikai úton történő meghatározása több kutatót foglalkoztatott [26, 27, 28]. Az égés tömegsebessége a kémiai reakciók lefolyásának törvényszerűségeitől függ, ezért a kémiai dinamika összefüggéseiből indultak ki. Az egész égési folyamatot egyszerűsítve úgy gondolták, hogy az elemi bimolekuláris reakciók összességéből áll. Ilyen feltételezéssel a reakció sebessége

$$w = - \frac{dC_B}{dt} = k C_B \cdot C_{O_2},$$

ahol  $C_B$  — az üzemanyag koncentrációja

$k$  — a sebességi állandó  $s$  értéke

$$\bullet \quad k = k_0 e^{\frac{E}{RT}},$$

ahol  $E$  — az aktiváció energiája.

INOZEMCEV [27] feltételezi, hogy az égés heterogén fázisban indul és homogén fázisban fejeződik be. Az égésfolyamat e két szélső esetére meghatározza a  $k_0$  ütközési sebességállandót, amely heterogén fázis esetén

$$k'_0 = 11,15 \cdot \frac{\mu_b}{\gamma_b r_b} \sqrt{\frac{T}{\mu_{O_2}}} = \beta_1 \sqrt{T},$$

míg homogén fázisban

$$k''_0 = 2,7 \cdot 10^{10} \cdot \sqrt{\frac{\mu_b + \mu_{O_2}}{\mu_b \cdot \mu_{O_2}}} \cdot T = \beta_2 \sqrt{T},$$

ahol  $\mu_b, \mu_{O_2}$  — a tüzelőanyag és az oxigén molekula súlya

$r_b$  — az üzemanyag-cseppek sugara.

Az égésfolyamat egyes közbenső szakaszaira elméleti megfontolások alapján INOZEMCEV a következő összefüggéssel számol:

$$k = A \cdot e^{B\varphi},$$

ahol az  $A$  és  $B$  állandók az égés kezdetére és végére érvényes feltételekből határozhatók meg.

Általános esetben, természetesen, már a kezdeti szakaszban is a reakció mindkét típusa mutatkozik, s a folyamat előrehaladásával a gázfázis lesz az uralkodó. Eszerint

$$C_B = C'_B + C''_B$$

és

$$w = w' + w'' = \sqrt{T} \cdot C_{O_2} \left[ C'_B \beta_1 e^{-\frac{E'}{RT}} + C''_B \beta_2 e^{-\frac{E''}{RT}} \right],$$

ahol „'” a heterogén fázisra és a „''” a homogén fázisra vonatkozik. Sajnos,  $C'_B$  és  $C''_B$  értékei nem állapíthatók meg, így a fenti egyenlet ilyen alakban nem használható. Ez késztette INOZEMCEVET is a fentebb ismertetett számítási módszer követésére, habár az ott tett feltevések a gyakorlatban aligha teljesülnek.

Az égés egyenlete most már a következőképpen vezethető le. Feltételezve, hogy a befecskendezés törvényszerűsége a szögelfordulás függvényében  $\sigma = f(\varphi)$  ismert, az üzemanyag koncentrációja

$$C_B = \frac{(\sigma - x) B_0}{\mu_b \cdot V},$$

ahol  $B_0$  — az egy ciklus alatt befecskendezett üzemanyag  
 $V$  — a pillanatnyi hengertérfogat  
 $x$  — az üzemanyag elégett része.

Az oxigén koncentráció

$$C_{O_2} = \frac{(a - x) 0,21 \cdot L_0 B_0}{V},$$

ahol  $a$  — légfesleg tényező.

Helyettesítve a kiinduló alapegyenletbe, kapjuk

$$\frac{dC_B}{dt} = k \frac{(\sigma - x) B_0}{\mu_b V} \frac{(a - x) 0,21 L_0 B_0}{V}.$$

Mivel

$$\frac{dC_B}{dt} = \frac{B_0}{\mu_b \cdot V} \frac{dx}{dt} = 6 \cdot n \frac{B_0}{\mu_b V} \frac{dx}{d\varphi},$$

egyenletünk így írható

$$\frac{dx}{d\varphi} = k \frac{0,21 L_0 B_0}{6n} \cdot \frac{(\sigma - x)(a - x)}{V}.$$

K. NEUMANN [26] a fenti differenciál egyenletet kicsiny ( $\varphi_2 - \varphi_1$ ) intervallumokra integrálta, amikor  $k$ ,  $V$ ,  $\sigma$  értékeit állandónak lehetett venni. Eszerint az intervallum végén

$$x_2 = \frac{\sigma \frac{a - x_1}{\sigma - x_1} - a e^{-\Phi \Delta \varphi}}{\frac{a - x_1}{\sigma - x_1} - e^{-\Phi \Delta \varphi}}, \quad (3)$$

ahol

$$\Phi = \frac{0,21 L_0 B_0 k (a - \sigma)}{6n V}.$$

Ha feltételezzük, hogy a sebességi állandó a  $\varphi$  szögelfordulás függvénye, akkor a differenciál egyenlet integrálható. Új változót bevezetve, Bernoulli-féle differenciál egyenletet kapunk

$$z = a - x; \quad dz = -dx$$

és

$$\frac{dz}{d\varphi} = -\frac{0,21 L_0 B_0}{6n} \frac{k(\varphi)}{V(\varphi)} [(\sigma - a) \cdot z + z^2],$$

ahonnan

$$z = a - x = e^{\int \Phi \Delta \varphi} \cdot \left[ C + \frac{0,21 L_0 B_0}{6n} \int \frac{k(\varphi)}{V(\varphi)} \cdot e^{\int \Phi \Delta \varphi} d\varphi \right].$$

Ha ismeretes a hőfejlődés sebessége, vagyis az  $x = f(\varphi)$  függvény, akkor ennek alapján megszerkeszthető az indikátor diagram.

A termodinamika első főtétele szerint

$$dQ = c_v dT + A p dV.$$

A veszteségeket nem tekintve

$$dQ = B_0 H_u dx.$$

Ezt helyettesítve és a jobb oldalt átalakítva, majd végig osztva  $d\varphi$ -vel, kapjuk

$$\frac{dp}{d\varphi} = \frac{\kappa - 1}{AV} \frac{B_0 H_u dx}{d\varphi} - \kappa \frac{P}{V} \frac{dV}{d\varphi}. \quad (4)$$



Mivel

$$V = \frac{V_h}{2} \left( \frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} - \cos \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \varphi \right)$$

és

$$\frac{dV}{d\varphi} = \frac{V_h}{2} \left( \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right).$$

Helyettesítve a (4) egyenletbe

$$\frac{dp}{d\varphi} + x \frac{f'(\varphi)}{f(\varphi)} p = \frac{\psi \cdot B_0 H_u (\kappa - 1)}{A \cdot \frac{V_h}{2}} \cdot \frac{dx}{f(\varphi) d\varphi}, \quad (5)$$

ahol

$$f(\varphi) = \frac{\varepsilon + 1}{\varepsilon - 1} - \cos \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \varphi$$

és a  $\psi$  tényező a hőátadást és a nem teljes égést veszi figyelembe.

Végigszorozva az egyenletet  $f(\varphi)^x$ -val és integrálva kis ( $\varphi_2 - \varphi_1$ ) intervallumra ( $\kappa$  az intervallumon belül állandó)

$$f^x(\varphi) (p_2 - p_1) + p [f^x(\varphi_2) - f^x(\varphi_1)] = \frac{\psi B_0 H_u (\kappa - 1)}{A \cdot \frac{V_h}{2}} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f^{x-1}(\varphi) dx.$$

Vagy feltételezve, hogy az intervallumban jó közelítéssel

$$f^x(\varphi) = \frac{f^x(\varphi_1) + f^x(\varphi_2)}{2}$$

és

$$p = \frac{p_1 + p_2}{2},$$

az előbbi egyenlet ilyen alakra hozható

$$p_2 f^x(\varphi_2) - p_1 f^x(\varphi_1) = \frac{2\psi B_0 H_u (\kappa - 1)}{A V_h} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f^{x-1}(\varphi) dx.$$

A jobboldali integrál kiszámításához  $x$  értékét  $\varphi$ -vel kell kifejezni. A  $\varphi_2 - \varphi_1$  intervallumon belül  $x$  lineáris változását tételezzük fel

$$x = \frac{\Delta x_{12}}{\varphi_2 - \varphi_1} \varphi + x_1,$$

innen

$$dx = \frac{\Delta x_{12}}{\varphi_2 - \varphi_1} d\varphi.$$

Így a jobboldali integrál értéke

$$\Delta x_{12} \cdot \frac{\int f^{x-1}(\varphi) d\varphi}{\varphi_2 - \varphi_1}.$$

Az  $\frac{\int f^{x-1}(\varphi) d\varphi}{\varphi_2 - \varphi_1}$  nem más mint a közepes ordináta az intervallumon belül, melyet helyettesíthetünk  $f^{x-1}(\varphi_{12})$  értékkel. Ezek után a nyomás a következő egyenletből számítható

$$p_2 [f(\varphi_2)]^x - p_1 [f(\varphi_1)]^x = \frac{2\psi B_0 H_u (x-1) \Delta x_{12}}{A \cdot V_h} [f(\varphi_{12})]^{x-1}. \quad (6)$$

A politróp kitevő intervallumonként változik egyrészt a hőmérséklet, másrészt a gázösszetétel változása miatt.

Az intervallum végén uralkodó  $T_2$  hőmérsékletet a következőképpen határozhatjuk meg. Az állapotegyenlet szerint

$$10^4 p_2 \cdot V_2 = 848 M' \cdot T_2.$$

Ha  $M$  — a mólok száma a kompresszióvonal mentén

$\mu = \frac{M'}{M}$  — a molekuláris változás valódi koefficiense és  $V_2 = \frac{V_h}{2} \cdot f(\varphi_2)$ , akkor

$$T_2 = \frac{10^4 \cdot V_h \cdot f(\varphi_2) p_2}{848 \cdot 2 \cdot \mu M}, \quad (7)$$

ahol  $M = B_0 L_0 \alpha (1 + \gamma_r)$

$$\mu = 1 + \frac{0,0664}{\alpha (1 + \gamma_r)} \cdot x.$$

A fenti számítási módszerekhez meg kell jegyezni, hogy azokat csak szabályozható égésfolyamatok esetén lehet használni, amikor a gyúlási késedelem ideje jóval kisebb mint a befecskendezésé. Még így is jelentős eltérést adhat a számítás, aminek az az oka, hogy az égésfolyamat nem tekinthető elemi bimolekuláris reakciók sorozatának.

Újabban a számítások egyszerűsítése céljából kísérletek történtek az égés egyenletének félempirikus képletekkel történő meghatározására [28, 29].

Így VIBE annak feltételezésével, hogy az effektív (aktív) centrumok viszonylagos sűrűsége az időben

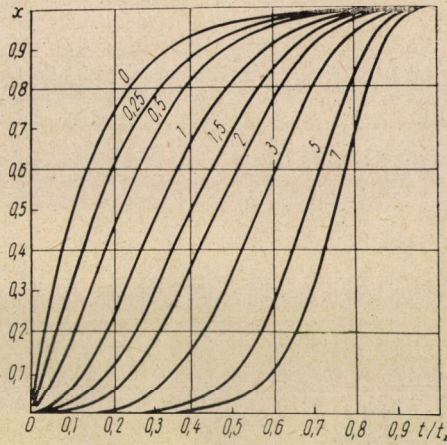
$$\rho = k_2 t^m$$

hatványfüggvény szerint változik, a következő összefüggést vezeti le

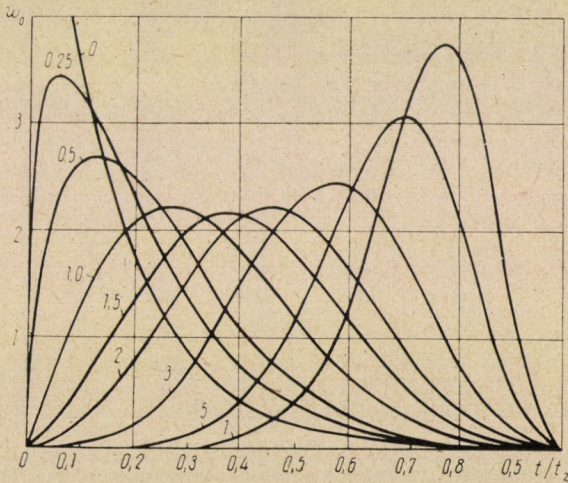
$$x = 1 - e^{-6,9 (t/t_z)^{m+1}},$$

illetve

$$w = \frac{dx}{d(t/t_z)} = 6,9 (m + 1) \cdot \left(\frac{t}{t_z}\right)^m \cdot e^{-6,9 (t/t_z)^{m+1}},$$



11. ábra



12. ábra

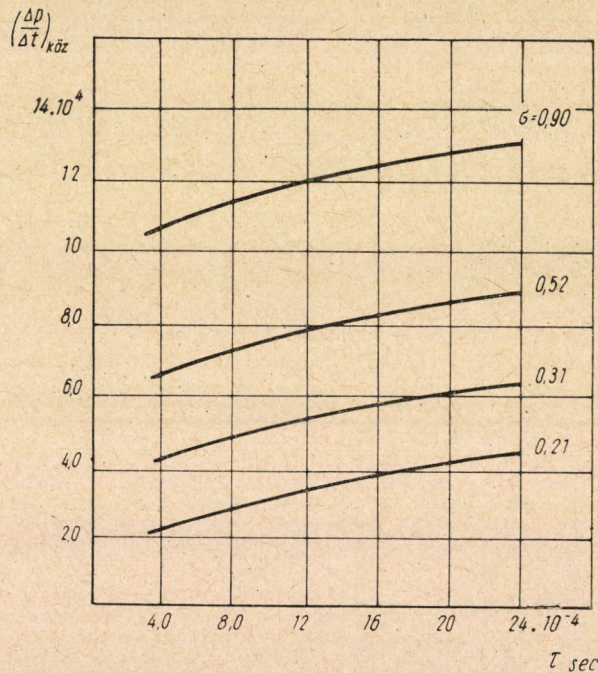


ahol  $t_z$  = az égés ideje  
 $m$  = az égésre jellemző kitevő,

mely Diesel-motorok példájában 0,0—0,7 között változik. A 11. és 12. ábrában láthatjuk  $x = f(t/t_z)$  és  $w = f(t/t_z)$  görbéket különböző  $m$  kitevők esetén. A kísérleti eredmények feldolgozása azt mutatta, hogy a fenti egyenletek elég jól leírják az égés dinamikáját. Ugyanakkor ennek a módszernek is nagy hibája, hogy a  $t_z$  és  $m$  kinetikai tényezőket kísérleti adatok alapján előre fel kell venni.

### 7. A ciklus dinamikája

Az égésfolyamat dinamikáját jellemző faktorok a közepes és maximális nyomásemelkedési sebesség  $\left[ \left( \frac{\Delta P}{\Delta \alpha} \right)_{\text{köz}}, \left( \frac{\Delta P}{\Delta \alpha} \right)_{\text{max}} \right]$  és a  $\lambda$  nyomásemelkedési fok.



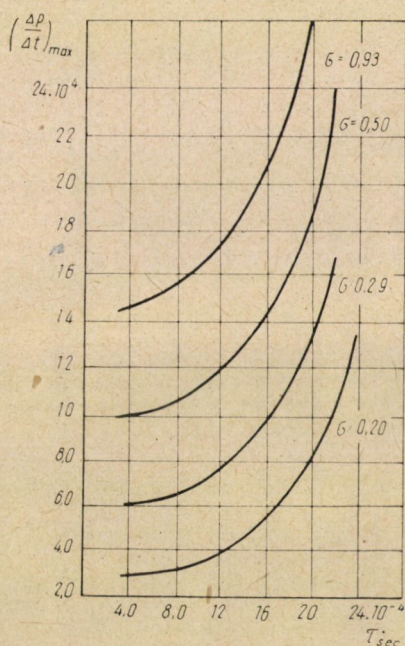
13. ábra

Régóta ismeretes, hogy a nyomásemelkedés sebessége annál nagyobb, minél hosszabb a gyúlési késedelem, a befecskendezés hosszához viszonyítva. Ugyanakkor konkrét mennyiségi összefüggéseket erre nézve egyedül TOLSZTOV [22] munkájában találhatunk közvetlen befecskendezésű motorokra. Nagy-

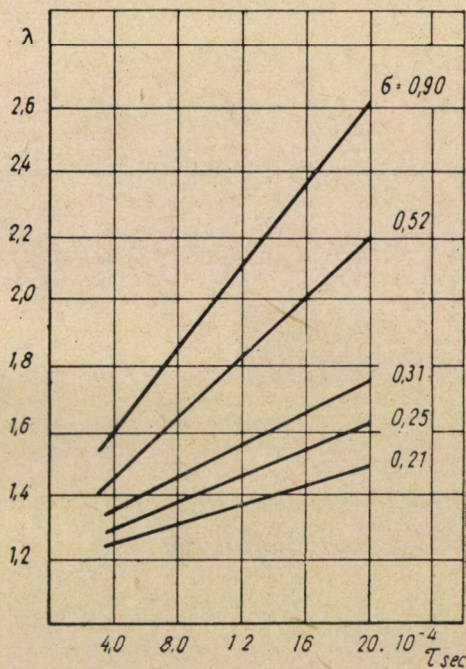


számú kísérleti adat alapján sikerült megállapítani, hogy a ciklus dinamikáját jellemző tényezők meghatározott összefüggésben vannak a gyúlási késedelem idejével, valamint a  $\sigma$  dinamikai tényezővel. Ez utóbbi a gyúlási késedelem ideje alatt befecskendezett üzemanyag viszonylagos mennyiségét fejezi ki

$$\sigma = \frac{q_{\tau}}{q_{\Sigma}}$$



14. ábra



15. ábra

ahol  $q_{\tau}$  — a gyúlási késedelem ideje alatt befecskendezett üzemanyag mennyisége

$q_{\Sigma}$  — az egy ciklus alatt beadagolt mennyiség.

A kísérletileg talált összefüggéseket a 13., 14. és 15. ábrák szemléltetik.

A gyúlási késedelem, állandó  $\sigma$  értékek mellett, kevésbé hat  $\left(\frac{\Delta P}{\Delta \alpha}\right)_{köz}$  és  $\lambda$  értékére, míg a maximális nyomásemelkedési sebességre nagyobb mértékben.  $\tau$  hatása ebben az esetben, állandó előbefecskendezés mellett, az égés második fázisának változásával kapcsolatos.

A  $\sigma$  tényezőnek lényegesen nagyobb hatása van a ciklus dinamikájára. Ez érthető is, hiszen  $\sigma$  növekedésével mind nagyobb mennyiségű üzemanyag



áll rendelkezésre az öngyulladás pillanatában. Ugyanakkor az égésfolyamat kinetikai jellege biztosítja a rendelkezésre álló üzemanyag gyors (detonáció jellegű) elégését.

Az ábrákon látható görbéket  $\tau = 3,0-22 \cdot 10^{-4}$  sec intervallumban a következő empirikus képletekkel adhatjuk meg

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta t}\right)_{\text{köz}} = d + a \tau^n \text{ kg/cm}^2 \text{ sec}$$

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta t}\right)_{\text{max}} = D + b e^{k\tau}$$

$$\lambda = C + m \tau,$$

ahol  $a = 1,1 \cdot 10^6$ ;  $k = 1,8 \cdot 10^3$ ;  $n = 0,6$ .

A  $c$ ,  $d$ ,  $D$ , valamint a  $b$  és  $m$  koefficiensek változó mennyiségek és a  $\sigma$  tényező függvényei (lásd az alábbi táblázatot)

II. táblázat

$\sigma$	$b$	$C$	$d$	$m$	$D$
0,2	$1,5 \cdot 10^3$	1,18	$1,4 \cdot 10^4$	180	$2,5 \cdot 10^4$
0,3	2,05	1,25	3,3	250	5,8
0,4	2,5	1,28	4,5	350	7,8
0,5	2,8	1,29	5,6	440	9,4
0,6	3,1	1,30	6,7	520	10,9
0,7	3,3	1,31	7,8	580	12,0
0,8	3,5	1,33	8,9	630	13,0
0,9	3,7	1,34	10,0	670	13,8

Érdekes megjegyezni, hogy az összefüggésekben nem  $\frac{\Delta P}{\Delta a}$ , hanem  $\frac{\Delta P}{\Delta t}$  van. Ez arra enged következtetni, hogy az égés kezdeti fázisában a turbulenciának nincs nagy jelentősége.

A fenti kísérleti eredmények olyan közvetlen befecskendezésű motorokra vonatkoznak, melyekben intenzív rendezett légmozgás nincs. Dugattyúkamrás motorok példájában ugyanis a ciklus dinamikája változhat a kamra szájnyílásában mutatkozó légsebesség függvényében is [30].



## IRODALOM

1. WENTZEL, W.: Zum Zündvorgang im Dieselmotor. Forsch. Ing-Wesen 1935.
2. ROTHROCK and WALDRON: NACA Bull. 1932.
3. Соколик, А.: О самовоспламенении углеводородно-воздушных смесей. Изд. АН СССР 1956.
4. Соколик, А., Басевич, В.: Физико-химическая природа воспламенения в двигателях дизеля. Изд. АН СССР 1956.
5. Тодес, О.: Теория теплового взрыва. Ж. Ф. Х. № 7, 1939.
6. Семенов, Н.: Цепные реакции Л. 1934.
7. Воинов, А.: О детонации и воспламенении в двигателе с искровым зажиганием. Изд. АН СССР 1956.
8. Нейман, М.: Успехи химии 7. 1938.
9. Соколик, А.: Основы теории детонации в двигателях. Изд. АН СССР 1951.
10. Соколик, А.: Температурный коэффициент предпламенных реакций. Изв. АН СССР ОТН. 1940.
11. HOLFELDER, O.: Forschung über Brennstoffklopfen und Detonationen in Frankreich. MTZ No. 5. 1949.
12. Jelentés a „MIB D.” Diesel-motor vizsgálatáról. M. E. Mezőgazdasági Géptani Tanszék 1958.
13. MEURER, S.: Hear no noise, see no smoke with new German Diesel SAE J. Sept. 1954.
14. MÜHLBERG, E.: Über die Entwicklung der geräuscharmen und kraftstoffunempfindlichen MAN-M Motors. MTZ Okt. 1958.
15. STURGIS, B.: Chain reaktion of H—O radicals may be knock cause. SAE J. Dec. 1954.
16. SITKEI GYÖRGY: Kétütemű 30 Le traktormotor tervezése. Diploma munka 1954.
17. SZILVAY GÉZA: A kétütemű izzófejes motorok továbbfejlesztése. Előadás az MTA Dialektikus Bizottság ülésén 1958.
18. Свиридов, Ю.: О процессах воспламенения и горения в дизелях Изд. АН СССР 1956.
19. Сербинов, А.: Самовоспламенение распыленных жидких топлив. Изд. АН СССР 1951.
20. WOLFER, H.: Der Zündverzög im Dieselmotor. VDI Forsch.heft 1938.
21. RÖGENER, H.: Entzündung von Kohlenwasserstoff-Luft Gemischen durch adiabatische Verdichtung. Z. El. chem. 1949.
22. Толстиков, А.: Индикаторный период запаздывания воспламенения и динамика цикла быстрогоходного дизеля. Труды «НИЛД» 1955.
23. Нейман, М. и Егоров: Ж. Ф. Х. № 3, 1932.
24. Лышевский, А.: Определение задержки воспламенения в двигателях дизеля. Авт. пром. № 6 1958.
25. SCHMIDT, F. A. F.: Theoretische Untersuchungen und Versuche über Zündverzög und Klopfvorgang. VDI Forsch.heft 1938.
26. NEUMANN, K.: Kinetische Analyse des Verbrennungsvorganges in der Dieselmachine. Forsch. Ing.-Wesen. No. 2 1936.
27. Иноземцев, Н.: Основы термодинамики и кинетики химических реакций. Машгиз 1950.
28. Виле, И.: Полуэмпирическое уравнение скорости сгорания в двигателях. Изд. АН СССР 1956.
29. Чурсин, М.: Рабочий процесс и расчет комб. двигателей. Труды «МВТУ» вып. 83, 1958.
30. Шиткеи, Г. Л.: Влияние конструктивных факторов на рабочий процесс двигателя Д—14. Москва 1956 (рукопись).

## ÖSSZEFOGLALÁS

A Diesel-motorban lefolyó égés kinetikai szempontból többállapotú öngyulladás folyamat, amely meghatározott viszonyok között detonációs égés lehet. A különböző hőmérsékleti zónákban az égés különbözőképpen folyik le s a klasszikus Szemjonov-formula csak a magas hőmérsékleti zónában érvényes.

Közvetlen befeeszkendezésű motorok esetén a ciklus dinamikai tényezőit a gyúlási késedelem s az az idő alatt beadagolt üzemanyag mennyisége szabja meg. Kivételt képeznek olyan motorok, amelyekben intenzív légörvénylés van s az új „MAN-M” motor. Az utóbbiban a gyúlási késedelem ideje alatt beadagolt üzemanyagnak csak kis része megy át a szükséges fizikai—kémiai előkészítésen az öngyulladásig, és ez magyarázza e motorok lágy járását.

Történtek kísérletek az égésnek a kémiai kinetika alapján történő számítására és egyéb félempirikus egyenletek felállítására, azonban ezek használata még igen korlátozott.



# KÜLÖNBÖZŐ ADALÉKOKKAL GYÁRTOTT WOLFRAMDRÓTOK KILÉPÉSI MUNKÁI

VÁCZ ISTVÁN

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MŰSZAKI FIZIKAI INTÉZETE, ELEKTRONFIZIKAI OSZTÁLY,  
BUDAPEST

[Beérkezett 1959. május 6-án]

## I. Bevezetés

E dolgozat előzményeit WINTER Ernő kutatásai képezik, amelyeket 1938—42. években a gáztöltésű izzólámpák ívleégésének megszüntetése és csökkentése céljából végzett [1]. A gáztöltésű izzólámpák ívleégése különösen akkor vált nagyarányúvá, mikor az izzólámpagyártásban áttértek az egyszerű spirálokról a dupla spirálok (spiralizált spirálok) használatára és mikor az argon töltő-gázt kryptonnal helyettesítették. Ez okból van a dupla-spirálú lámpa egyik árambevezető áramkörébe egy biztosítékhozal beiktatva, hogy az az esetleges ívképződéskor keletkező túláram hatására kiégjen és megakadályozza a lámpafej és foglalat összeolvadását.

Feltehető volt, hogy az ívképződést az izzószál elektronemissziója indította el. A jelenség kiküszöbölésére, vagy mértékének csökkentésére tehát az izzószál emisszióképességét kellett csökkenteni, azaz kilépési munkáját kellett növelni. Megfontolandó volt még, hogy az ívképződést a wolfram izzótestre akaraton kívül rájutó kis kilépési munkával bíró anyagok, pl. kalciumoxid, vagy tiszta wolfram elektronemissziója indítja-e el, vagy sem. Első megfontolásra az első feltevés látszott valószínűbbnek, mert máskülönben az ívleégésnek sokkal általánosabban és nagyobb mértékben kellett volna jelentkezni, mint az a valóságban tapasztalható volt.

Kiindulva ezekből a megfontolásokból, először arra törekedtünk, hogy az izzótestre kerülő idegen anyagok kilépési munkáját megnöveljük. Erre lehetőséget nyújtottak azok a már korábban végzett kísérletek, amelyek eredményeképpen megállapítható volt, hogy a legkisebb kilépési munkával a bázikus fénoxidok rendelkeznek és ezek kilépési munkája savanyú oxidok, pl. kovasav hatására megnő; legnagyobb a kilépési munka, ha az emissziós rétegben a bázikus- és savanyú-oxid aránya éppen a normálsó összetételének felel meg. Ebből kiindulva, az ívleégés megszüntetését olyan módon véltük elérhetőnek, hogy a gáztöltésű lámpa vörösfoszforból álló getteranyagához a foszformennyiségre vonatkoztatva 10% vízmentes izzított kovasavat adtunk egyenletes elosztásban. Az effektus meglepő volt. Az első bekapcsolásnál



ívleégés egyáltalán nem fordult elő, még akkor sem, ha a lámpát azonnal névleges feszültségen kapcsolták be, míg a kovasavat nem tartalmazó getterrel készült lámpáknál csak lassan és fokozatosan lehetett a névfeszültségre felmenni. Az eljárásra vonatkozólag további részletek [1] alatt találhatók.

Az első eredmények tehát nagyon biztatók voltak, de sajnos nem voltak tartósak. Az első órákban elmaradtak ugyan az ívleégések, de kb. 1 órai névfeszültségen, vagy kis túlfeszültségen történt égetés után újra mutatkoztak szórványosan. Szigorúan párhuzamosan gyártott nagy izzólámpamennyiségek statisztikájából megállapítható volt, hogy a kovasavtartalmú getter használata az ívleégések számát felére csökkenti, de nem szünteti meg. A kísérletekből mindenesetre megállapítható volt, hogy a kovasavgetter mintegy 2 órára megszünteti az ívleégést, feltehetően az izzószál elektronemissziójának csökkentése révén és feltehető volt, hogy az a réteg, ami az elektronemissziót az első két órában csökkentette, az első két óra égetés alatt elpárolgott a wolfram felületéről. Ezt később sikerült bizonyítani oly módon, hogy az izzólámpa ballonját olvadt ónfürdőbe nyomtuk, az izzószálat befűtöttük és az ónfürdő és izzószál közé egyenfeszültséget helyeztünk. Az ónfürdő volt a pozitív sarok. A wolframról emittált elektronok a gáztéren és a meleg üvegen keresztül jutottak az olvadt ónhoz, az áram nagyságát az áramkörbe iktatott műszer jelezte. A mérések ugyanazt a képet mutatták, mint az ívleégések. A csak foszforral, kovasav nélkül getterezett lámpák rögtön a bekapcsolás után mutattak emissziót, a foszfor + kovasavval getterezetténel a bekapcsolás után kb. 20 percig semmi emissziós áram nem volt mérhető, utána az emisszió lassan felemelkedett a kovasav nélkül készült lámpák emissziós színvonalára és azt kb. 2 óra égetés után érte el.

Az idézett szabadalomból annak feltételezése is kitűnik, hogy a wolfram redukálja a kovasavat és fémszilícium marad adszorbeálva a felületén és ez növeli a kilépés munkáját. Hosszabb izzítás után ez a réteg elpárolog és ezután a tiszta wolfram elektronemissziója érvényesül, aminek következtében az ívleégések újból jelentkeznek.

A kovasav, illetve szilicidek felhasználása az elektronemisszió csökkentésére egy másik szabadalomból [2] is kiviláglik. A rádiólokátorok ebben az időben deciméteres hullámhosszakon működtek. A rövid hullámhossz miatt a csövek elektródáinak méreteit erősen csökkenteni kellett és emiatt megnőtt a termikus rácsemmisszió veszélye. Egy általunk a háborús években kidolgozott lokátorcső-típus volt a Q150 impulzuscső. Thoriumos katódával működött 8—10 000 Volt anódfeszültséggel, impulzus teljesítménye mintegy 10 kwatt volt. A kis elektródaméretek miatt a cső rácsa annyira melegedett, hogy bár katódája thoriumkatód volt, mégis zavaró mértékben termikus rácsemmisszió jelentkezett. Ezen úgy segítettünk, hogy a cső rácst zirkonfémporral vontuk be és ezt nagy vákuumban ráizzítottuk. Ez sem hozta meg azonban a teljes javulást. A korábbi tapasztalatok alapján a zirkonnal bevont és kiizzított

rácsra kataforetikusan kovasavat vittünk fel és az így kezelt rácsot nagy vákuumban ismét izzítottuk. Izzítás után a korábban fémesen csillogó zirkonréteg sötétszürke lett és az így kezelt rács termikus rácsemisziója már elhanyagolhatóan kicsiny volt.

Mint az idézett szabadalomból olvasható, feltételeztük, hogy a fémzirkon a kovasavat redukálja, miközben a zirkonoxid és fémszilícium keletkezik és az utóbbi fölös zirkonnal zirkonszilicidet alkot. A tapasztalatok azt bizonyították, hogy a zirkonszilicid hatásosan növeli a katódból rúpárolgó thorium kilépési munkáját és csökkenti a rácsemiszió veszélyét.

A bevezetésben mondtak alapján várható, hogy a felületen wolfram, illetve molibdén szilicidek kialakítása termikus rácsemiszió csökkentése szempontjából előnyös.

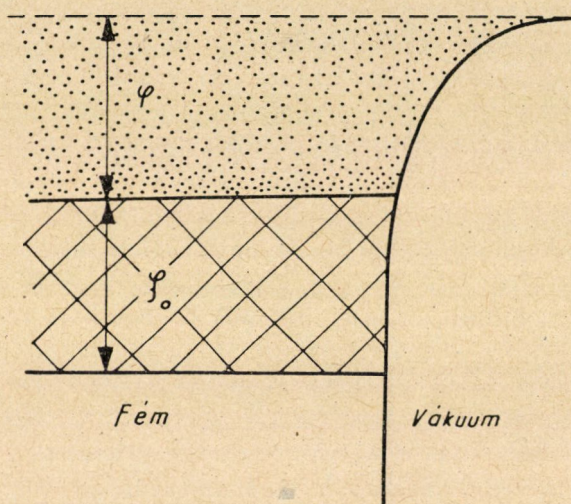
Ugyanezt a körülményt látszik igazolni az a tény is, hogy a wolfram és molibdén felületét sziliciddé átalakítva ezek vegyi behatás ellen passzívává válnak, ami általában a nagy kilépési munkájú felületek sajátsága [3].

Az elektroncsövek fejlődésében a törekvés a rövidebb hullámra való alkalmasság, ennek megfelelően a kívánalom, mely az egységnyi teljesítményhez szükséges minél kisebb térfogat irányában mutatkozik. A méretek csökkentésével óhatatlanul együtt jár a termikus rácsemiszió veszélyének megnövekedése. Világszerte folynak ilyen értelmű kutatások és ezért szükségesnek mutatkozott a harmincas évek második felében észlelt kvalitatív eredmények egzakt kvantitatív felülvizsgálata. Szükséges volt sorrendben elsőnek a kilépési munka mérésére szolgáló megfelelő módszereket kialakítani és azokat ismert kilépési munkájú anyagokon begyakorolni. Ezek a vizsgálatok képezik ennek a dolgozatnak a tárgyát. A továbbiakban majd ki kell dolgozni eljárásokat a rácsok gyártásában használatos fémek felületi szilicizálására és az így kezelt anyagok kilépési munkáját is meg kell mérni. Végül meg kell vizsgálni a szilicizált felületű rácsok emisszióképességét, illetőleg kilépési munkáját abban az esetben, ha ilyen rácsra a katódból (oxid vagy thorium) emisszióaktív anyagok (bárium, thorium, báriumoxid stb.) párolognak. Ezeknek a méréseknek az eredményeit későbbi dolgozatokban hozzuk nyilvánosságra.

## 2. A kilépési munka elméletének rövid összefoglalása

Az elektron kilépési munkája az anyagra és a felületre egyaránt jellemző, fontos érték. Az egész vákuumtechnikában és a félvezetők nagy jelentőségű körében ez úgyszólván a legfontosabb tényező, ami az elektronikus eszköz egész működését alapvetően befolyásolja. A kilépési munka az atomok külső elektronszerkezetének függvénye, ami már egyetlen atomrétegben is kifejezésre jut. Vizsgálata és megismerése ezért az atomfizikának gyakorlatilag is igen érdekes területe.

A kilépési munka az az energiaszükséglet, amelynek felhasználása árán az elektron a szilárd testet képező atomok kötelékéből és ugyanakkor a test felületéből is a vákuumba kiléphet. A kilépési munka tehát két összetevőre, a belső és külső részre bontható. A belső kilépési munkát az alkalmazott anyagban és a szennyezésekben levő elektronok energiaviszonyai, a külső kilépési munkát pedig a szóban forgó anyagnak a különféle képpen kialakuló felületi sajátságai, illetőleg az ezeknek megfelelő felületi energiák szabják meg. Az anyagnak és a felület hatásának jellemzésére a tiszta wolfram példáját említjük meg. Itt az egyes kristályfelületekben ugyanaz az anyag különböző elrendezésű és ezért a kilépési munka is különböző. Fontos járulékos



1. ábra

körülmény még, hogy a vákuumban — bármilyen tökéletes legyen is az —, a felületek nem maradnak tiszták, hanem ezekre az edényben levő gázok adszorbeálódnak. A kilépési munka tehát több különálló atomi szerkezetnek és folyamatnak együttes hatására jön létre. Az elektroncsöveknél elsősorban az a kíváncsi, hogy mentől kisebb energiabefektetéssel, mentől több elektron álljon rendelkezésre. Ezt a feladatot ma elsősorban a különböző kiképzésű wolfram- és oxidkatódok látják el.

A kis kilépési munkával emittáló anyagok mellett azonban a vákuumtechnikai eszközök más helyein éppen ellenkezőleg, lehetőleg nagy kilépési munkájú szerkezeti részek is szükségesek. Bár ezek fontossága a katódok mellett kevésbé jelentős, feladatuk mégis fontos. Az elektroncsőipar fejlődésével és tökéletesedésével a teljesítmény fokozása csak úgy lehetséges, hogy a megfelelő helyen szélsőséges tulajdonságú anyagokat alkalmazunk. Ezért



indult meg a kutatás nagy kilépési munkájú anyagok keresésére és ilyen felületszerkezetek létrehozására.

A fémeknél a vezetési sáv egy bizonyos magasságig elektronokkal van megtöltve. Ezt a szintmagasságot határenergiónak nevezzük (1. ábra).

Első közelítésben azt állapíthatjuk meg, hogy a határenergia és a kilépési munka között összefüggés van: általában kis határenergiához kis kilépési munka tartozik és megfordítva. A határenergia elméleti számítás alapján megadható, ha tudjuk, hogy a szilárd test egy atomjára hány szabad elektron jut. A számítási képlet az atomonként egy szabad elektronnal rendelkező alkáliák példájában a következő:

$$\zeta_0 = \frac{h^2}{2m^*} \left| \frac{3}{8\pi} \frac{\delta}{M} A \right|^2. \quad (0)$$

Itt  $\zeta_0$  a határenergia értéke  $T = 0$  hőfokon,  $M$  az atomsúly,  $\delta$  a fém sűrűsége,  $h$  a Planck-állandó és  $A$  az Avogadro-féle szám,  $m^*$  az elektron hatásos tömege, tehát az az érték, amellyel számolnunk kell, hogy a vezetési sávban a kötési energia tekintetbevétele nélkül az elektront szabadnak vehessük [4]. Ha felhasználjuk BROOKS-nak az  $m^*/m_e$  viszonyra megadott értékeit [5], akkor a következőkre jutunk:

1. táblázat

	$m^*/m_e$	$\zeta_0$ eV	$\varphi$ eV
Li .....	1,45	3,25	2,35
Na .....	0,98	3,21	2,29
K .....	0,93	2,21	2,20
Rb .....	0,89	1,89	2,12
Cs.....	0,83	1,83	1,90

Az 1. táblázatból azt olvassuk ki, hogy a  $\zeta_0$  és  $\varphi$  értékek *K*, *Rb*, *Cs* esetében közel esnek egymáshoz és így itt arra lehet következtetni, hogy a vezetési sávban az elektronokkal telt és az üres szintek magassága egyforma. A kilépési munka az a  $\varphi$  szintkülönbség, amely a  $\zeta_0$  határenergiával rendelkező és a fémből a vákuumba már éppen kilépett elektron energiája között van (1. ábra). Nem állapítható meg mennyiségileg, hogy a  $\varphi$  milyen arányban oszlik meg az anyag belső szerkezetétől függő belső és a felülettől függő külső kilépési munkára. Abból a tényből azonban, hogy általában nagy  $\zeta_0$ -hoz nagy  $\varphi$  is tartozik (lásd CARJEV: Elektroncsövek méretezése és szerkesztése), az következik, hogy a szilárd test kialakításakor képződő vezetési sávban az elektronokkal betöltött és az üresen maradó rész egymással egye-

nes arányban van. Ez az üresen maradó rész az energiasávban tulajdonképpen a belső kilépési munka. Ennek nagyságára a felületi sajátságoktól meg lehetőszen függetlenül következtethetünk a szilárd testnek egy másik jellemző tulajdonságából. A szilárd testet összetartó erő onnan ered, hogy ebben a külső elektronok alacsonyabb energiaszintre kerülnek, mint a különálló atomokban. A megüresedett energiaszintek száma tehát a test kohéziójával arányos. Mivel az elektronnak kilépésekor éppen ezeken az üres szinteken keresztül kell felemelkednie, hogy kiléphessen, a belső kilépési munka is szükségképpen annál nagyobb, minél nagyobb a kohéziós energia.

Ha az egyetlen elemből álló szilárd testek kohéziós energiáját a kilépési munka szempontjából tanulmányozzuk, akkor valóban bizonyos paralelitás megállapítható. Jelenlegi ismereteink szerint még bizonytalan, hogy az ettől való eltérések a felületnek tudhatók-e be vagy sem. Mindenesetre érdekes, hogy a Cr, Mo és a W kohéziós energiái: 80, 155,5 201,6 kg kalória/mól, határozottan növekednek és ezzel szemben a  $\varphi$  értékei: 4,60, 4,2 és 4,5 alig változnak és inkább csökkenő irányzatot mutatnak. Figyelemre méltók a C, Si, Ge csökkenő kohéziós energiái is: 170,4, 87,0, 78,0 és ezzel szemben a kilépési munkák: 4,4, 3,6, 4,8, eltérő irányzata a Si-nál észlelt minimummal. Ezek szerint az elmélet bizonyos támpontul szolgál, de a kísérlet a kilépési munkák megállapításában nélkülözhetetlen. Addig, amíg a kilépési munkát külön az anyagszerkezettől és külön a felülettől függő részre mennyiségileg felbontani nem sikerül, célszerű az egészet egybefoglalva tárgyalni.

A felület a kilépési munka tekintetében kétféle erőt rejt magában, amelyek az elektront a szilárd test belseje felé húzzák. Az egyik az ún. dipóluserő, a másik az ún. tükörkép-erő. Az első egyszerűen annak a következménye, hogy a pozitív ionokból álló kristályrács a felületeken véges, tehát a belső részekben biztosított egyensúlyi eloszlás itt megváltozik. A felületen a pozitív töltésű ionok és az elektronok rezgésállapotainak átlagos helyzete nem azonos középpontú, mint a kristály belsejében. Ily módon a felületen dipólusok jelentkeznek, amelyek potenciálhegyet jelentenek az elektronnal szemben és így a kilépést megnehezítik. A felületeken adszorbeálódó gázok, vagy az oda szándékosan rávitt vékony rétegek ezeket a dipólusokat nagymértékben megváltoztatják. A jelen dolgozatnak éppen az a célja, hogy ezeket a viszonyokat megvizsgálja és a kilépést módosító hatást bizonyos esetekben megfelelően alkalmazza.

A felületnek második, a test belsejébe irányuló erőtenyezője az ún. képerő, ami általában ismeretes. Amíg a dipólus-erők megváltoztatására — mint említettük — tág lehetőség nyílik, addig az e felületet elhagyó töltésnek a képerő szükségképpen mindig velejáró, egyforma következménye, tehát az utóbbit befolyásolni nem tudjuk.

Távolabbi célkitűzésünk az, hogy a termikus rácsemmisszió csökkentésére olyan felületet állítsunk elő, amely az ott keletkező hőmérsékleten mennél

kevesebb elektront bocsát ki. A rácsemisszió, amely természetesen nagy kilépési munkájú anyagokban a legkisebb, termikus elektronemisszióval magyarázható. Tiszta fémeknél azonban, azok nagy kilépési munkája következtében az elektroncsőben keletkező üzemi hőmérsékleten még elhanyagolhatóan csekély értékű.

Igen jelentős mértékű és káros hatású akkor, ha a rácsra üzemközben az oxidkatódról bárium- és földalkáli-oxidok párolognak, melynek következtében a rács kilépési munkája csökken és az elektron-, azaz a rácsemisszió nagymértékben nő. E tekintetben az irodalom szerint bizonyos alapanyagok kedvező hatásúak. Ismeretes például, hogy a circonfelületre párologó BaO-film a kilépési munkát kevésbé csökkenti, mintha a Wo, Mo vagy Ta felületekre párologtatunk BaO-t [6]. Mintegy fél volttal kisebb kilépési munkacsökkenés mérhető akkor, ha a BaO cirkonra telepszik. Ennek a ténynek gyakorlati alkalmazására utal például CARJEV [7].

A korszerű rádiócső gyártása során többféle anyagot használnak és hirdetnek a termikus rácsemisszió csökkentésére. Ilyenek a rács aranyozása [7 a], a korom, a grafit, a fémkarbidok és különféle egyéb bevonatok. Általában a rácsanyagok felületi kiképzése, tehát érdekessége szintén nem közömbös ebből a szempontból [8]. Legújabbán a 4,99 eV kilépési munkájú palládiumot is alkalmazták mint emissziót csökkentő rácsbevonatot (RCA-hirdetés).

Látható a mondottakból, hogy a kérdés technikai megoldása meglehetősen szétágazó és különféle anyagi tulajdonságokat kell figyelembe venni. Az eddigi tapasztalat szerint különösen kilátásosnak láttuk a periódusos rendszer 4. oszlopába tartozó elemek közül a szilícium és a szilicidok sajátosságainak vizsgálatát.

A szilicidok, mint különben is érdekes tulajdonságú félvezetők kilépési munkája még eddig nincs meghatározva. Magának a Si-nek a kilépési munkáját sem állapították meg eddig minden tekintetben kielégítő módon. Ez utóbbira három adatot ismerünk, úm. 3,50 eV [9]. Feltételezve azt, hogy a Si kilépési munkája a C- és a Ge-hoz közeleső, sőt esetleg a C és a Ge közé interpolálható, ekkor inkább a nagyobb érték látszik valószínűnek; (a szén és a germánium kilépési munkái: 4,39 és 4,78) [10, 11].

A tiszta Si és a szilicidok kilépési munkája feltétlenül módosul, ha a felületek oxidációja nincs kizárva. A SiO<sub>2</sub> elektron kilépési munkájára vonatkozólag csak egy 5 eV értékű, régi keletű mérési adat áll rendelkezésre [12].

A mondottak alapján a kitűzött feladat első fázisaként az Egyesült Izzólámpa és Villamossági Rt.-ban előállított különféle típusú Wo-drótok kilépési munkáját határoztuk meg. Bár a wolframra vonatkozólag a külföldi irodalomban megbízható, pontos adatok vannak, mégis szükségesnek látszott a hazai gyártmányokkal a mérések megismétlése. A gyártásban ugyanis többféle minőségű és kristályszerkezetű wolframfém van és kérdés, hogy ezeknek a kilépési munkája eltérő-e egymástól.



### *A wolfram átlagos kilépési munkája*

A wolfram elektron kilépési munkája a gyakorlatban általában mint vonatkoztatási alapegység ismeretes, amelyhez a többi anyagok és felületek kilépési munkáját viszonyítják. Erre a wolfram nagy hőállékonyságánál fogva alkalmas. A  $3655\text{ K}^\circ$  olvadáspontja olyan magas, hogy izzítással belőle az összes szennyező anyagok eltávolíthatók és így annyira megtisztítható, hogy a rendkívül érzékeny elektronemisszió folyamata belőle mindig megismételhető módon állítható elő. Bármilyen felületi réteg elektron kilépési munkáját akarjuk megvizsgálni, célszerű azt mindig tiszta wolframmal összehasonlítani.

A mérési technika haladásával az utóbbi évek folyamán az elektron kilépési munkájának meghatározását annyira tökéletesítették, elsősorban a téremissziós elektronmikroszkóp segítségével, hogy a wolframkristály egyes lapfelületeinek kilépési munkáját külön-külön is sikerült megállapítani. Mivel az egyes kristálylapok között, azok irányától függően, a kilépési munkakülönbségek meglehetősen nagyok, joggal állítható [13], hogy *fizikai* nézőpontból az egész wolframkristály együttesen mért kilépési munkájának sok jelentősége nincsen. Az egyes kristálylapok között a kilépési munka különbsége  $0,3\text{ eV}$  is lehet. A gyakorlat szempontjából azonban más a helyzet. Itt a kilépési munkának rendszerint az átlagértéke a döntő. A wolframgyártásban ipari célra többféle típusú wolframfémet készítenek drótalakban, amelyek elsősorban a kristályok nagysága és anyagtisztaság szempontjából különböznek egymástól. Ha a drót nagy kristályokból áll, akkor más emissziós átlagérték várható, mint akkor, ha a drót néhány mikron nagyságú kristályokból tevődik össze. Ekkor ugyanis a wolframkristály *különböző* lapjai nagyobb valószínűséggel helyezkednek el az emittáló felületen, mint a nagyobb kristályok példájában, amikor a felületre esetleg csak egyetlen kristályzóna lapjai kerülnek, amelyeknek az átlagtól eltérő lehet a kilépési munkája. A különböző „Miller-indexű” kristálylapok eltérő viselkedését az emisszió szempontjából még jobban kiemeli az a fontos mellékkörülmény, hogy az egyes lapokon a gázadszorpció sem egyforma. Ezt MARTIN [14, 15] állapította meg. Ha tehát a vákuumban azzal kell számolni, hogy az izzítással megtisztított felületeket bizonyos idő múlva az edényben levő gáz ellepi — és ezzel kisebb-nagyobb mértékben mindig számolni kell —, akkor megint különböző emissziót várhatunk aszerint, hogy a kristálynak egyes kiválasztott lapjai, vagy pedig soklapos átlaga kerül a drót húzásakor a felszínre. MOORE és ALLISON [16], kihasználták azt a körülményt, hogy a wolframot lemezzé hengerelve a felület az „100” síkot  $10^\circ$ -on belül megközelítette. Ennek ellenére emisszió tekintetében a különböző szalagok határozottan eltértek egymástól. Ezek szerint tehát a wolfram emissziós standard feladatra csak akkor alkalmazható, ha a különböző gyártási típusokból választott minták emissziós tulajdonságait

először megállapítjuk. A méréseknek ki kell terjedni a vákuumban végzett hőkezelés hatásaira is, hogy az állandó kilépési munka eléréséhez szükséges gyártási mód szintén irányítható legyen.

### 3. A mérési módszer és a mérési eredmények értékelése

A különböző wolframfajták elektronkilépési munkájának mérésére kezdetben a Richardson-egyenes módszerét alkalmaztuk. Ez kielégítően pontos, egyszerű és magán a termikus emisszió jelenségén alapul. A termikus emisszió egyenlete, amelyet mind termodinamikai, mind statisztikai módszerrel elméletileg levezettek, a jól ismert RICHARDSON-formula :

$$I_s = A_0 FT^2 \exp[-11600\varphi/T]. \quad (1)$$

Ebben  $I_s$  az emissziós telítési áram, tehát az, ami maximálisan kivethető a vizsgált anyagból.  $A_0$  az ún. tömegállandó, amely a régebben tévesen levezetett emissziós egyenletben a szabad elektronok számától függő tényező volt és ez az elnevezés továbbra is megmaradt. A fenti képletben  $A_0$  az elektronok számától független.  $F$  az emittáló felület négyzetcentiméterben,  $\varphi$  a kilépési munka elektronvoltban,  $T$  pedig az abszolút hőmérséklet. Az elmélet szerint [17]

$$A_0 = G \frac{2\pi \varepsilon m k^2}{h^3} D, \quad (2)$$

ahol  $G$  a fázistér elemi cellájában foglalt elektronok száma (általában  $G = 2$ ),  $m$  az elektron látszólagos tömege a fémkristálynak az ún. vezetési sávjában,  $k$  a Boltzman-állandó,  $h$  pedig a Planck-állandó. Ha  $m$ -et a szabad elektron tömegével vesszük egyenlőnek, akkor

$$A_0 = 120,4 \text{ amp}/(\text{cm}^2 \text{ fok}^2). \quad (3)$$

Némelykor célszerű úgy eljárni, hogy az (1) egyenletet  $\varphi$ -re nem egy, hanem több összetartozó  $I_s$  és  $T$  értékpárra oldjuk meg, amint az hasonló transzcendens egyenletek példájában szokásos. Így grafikus módszert is alkalmazhatunk.

Az (1) egyenlet logaritmusát véve és átrendezve, a következő összefüggést kapjuk :

$$\log_{10} \frac{I_s}{T^2} = -5040 \cdot \varphi \cdot \frac{1}{T} + \log_{10} (A_0 F). \quad (4)$$

Ez felfogható olyan egyenes egyenletének, amelynek a független változója  $1/T$ , függő változója pedig  $\log(I_s/T^2)$ . Ez az ún. Richardson-féle egyenes. Az egyenes meredeksége 5040  $\varphi$ . Ha ezt az egyenest megfelelően extrapoláljuk, akkor ez az ordináta-tengelyt  $\log(A_0 \cdot F)$  értékben metszi. Ily módon nemcsak  $\varphi$ , hanem  $A_0$  értéket is megállapíthatjuk.

Az alkalmazás módjára és a mérés pontosságára vonatkozóan a következők irányadók: Az  $I_s$  telítési emissziós áram létrehozására egy bizonyos, általában 200 V körüli, anódfeszültség szükséges. Az anódfeszültség által a katód felületén előidézett térerősség befolyásolja a kilépési munka értékét, amely SCHOTTKY szerint

$$\varphi(\dot{E}_a) = \varphi_{(0)} - 3.78 \cdot 10^{-4} \sqrt{\dot{E}_a} \quad (5)$$

képlettel fejezhető ki. Itt  $E_a$  az anódfeszültséggel létesített térerősség,  $\varphi(E_a)$ , tehát az ennek a hatására keletkező,  $\varphi_{(0)}$  pedig a zérus térerősségre extrapolált kilépési munka.  $\varphi_{(0)}$ -t úgy kaphatjuk meg, hogy az (1) RICHARDSON egyenes képletében az  $I_{s(0)}$  értékeket írjuk be, amelyeket az

$$I_s = I_{s(0)} \exp [4.39 \sqrt{U_a/d} \cdot (1/T)] \quad (6)$$

képlet zérus térerősségre történő extrapolálásával állapítunk meg. A (6) képlethez úgy jutunk, hogy az (5) képletben megadott  $\varphi(E_a)$ -t az (1) képletbe behelyettesítjük. A (6) képletben a térerősséget a párhuzamos, sík elrendezésű elektródákra érvényes  $U_a/d$ -vel fejeztük ki. A képlet az ún. Schottky-féle  $\sqrt{u}$  törvényszerűséget állapítja meg. Ennek értelmében, ha a telítési áramot az anódfeszültség négyzetgyökének függvényében rajzoljuk fel, akkor egyenest kapunk. Egyenest kapunk akkor is, ha a dióda elrendezés hengeres geometriájú [18]. Ha az anódfeszültség kisebb (20–30 V), az emittáló felület egyenetlenségei miatt ettől a lineáris összefüggéstől eltérés észlelhető, de nagyobb anódfeszültségeknél az egyenest a zérus térerősségre extrapolálhatjuk. A Schottky-egyeneselek extrapolációjából kapott telítési áramok logaritmusának értékeiből rajzoljuk meg a zérus külső térerősségének megfelelő Richardson-egyenest.

A kilépési munkának a hőmérséklet függését, tehát a  $d\varphi/dT$  értékét a Richardson-egyenesek segítségével nem állapíthatjuk meg. A  $d\varphi/dT$  értéke ugyan az (1) képletben kifejezetten nem fordult elő, de mivel  $\varphi$  nem független a hőmérséklettől, ez a hőmérséklet függés  $A$  értékét befolyásolja. Ezt a következőképpen láthatjuk be: Egyszerűség kedvéért tételezzük fel, hogy  $\varphi$  a hőmérsékletnek lineáris függvénye, azaz a magasabbrendű tagok elhanyagolásával érvényes, hogy

$$\varphi_T = \varphi_0 + (d\varphi/dT)T, \quad (7)$$



akkor ezzel a Richardson-egyenes egyenletében az

$$\begin{aligned} I_s &= A_0 F T^2 \exp[-\varepsilon(\varphi_0 + (d\varphi/dT)T)/kT] \\ &= A_0 F \exp[-\varepsilon d\varphi/k \cdot dT] T^2 \exp[-\varepsilon \varphi_0/kT] \end{aligned}$$

kifejezésre jutunk.

Eszerint a megrajzolt egyenes meredeksége az abszolút zérus fokon érvényes kilépési munkával arányos és csak az ordináta-tengely metszéspontja

$$A = A_0 \exp[-11600 d\varphi/dT] \quad (8)$$

tér el az elméleti  $A_0 = 120$  értékétől.  $A$  értékének a Richardson-egyenessel történő meghatározása csak tág hibahatárok között lehetséges. Ennek az az oka, hogy az exponens változásához képest az egyenletben előforduló többi tényező változása sokkal kisebb jelentőségű. Ha tehát egy bizonyos hibát az exponensben is előforduló  $T$  értékében kénytelenek vagyunk elviselni, akkor az állandó  $\varphi$  és  $I_s$  mellett az  $A$ -ra átháramló hiba viszonylag igen nagy lesz. Ez következőképpen látható be:

$$A = I_s T^{-2} \exp[\varepsilon\varphi/kT] \quad (9)$$

ha (1) egyenletnek (9)  $A$ -ra megoldott alakja és abban egységnyi emittáló felületet tételezünk fel. (Itt  $d\varphi/dT$  hatását elhanyagolhatjuk.) Az  $A$ -nak a hőmérséklet szerinti változását a

$$\frac{\partial A}{\partial T} = -I_s T^{-2} \exp[\varepsilon\varphi/kT] \cdot \left(2T^{-1} + \frac{\varepsilon\varphi}{kT} \cdot T^{-1}\right) \quad (10)$$

differenciálással fejezzük ki. Az  $A$  érték viszonylagos megváltozását a (10) és a (9) egyenletek hányadosa tünteti fel:

$$\frac{\partial A}{A} = \left(-2 + \frac{\varepsilon\varphi}{kT}\right) \frac{\partial T}{T} \quad (11)$$

Eszerint tehát, ha pl.  $\varphi = 4,5$  eV,  $T = 2000$  K° és a hőmérséklet megállapítási hibája  $\partial T = 20^\circ$ , akkor  $\varepsilon/k = 11\,600$  lévén

$$\frac{\partial A}{A} = -0,28, \quad (12)$$

vagyis 1%-os pirometrálási hiba 28%-os hibát okoz az  $A$  értékének meghatározásában. Mivel a példaként felhozott pirometrálási hiba a valóságnak

általában megfelelő, az egyértelmű azzal, hogy  $A$  értékét csupán nagyságrendileg határozhatjuk meg helyesen.

Eddigi fejtegetéseinkben hallgatólagosan feltételeztük, hogy az emitáló felület értékét pontosan meg tudjuk állapítani. Ez a valóságban a felület egyenetlenségei miatt tökéletesen szintén nem lehetséges, ami tovább növeli az  $A$  értékben megnyilvánuló hiba nagyságát.

Meg kell jegyezni még azt is, hogy a különböző kristályok elrendezése következtében a felületen nemcsak a kilépési munka nagysága, hanem az  $A$  tömegállandónak nagysága is ennek az elrendeződésnek a függvénye. Erre a tényre MROVKA [19] és NICHOLS [20] kísérleteikben rámutattak. NICHOLS aszerint, hogy a kristályok emittáló felülete a kristályrácshoz képest miképpen volt elrendezve,  $A$  értékére vonatkozóan 15 és 125 közötti értéket állapított meg.

A Richardson-egyenes módszerével megállapított kilépési munkaméréseknek határozott hátrányuk az, hogy szükségképpen magasabb hőmérsékleten történnek, és hogy azonkívül még a mérések elvégzésére egy bizonyos nagyságú hőmérsékleti tartomány és ehhez tartozó mérési idő is szükséges. Ez a hőmérsékleti tartomány legalább  $100\text{ K}^\circ$ -ra terjed ki a mérési pontosság érdekében. Ha ennél kisebb intervallumban dolgozunk, akkor a kilépési munka értékének hibahatára a megengedettnél nagyobb lesz. Mindazon esetekben, ahol a hőmérséklet hatására a vizsgált anyagban változások állnak be, a Richardson-egyenes módszere nem teljesen kielégítő. Különösen vonatkozik ez a vékony felületi rétegekre, amelyek sajátosságai a hőkezelés hatására akár vegyületképzés, diffúzió, deszorpció, vagy egyéb jelenségek következtében megváltoznak. Éppen ezért a kilépési munka mérésére olyan módszer szükséges, amelynél a vizsgálandó anyag felmelegítés nélkül is megmérhető. Erre a jelleggörbe (karakterisztika) eltolási módszer alkalmas, amelyre az irodalomban hasonló természetű feladatoknál számos helyen utalnak. Ilyen méréseket már végeztünk és ezek a Richardson-egyenes módszerével kapott mérési értékekkel kielégítően megegyeznek. A részletes tárgyalást későbbi dolgozatunkban ismertetjük.

A kísérletek folyamán a Richardson-egyenes módszerét módosított alakban is alkalmaztuk, részben azért, hogy a mérési időtartam csökkenjen és ezzel a mérés alatti felületi változásokat a lehetőséghez képest a minimumra csökkentjük. Felhasználtuk JANSSEN és LOOSJES [21] rögzített  $A_0$  módszerét, amelynek elgondolása a következő: RICHARDSON egyenletében

$$j_s = A_0 e^{-\frac{\varepsilon}{k} \frac{d\varphi}{dT}} T^2 e^{-\frac{\varepsilon\varphi_0}{kT}} \quad (13)$$

előforduló három állandó, úm.  $A_0$ ,  $d\varphi/dT$ ,  $\varphi_0$  közül csak kettőt lehet az egyenes módszerével meghatározni. Elsősorban fizikai megfontolások indokol-

ják, hogy a három állandó közül az  $A_0$ -at univerzális természeti állandónak tételezzük fel, amely tehát minden anyagra azonos. A  $\varphi_0$  a  $\varphi$ -nek az egyenes mentén  $T = 0$  helyre történő extrapolációjára. Az  $A_0$  és  $\varphi_0$  az extrapoláció miatt meglehetősen bizonytalanok, ingadozóak és ezenkívül olyan szélsőséges hőmérsékletekre vonatkoznak, amelyek a valóságban sohasem fordulnak elő. Célszerűnek látszik a kilépési munka nagyságát egy bizonyos  $T > 0$  hőmérsékletre megadni, ami úgy lehetséges, hogy  $A_0$  értékét rögzítjük. Ezt annál is inkább megtehetjük, mivel a fémek  $A_0$  értéke nagyságrendben az elméleti  $120 \text{ Amp/cm}^2 \text{ fok}^2$  értéktől nem különbözik lényegesen [22]. Az oxidkatódot illetőleg is ugyanaz a helyzet, amint azt HEINZE és WAGENER [23], továbbá A. AUBER [24] kiterjedt kontaktpotenciálmérésekkel megállapították.  $A_0$  értékének rögzítése minden egyes emittáló anyag felületére azzal egyértelmű, hogy az emissziós egyenlet ún. tömegállandójának,  $A$ -nak az egyes anyagok szerinti eltérését kizárólag a  $d\varphi/dT$  különbözőségéből folyónak tekintjük. Bár ily módon a felületnek  $A$ -ra ható befolyására nem vagyunk tekintettel, nem jutunk kevesebb információ birtokába, mint az egyenes módszerével, mert mint alább kifejtjük, a két módszer adatai egymásba átszámíthatók.

Az  $A_0 = 120$  értékre JANSEN és LOOSJES a Richardson-egyenletben megadott telítési áramsűrűség  $I_s$  és a  $\varphi$  kilépési munka összefüggését  $300$ — $2400 \text{ K}^\circ$  hőmérséklet tartományban grafikusán ábrázolták. A grafikon pontossága  $\pm 0,02 \text{ Volt}$ .

A rögzített  $A_0$ -módszer és az egyenes módszerével megállapított értékeket egymásba a következőképpen lehet átszámítani:

A  $\varphi_T$ -t több hőmérsékleten állapítjuk meg és ezekből a  $d\varphi/dT$ -t kiszámítjuk, a  $\varphi_{T=0} \equiv \varphi_0$  értékre egyszerűen úgy jutunk, hogy

$$\varphi_0 = \varphi_T - T \frac{d\varphi}{dT}$$

az  $A$  értékre pedig úgy, hogy

$$A \equiv A_0 e^{\frac{e}{k} \frac{d\varphi}{dT}} = j_s \varphi_T T^2 e^{\frac{e\varphi_0}{kT}} \quad (14)$$

képletet alkalmazzuk. Ez az utóbbi művelet a Jansen-grafikon segítségével egyszerűen elvégezhető, ha megállapítjuk a  $\varphi_0$  kilépési munkának  $T$  hőmérsékleten megfelelő telítési áramot:

$$j_{s,\varphi_0} = A_0 T^2 e^{-\frac{e\varphi_0}{kT}}$$

Ekkor  $A$  értékét a következő képlet adja meg:

$$A = 120 j_{s,\varphi_T} / j_{s,\varphi_0} \quad (15)$$



és megfordítva az egyenes módszerével megállapított  $A$ -t is átszámíthatjuk a

$$\frac{d\varphi}{dT} = \frac{k}{\varepsilon} \log \text{nat} \frac{120}{A} = 1.986 \cdot 10^{-4} \log \frac{120}{A} \quad (16)$$

képlet segítségével,  $d\varphi/dT$ -re.

Ily módon, ha pl. a Richardson-egyenes extrapolációjára  $A = 60$ , akkor  $d\varphi/dT = 0,598 \cdot 10^{-4}$  és így tovább az alábbi táblázat szerint:

2. táblázat

$A$	$d_i/dT \cdot 10^{-4}$
60	0,6
30	1,19
12	1,99
6	2,58
1	4,13
$10^{-1}$	6,11
$10^{-2}$	8,1

A két módszer hátrányait tekintve az egyenes módszerével semmiféle választ nem kaphatunk  $d\varphi/dT$ -re és ezenkívül az  $A$  és  $\varphi$  értékeket  $T$  szélső értékeire,  $\infty$ -re és  $0$ -ra kapjuk csak meg. A rögzített  $A_0$  módszerével pedig nem kapunk választ az  $A_0$  értékére, ami azonban a legkevésbé érdekes a Richardson-egyenlet három állandója közül.

A legújabb irodalomban általában az emisszióképesség jellemzésére csak a  $\varphi$ -t szokták megadni. Pl. a wolframkristály egyes lapjain mutatkozó eltéréseket csak  $\varphi$  változásával fejezik ki. Az egyes elemek táblázatos összeállításában (25, 26)  $A$ -ra vonatkozóan nem adnak meg értékeket.

A részünkről végzett kilépési munkaméréseknél sokszor mindkét számítási módot alkalmaztuk, és megegyező eredményeket kaptunk. Ez azt bizonyítja, hogy a rögzített  $A_0$  módszerében a  $d\varphi/dT$  megállapítására alkalmazott grafikus eljárás az egyenes módszerében alkalmazottal pontosság tekintetében megegyezik. Amíg azonban az egyenes módszerében mind  $\varphi_0$ -t, mind  $A$ -t grafikusán szokás megállapítani, mert a pontos számítás körülményes, addig a rögzített  $A_0$  módszerével számított  $\varphi_T$ -t csakis a mérőeszközök pontossága korlátozza.

A számítási képlet a következő:

$$\varphi_T = 1.98601 \cdot 10^{-4} T \log \frac{120 T^2}{j_s} \quad (17)$$

Megállapítottuk, hogy ha különösebb eljárást nem alkalmazunk, mm-papíron a rajzolás következtében  $\varphi_0$  értékében elkövetett hiba  $\pm 0,02$  Volt az egye-

nes módszerében. Rögzített  $A_0$  számítással a fenti képlet alkalmazásával a  $\varphi_T$  pontosságát lényegében a  $T$ -hőmérséklet pontossága adja meg. Ez viszont a fűtőáram mérésére vezethető vissza. Az elkövethető hiba nagyságára pontos számítást végeztünk a reális állapot alapulvételével.  $0,2 \text{ mm}$  átmérőjű fonállal dolgozva az  $1600^\circ < T < 2000 \text{ K}^\circ$  és ennek megfelelően a  $2000 > I_f < 3000 \text{ mA}$  tartományban  $\pm 5 \text{ mA}$  pontatlanság  $\pm 2^\circ$ -ot jelent a hőmérséklet megállapításában, ami mintegy  $\pm 1\%$ . A kilépési munkát tekintve ez  $\pm 0,005 \text{ V}$ -ot jelent. Ha tehát a rögzített  $A_0$  módszerét alkalmazzuk a (17) képlet alapján, akkor lényegesen pontosabban járunk el, mintha grafikusán az egyenes módszerét alkalmaznánk.

A hőmérsékletben elkövetett hiba átháramlását a kilépési munkára általános esetben ugyanolyan módon állapíthatjuk meg, mint ahogyan ezt az  $A$ -ra vonatkozó hőmérsékleti hiba esetén tettük:

$$j_s = AT^2 \exp[-\varepsilon\varphi/dT]$$

$$\varphi = \frac{k}{\varepsilon} T \ln \frac{AT^2}{j_s}$$

és ebből

$$d\varphi = \left( \frac{k}{\varepsilon} \ln \frac{AT^2}{j_s} + \frac{2k}{\varepsilon} \right) dT.$$

Ezt differenciálva

$$d\varphi = \frac{\varepsilon\varphi + 2kT}{\varepsilon} \frac{dT}{T}$$

és tovább

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = \left( 1 + \frac{2kT}{\varepsilon\varphi} \right) \frac{dT}{T}$$

végül  $\varphi$ -vel osztva.

Ez a minket érdeklő tartományban, ha  $T/\varphi \approx 400$ , akkor

$$\frac{d\varphi}{\varphi} = 1,07 \frac{dT}{T}. \quad (19)$$

Ebből láthatjuk, hogy a hőmérsékletben elkövetett viszonylagos hiba alig valamivel nagyobb viszonylagos hibát jelent a kilépési munkában.

#### *Elektronkilépés munkájának meghatározása különböző wolframfajtákon*

A technikai célokra használatos wolframfajták kilépési munkáinak mérése azonos feladat az adalékanyagok kipárolgásának tanulmányozásával. A különböző wolframféleségekből (T, GK, UC és K) 200 mikron átmérőjű és

200 mm hosszú fonalakat vizsgáltunk meg a szokásos módon, diódának szerelve, vákuumcsőben.

A wolframfonál mintákra vonatkozóan a következőket jegyezzük meg:

A T-jelű fonál anyaga igen nagy tisztaságú wolfram. A szennyezése 0,001%, egy nagyságrenddel kisebb, mint a többi fonalaké. Általában a kristály szemcséinek nagysága az izzítás hőfokától és tartamától függő, de a 200 mikron dróttátmérőt nem éri el.

Az UC fonál K, Na és Si adalékokkal készült [27] kristályszemcsének átlagos nagysága néhány mm hosszirányban. A GK-fonál K, Na, Si, Fe, Al adalékokkal készült [28]. A kristály szemcséinek átlagos nagysága 0—4 cm hosszúságig terjed.

A K-jelű fonál K és Al adalékokkal készült kristályszemcséinek mérete 200 mikronnál kisebb [28].

A kísérleti csövet zirkon- és tantálspirált tartalmazó getter-szerelvény-nyel és egy normál ionizációs manométercsővel építettük össze.

A kísérleti cső szerkezete a következő:

A fonál átmérője 200 mikron, hossza 200 mm, amely a mérendő anód-henger és egyben a ballon tengelyében volt elhelyezve. A fonál kifeszítéséről wolframrugó, az áramvezetésről lágy nikkelszalag gondoskodott. A fonalakat szerelés előtt elektrolitikusan tisztítottuk és  $H_2$ -ben 1750 C°-on izzítottuk.

Nagy gondot fordítottunk a fonálátmérő pontos meghatározására, mivel méréseinknél a fűtőáram pontos beállításával szabályoztuk a fonál hőmérsékletét. Az átmérőt egyrészt az üzemben használt fonál-súly és fonál-átmérő összefüggéséből (10 mérés átlaga), másrészt optikai módszerekkel (500-szoros nagyítás) és végül nagyon érzékeny áttételes mikrométer segítségével állapítottuk meg kb.  $\pm 0,5$  mikron pontossággal.

A berendezés vázlatát és képét a 2. ábra mutatja.

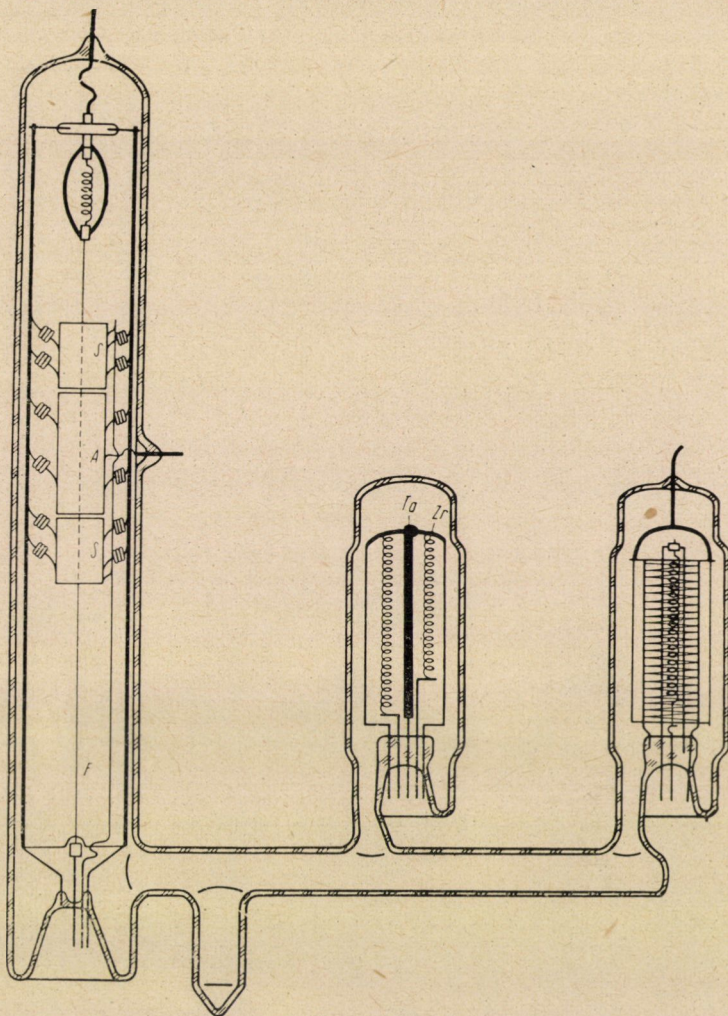
A három anód a fonál hossza irányában a középre volt elhelyezve. A mérendő anód hossza 40 mm, a védőanódok hossza 20 mm. Az anódok átmérője 20 mm, az egymásközötti távolság 1 mm. Az anódlemezeket a hő visszasugárzás okozta hőfokemelkedés megakadályozására lyukakkal láttuk el.

Az anódok anyaga molybdénlemez volt. Az anódokat szerelés előtt kémiai tisztításnak, 1200 C°-on történő  $H_2$  izzításnak vetettük alá és ugyancsak 1200 C°-on vákuumban izzítottuk.

Az anódszerelvényt tartó bordák anyaga nikkell. Az anódokat egymástól különleges kiképzésű üvegszigetelők választották el, a párolgás következtében keletkező átvezetés megakadályozására. A ballon falának feltöltődését, illetőleg a szekunderelektronok keletkezését a ballon külső falán elhelyezett földpotenciálra kötött árnyékoló fémhálóval akadályoztuk meg.

Kísérleteink első szakaszában mérőcsöveink tartalmazták az iparban használatos párolgó (bárium stb.) getteranyagot, de a vákuummérések során megállapítottuk, hogy ezek a párolgó getterek  $10^{-6}$  Torr-nál nagyobb nyomá-





2. ábra

son már nem fejtenek ki gázleköltő nyomást, sőt jelenlétük károsan befolyásolta a csőben levő vákuumviszonyokat. Ennek felismerése után csöveinkben ún. oldó típusú gettereket (tantál és cirkon) alkalmaztunk, amelyek céljainknak megfeleltek.

A tantál és cirkon getterhatására vonatkozóan megemlítjük, hogy ezekkel elzárt szivattyú mellett lehetséges volt anódizzítást végezni, ha az anódokat előzőleg kiizzítottuk, úgyhogy kb.  $10^{-6}$  Torr nyomás keletkezzék  $800\text{ C}^\circ$ -on. Ekkor a keletkező gázokat a tantál- és cirkongetter teljesen abszorbeálta. A kísérleti csöveket a hozzátartozó egységekkel a szivattyún 4—8 órán keresztül kb.  $450\text{ C}^\circ$ -on izzítókemencében fűtöttük (kályháztuk).

Az előállított vákuum nagyságát a kereskedelemben kapható erősítővel felszerelt ionizációs manométerrel mértük. Amit megfelelő érzékenységű ( $5 \times 10^{-6}$  Torr) McLeod-nyomásmérővel hitelesítettünk. Az összehasonlítás nagyságrendileg egyező eredményt adott. Méréseink utolsó szakaszában Alpert-rendszerű manométereket használtunk a vákuum mérésére, amelyről következő dolgozatunkban számolunk be. A vákuum abszolút értékét illetően feltehető, hogy az a valóságban jobb volt a mért  $10^{-7}$  Torr értéknél. Erre abból következtethettünk, hogy egyes csövekben a kilépési munka 8—40 óra állás után is változatlan maradt anélkül, hogy a fonalat újra kellett volna izzítani, ami az eddigi közlemények és tapasztalatok alapján különösen jó vákuum jele [29].

A tantál- és cirkongetter alkalmazása azért volt szükséges, mert a kilépési munka végleges beállítását lezárt csőben kellett elvégezni, különben nem lett volna lehetséges a csőben a szivattyú vákuumánál jobb vákuumot előállítani, ami a kilépési munka értékének instabilitását okozta volna. Az izzó fémcirkon és fémtantál, vegyületeik nagyon kis disszociációs nyomása következtében nagyon jó vákuum elérését tudták biztosítani.

Az emissziós áram értéke  $10^{-9}$ — $10^{-3}$  A között volt. Az alkalmazott anódfeszültség maximális értéke 400 volt.

#### *A fonál-hőmérséklet mérése és ellenőrzése*

Emissziós méréseinknél a fonál hőmérsékletét JONES és LANGMUIR [30] táblázataiból vettük. Így a fűtőáram pontos mértéken való tartásával az áram mérésénél a hőmérsékletet állandó értéken tartottuk. A hőmérséklet ellenőrzését Ribaud-gyártmányú mikropiométer segítségével végeztük, amelyet Osram-wolframszalaglámpával hitelesítettünk. (A mérésnél a hat leolvasás átlagát vettük.) A méréseket 1500—2000 K° között végeztük, az itt kapott értékeket a táblázatból vett értékekkel összehasonlítva  $\pm 5$  K° hibahatáron belül voltak.

A fonalvégek kivezetőinek hűtőhatását oly módon ellensúlyoztuk, hogy a fonalak hosszát megfelelő nagyra választottuk, így a végek hűtőhatása a fonál középső részén (kb. 8—10 cm) mikropiométerrel nem volt kimutatható. Tehát a fonál hőmérséklete az anódokat körülvevett részen egyenletes volt.

A hőmérséklet mérése 1200—1300 K° alatt, de különösen a nem látható tartományban nagyon nehéz és körülményes feladat. Párolgatatott felületek kilépési munkájának mérésekor az emissziós áramot 700 K° körüli hőmérsékleten kellett mérni azért, hogy a mérés tartama alatt a felület szerkezete ne változzék. Ilyen hőmérséklet meghatározására olyan mérési eljárást dolgoztunk ki, mellyel a látható tartományban mért hőmérsékleti értékeket a nem látható tartományra (680—700 C°) extrapoláltuk, és a fonal hidegellenállásának felhasználásával interpolációt is hajtottunk végre, melynek

segítségével az extrapolált hőmérsékleti értékek hibáját pontosan meg tudjuk adni. Idevonatkozó eljárásunkat egyik későbbi közleményben hozzuk nyilvánosságra.

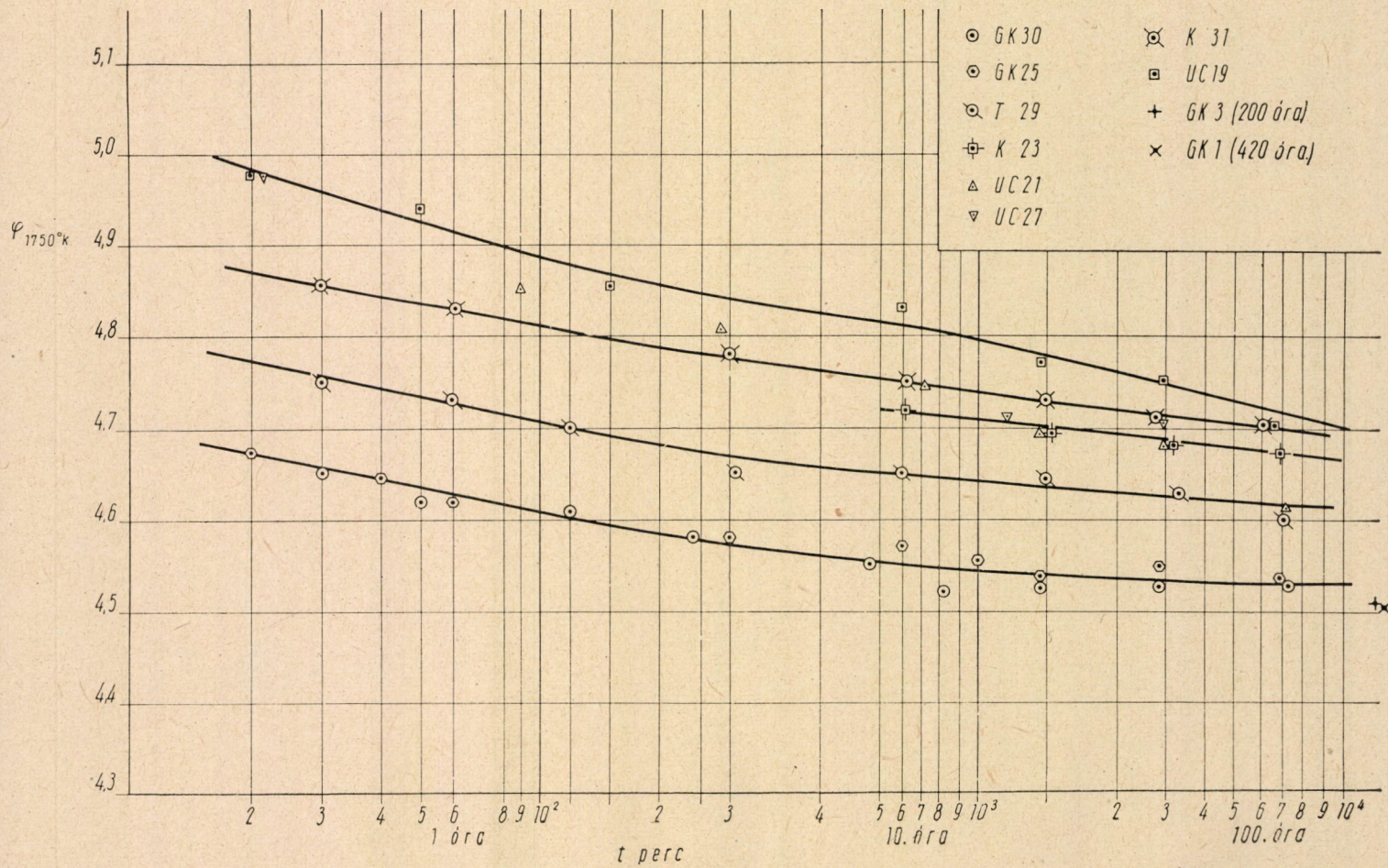
#### IV. A mérési eredmények

A kísérlet folyamán súlyt helyeztünk arra, hogy a szivattyún a drót gáztalanító kezelése csak olyan mértékű legyen, amennyi a nagy vákuum elérésére ( $10^{-7}$  Torr) éppen szükséges, de a drótban levő szennyező anyagok eltávolítása lehetőleg a mérés folyamán következzen be. A mérések éppen azt állapították meg, hogy az egyes drótokban levő szennyező anyagok miként befolyásolják a kilépési munkát. A vizsgálatokat elvben két különböző csoportra kellett osztani. Az egyikben a szennyezéseket csak a drót felületéről távolítottuk el a rövid ideig tartó villantásokkal, a másikkban pedig hosszantartó izzítással a drótot egész keresztmetszetében tisztítottuk meg a szennyezésektől. Hogy ez az utóbbi körülmény a drótban már valóban bekövetkezett, abból volt megállapítható, hogy a mérés előtti villantásnak a kilépési munkára már alig volt észrevehető hatása. A  $2400\text{ K}^\circ$ -on végrehajtott hosszantartó izzítás hatására beálló kilépési munkák vizsgálatának az eredményeit a 3. ábrában foglaljuk össze.

Az ábra egyes pontjait úgy állapítottuk meg, hogy a drótot minden mérés előtt  $2800\text{ K}^\circ$ -on, mintegy két másodpercig villantottuk és azután a rögzített  $A_0$  módszerével ( $A_0 = 120$ ) a telítési áramból  $1700\text{ K}^\circ$  izzítási hőmérsékleten a Richardson-képlet segítségével  $q_{1700\text{ K}^\circ}$  értékét pontosan kiszámítottuk. Az egyes villantások alkalmával, tehát minden méréskor az emissziós áram értékeit az idő függvényében (többnyire 10 másodpercenként) feljegyeztük. Az áramértékek logaritmusát az időszámítás zérus pontjára, azaz a villantás befejező pillanatára extrapoláltuk. Akkor, ha a drót szennyezett volt, az extrapolálás jóval nagyobb telítési áramértéket adott, mint amelyet a villantástól számított 20—30 másodperc elteltével mértünk. A drót tisztulásának előrehaladásával a villantást követő extrapoláció — amint már említettük — egyre kevésbé volt jelentős.

A 3. ábrából kiolvasható, hogy kivétel nélkül mindegyik típusnál a kilépési munka értéke esik az izzítási idő függvényében. A kilépési munkának ez az esése némelykor csak hosszabb idő után történt meg. A szivattyúzás alatt aránylag kis,  $1800\text{ K}^\circ$ -on kezelt fonalaknál az első mérések kis kilépési munkát adtak. Ennek okát valószínűleg a wolframgyártásban szándékosan hozzákevert alkáli fém adalékokban kereshetjük. A kilépési munkának ez a csökkenése a  $2400^\circ$ -os izzítás folyamán csak néhány percig volt észlelhető és a további izzítás folyamán a kilépési munka emelkedett. A jelenség részletes tanulmányozása további vizsgálatot kíván.





3. ábra

A mérési eredmények értelmezésével kapcsolatban felmerül az a kérdés, hogy ha a villantás a felületet megtisztítja, miért nem áll be a tiszta wolfram átlagos felületének a kilépési munkája a villantás hatására a 2400 K°-os izzítási idő hosszától függetlenül? Ennek valószínűleg az az oka, hogy a villantással mégsem lehet *teljesen tiszta* wolframfelületet előállítani. Legalábbis addig nem, amíg a drótban a szennyezés szintje magas. Ha ez lehetséges lenne, akkor a hosszantartó izzítás folyamata fölöslegessé válna, és elegendő lenne a villantás utáni logaritmikus extrapolációval a tiszta wolframra jellemző telítési áramot megállapítani.

A hosszantartó izzítás hőmérsékletét azért állapítottuk meg 2400 K°-ban, hogy a folyamatok ne játszódjanak le túl gyorsan és jól tanulmányozhatók legyenek, továbbá a wolfram párolgása a mérések hibahatára alatt maradjon. A grafikonból világosan megállapítható, hogy a nagykristályú GK-típusú wolframdrót kilépési munkája a tisztulási folyamat első 100 órájában mind-egyik mikrokristályos változatnál kisebb. A grafikonban ugyanabból a GK-drótból készült két cső változása van végig feltüntetve (25. és 30. sz. csövek). Ezeket kiegészíti még a grafikon jobb szélén feltüntetve a szintén ugyanabból a drótból készült másik két cső adata. Ez a két utóbb említett cső a többivel nem egységes hőmérsékleten izzott, hanem néhány óráig 2400 K°-ot meghaladó hőfokon is. Ha a magasabb hőmérsékletű izzítást az azonos wolfram párolgás alapján átszámítjuk pl. úgy, hogy 2600 K° legyen, ahol a wolfram párolgása húszszor akkora, mint 2400 K°-on, 1 órai 2600°-os izzításnak 20 órai 2400°-os izzítás felel meg, akkor az 1. sz. cső izzítási ideje 420, a 30. számú csőé pedig 200 óra. Az így kapott mérési adatok jól megerősítik az előbbi két GK-cső mérési adatait.

Legnagyobb az UC-típus kilépési munkája és azután csökkenő sorban a  $K$  és  $T$  jelű wolframok következnek. A grafikonból az egyes mérések viszonylagos pontossága is kitűnik, és ez mintegy 10 órás izzítási idő után elég jól megegyezik a hőfokmegállapításból eredő bizonytalansággal, ami  $\pm 0,005$  V.

A grafikonban az egyes kilépési munkák a Schottky-hatás figyelembevételével zérus térerősségre korrigálva, mint ahogy azt említettük, 1700 K°-on vannak megadva. Az irodalomban azonban általában az abszolút zérus fokra extrapolált értékek vannak. Az összehasonlítás kedvéért a mi pontosan számított értékeinket szintén extrapoláltuk  $T = 0$ -ra. Az extrapolációt több hőmérsékleten megmért  $\varphi_T$  kilépési munkákból kapott  $d\varphi/dT$  értékek segítségével végeztük el.

(A  $d\varphi/dT$  értéke  $A_0 = 120$  feltételezése mellett értendő.) A  $\varphi$  meghatározására aránylag nem nagy hőmérsékletű intervallum állt rendelkezésre: 1600—1850 K°. Ennél magasabb hőfokon az aránylag nagy emisszió miatt a ballon üvegfalán olyan feltöltődés mutatkozott, ami a mérést befolyásolta.

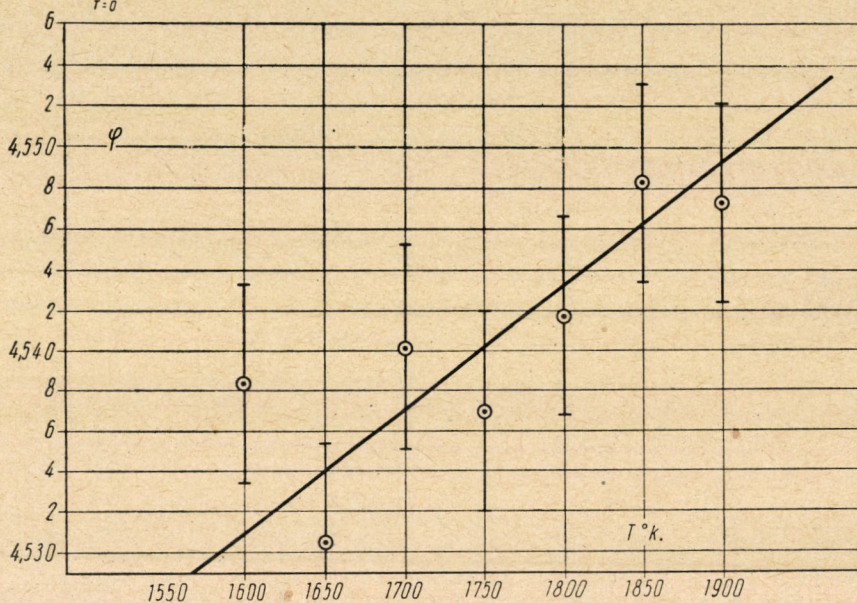
A kilépési munkának  $\pm 0,005$  V bizonytalansága 250 K° hőmérsékletkülönbségen  $\pm 5,6 \cdot 10^{-5}$  Volt/fok pontatlanságot jelent a  $d\varphi/dT$  megállapí-



tásában. Az irodalmi adatok szerint a tiszta wolfram kilépési munkájának a hőmérsékleti együtthatója:  $6 \cdot 10^{-5}$  Volt/fok, tehát mintegy fele annak a bizonytalanságnak, amellyel nekünk két mérést alapul véve számolnunk kell. Hogy mégis elfogadható eredményhez jussunk, nagyszámú kilépési munka értékeket kellett különböző hőfokokon felvenni. Ennek eredményeképpen a GK drótok  $d\varphi/dT$  értékére  $(6 \pm 3) \cdot 10^{-5}$  Volt/fok-ot kaptunk lásd a 4. ábrát).

$$\frac{d\varphi}{dT} = (6,1 \pm 3,0) 10^{-5} \text{ volt/fok}$$

$$\varphi_{T=0} = 4,44 \pm 0,04$$



4. ábra

A többi wolfram típusnál a mérések ugyanezen nagyságrendbe estek.

Ha fenti  $d\varphi/dT$  értéket alkalmazzuk az összes wolframfajtáknál, a  $\varphi_T$ -nek a  $T = 0$  helyre való extrapolálására, akkor a

$$\varphi_{T=0} = \varphi_{1750} - 0,105 \pm 0,052 \quad (20)$$

összefüggés szerint a 100 órás és 2400 K<sup>o</sup>-on történő izzítás után kapott eredmények a 3. táblázatban vannak összefoglalva.

A T-jelű drót kilépési munkájának értéke jól megegyezik az irodalomban tiszta wolframra megadott értékkel, mert a T-jelű drót a legkevésbé szennyezett. A GK kilépési munkája azonban ennél kb. 0,1 V-tal kisebb.



3. táblázat

Típus	$\varphi_{T=0} \text{ eV}$
GK ....	$4,42 \pm 0,04$
T .....	$4,52 \pm 0,04$
K .....	$4,57 \pm 0,04$
UC ....	$4,62 \pm 0,04$

Ez viszont megegyezik az irodalomból ismert wolfram egykristályra adott kilépési munka értékével [31].

Ami a kilépési munkamérés abszolút pontosságát illeti, különösen két hibaforrásra kell tekintettel lenni. Az egyik az optikai eltűnőszálas mikro-pirométerrel kapott adat, amellyel azt állapítjuk meg, hogy a Langmuir-táblázatban megadott összefüggés a dróton átfolyó áramsűrűség és a drót hőmérséklete között mennyire alkalmazható a vizsgált wolfram típusokra. A másik hibaforrás a vizsgált drót átmérőjének megméréseben rejlik, ami az áramsűrűség megállapításához szükséges. A kettő közül a drótátmérő megállapítási hibája a lényegesebb. Ez a részünkről alkalmazott 200 mikron átmérőjű drótok esetében annyit jelent, hogy az átmérőben elkövetett 1 mikron-hiba a hőmérsékletben kb.  $8^\circ$ -os eltérést jelent. Ez a  $8^\circ$  viszont  $\varphi$  értékére áthárítva, 0,022 Voltot eredményez a részünkről alkalmazott mérési tartományban; az átmérőben részünkről elkövetett hiba mérlegelésével tehát a 3. táblázatban feltüntetett adatok reálisak.

A hibalehetőségeknek még a jelenleginél is pontosabb behatárolásával a jövő feladata az, hogy a GK-wolframdrót aránylag kis kilépési munkáját értelmezzük. Nincs kizárva az, hogy az egykristályból készült drót kilépési munkája más, mint a polikristályosé. A drót húzása következtében az egyiknél más kristálylapok kerülnek a felszínre, vagy ezek a kristálylapok egymással más arányban vannak a felszínen, mint a másikonál. A vizsgálatainkban előforduló drótokat az iparban szokásos módon elektrolitikus marásnak és utána  $1700^\circ$ -os izzításnak vetettük alá. Ezzel a felületek simaságát egy bizonyos mértékig egységessé tettük, de tekintetbe kell venni a polikristály és egykristály felületének különböző viselkedését a marással szemben.

Vizsgálataink továbbfejlesztése során kidolgoztuk, illetve alkalmaztuk a kilépési munka mérésének más módszerét is (jelleggörbe, illetőleg karakterisztika eltolás) abból a célból, hogy a mérés alatt a vizsgálandó felület állapota ne változzék meg. Ilyen módon megmértük a tiszta, szilicizált, bárium + báriumoxiddal bepárologatott wolframfelületek kilépési munkáját.

Ezek a mérések elgondolásunkat igazolták, amennyiben megállapítható volt, hogy a szilicizált felületű wolfram kilépési munkája nagyobb, mint a

tiszta wolframfelületé, továbbá, hogy a szilicizált és báriumoxiddal bepárologatott wolframfelület kilépési munkája nagyobb, mint a bárium és bárium-oxiddal bepárologatott (tiszta) wolframfelület kilépési munkája.

Az eddig elmondottak azonban szerves egészet képeznek és a dolgozat egységének ártana, túlságosan terjedelmessé tenné, ha ezeket a vizsgálatokat is ebben a dolgozatban ismertetnénk. Ez két további közleményben fog megtörténni.

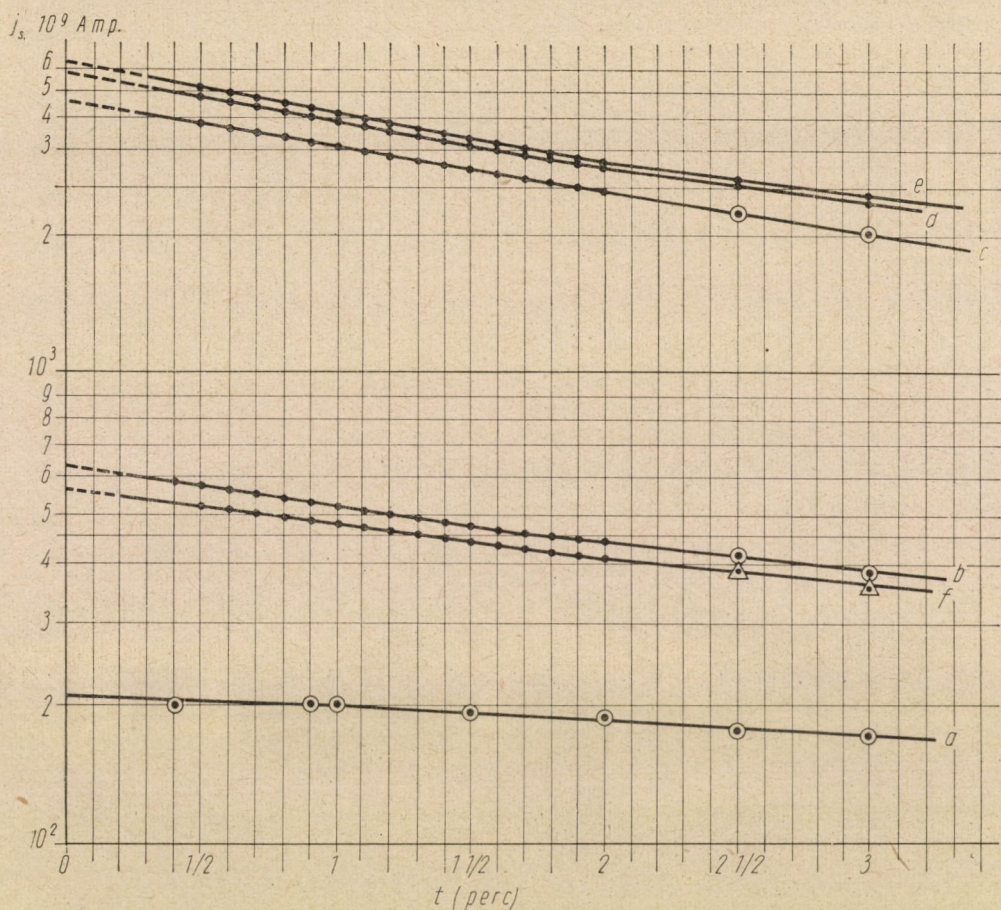
## V. A szennyező anyagok diffúziójával kapcsolatos vizsgálatok

A wolfram kilépési munkájának vizsgálatai arra is irányultak, hogy megállapítsuk, miben áll a villantás hatása az emissziós áramra. Jellemző példaként bemutatjuk az egyik UC wolframból készült drót emissziós adatait az idő függvényében. Az UC-nál a jelenségek különösen szembetűnőek, ellentétben a kevésbé szennyezett többi dróttípusokkal.

Az 5. ábra adatainak felvétele előtt a csövet  $2400\text{ K}^\circ$ -on 19 óra 30 percig izzítottuk. Az abszcisszára a villantás után eltelt időt tüntettük fel percekben, az ordinátára pedig a telítési áramsűrűség logaritmusát. A villantás különböző hőmérsékleten történt;  $2000\text{ K}^\circ$ -on, vagy ennél  $100\text{-}, 200\text{-}, 300\text{-}400^\circ$ -kal magasabb hőfokon, tehát maximálisan  $2400^\circ$ -on. A villantás időtartama mintegy 1 másodperc volt. A villantás után az emissziós áramot  $1700\text{ K}^\circ$ -on mértük, 6 mp időközökben. A mérési eredményeket az *a*, *b*, *c*, *d* és *e* vonalak tüntetik fel. A  $2400^\circ$ -on villantott és  $1600^\circ$ -on mért áramadatokat pedig az *f* vonal szemlélteti. Megjegyezzük, hogy a villantás és mérés ideje alatt a csövet levegőárammal hűtöttük.

Az ábrából a következő törvényszerűségek olvashatók le: Először is az emissziós áramok logaritmusainak csökkenése, jó közelítéssel lineáris, azaz az idővel arányos. Ez a tény kétféleképpen értelmezhető: vagy a drót felületére belülről kidiffundáló, vagy a vákuumtérből a felületen adszorbeálódó szennyezésnek az elektronemisszióra gyakorolt hatásával. Mindkét hatás exponenciális törvénnyel fejezhető ki. Hogy a diffúzió miatt tulajdonítunk itt nagyobb jelentőséget az adszorpciónál, azt alább okoljuk meg.

Ha a villantás után az elektronemisszió mérését  $1700\text{ K}^\circ$ -nál nagyobb hőmérsékleten végezzük, akkor az exponenciális összefüggés már nem egyenesben nyilvánul meg, hanem helyett olyan görbét kapunk, amelynek meredeksége az idővel folyamatosan csökken. Ezeket az  $1850^\circ$ - és  $2000\text{ K}^\circ$ -on mért adatokat az 5. ábrán nem tüntettük fel. Ez az idővel változó meredekség a  $\log j_s, t$  diagramban azzal magyarázható, hogy a diffúziós „állandó” (vagy akár az adszorpciót együttható, ha a jelenséget erre vezetnők vissza), valójában nem állandó és ez csak a felületi koncentrációváltozás kis szakaszára tekinthető annak.  $1700\text{ K}^\circ$ -nál nagyobb hőmérsékleten a koncentrációváltozás túl gyorsan következik be és a diffúziós „állandó” változása szembetűnő.



5. ábra

Ha az  $1700^\circ$ -on mért egyenesek hosszabb szakaszát gondosan megnézzük, akkor kis görbületet ezeknél is észlelünk, amelyet azonban az alábbi következtetéseinkben nem vettünk egyelőre figyelembe.

Amint a villantás hőmérsékletét emeljük, egyrészt azt tapasztaljuk, hogy az  $1700\text{ K}^\circ$ -on mért emissziós értékek egy határérték felé konvergálnak, másrészt az áramesés sebességei az emissziós árammal arányosan növekednek. Ennek következtében a  $\Delta j_s/\Delta t = v$  értékek, amelyeket alább a felületre diffundáló szennyezés áramlási sebességével hozunk kapcsolatba, szintén a  $2400\text{ K}^\circ$ -os villantással előidézett érték felé konvergálnak. Az ábrából jól látható, hogy  $2400^\circ$  fölé emelve a villantást sem  $j_s$ , sem  $\Delta j_s/\Delta t$  tovább nem növekszik, amiről különben  $2500^\circ$ - és  $2600\text{ K}^\circ$ -on meg is győződünk. Az  $e$  vonalnak  $t = 0$  helyre extrapolált értéke tehát az a legnagyobb áramérték,  $4,4 \cdot 10^{-6}\text{ A}$ , amelyet a szóbanforgó felületről  $1700\text{ K}^\circ$ -on emisszióban kaphatunk. A 3. ábra



grafikonjában a különböző típusú wolframdrótokra mérve ezeket a maximális értékeket tüntettük fel azért, mert ezek a tisztított felület állapotának felelnek meg. Kezdetben azt reméltük, hogy ilyen extrapolációval a teljesen tiszta wolframnak megfelelő értékre jutunk, de ez nem vált valóra. Lehetséges, hogy a 2400°-os villantás még bizonyos szennyezéseknek a felületről való tisztítására nem elegendő. Pl. olyanokra, amelyek elillanása a vákuumba csak jóval magasabb hőmérsékleten történik meg. Mivel az eredeti célkitűzés az volt, hogy a wolfram típusok kilépési munkáinak csökkenését az idő függvényében vizsgáljuk és a villantás hatásának tanulmányozása csak mellékesen adódott, ezért a lényegesen nagyobb hőmérsékletű villantás kipróbálását mellőztük, mert ez az eredeti tervünket akadályozhatta volna.

Annak a körülménynek megállapításában, hogy az 5. ábrán látható jelenségeket a belső diffúzió vagy pedig a gázok adszorpciója idézi elő a felületen, az a döntő, hogy a csőben előállított  $10^{-6}$ — $10^{-7}$  nagyságrendű vákuumban a külső gázok adszorpciója 10 mp-nél rövidebb idő alatt monomolekuláris réteget eredményez. Ennek elérése után az adszorpció állandó értéke egészen megváltozik, mivel azt tapasztaltuk, hogy a  $\Delta j_s/\Delta t$  értéke 3—4 perc után is változatlan, az adszorpciónál hosszabb lejáratú folyamatra kell szükségképpen következtetni, ami nyilván a diffúzió. A drót belsejéből kifelé irányuló diffúzió jelenségét más szerzők is [32] megemlítik a villantással kapcsolatban.

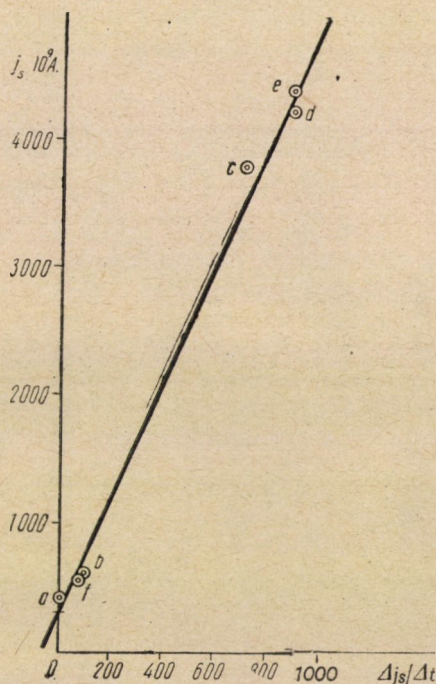
Ugyancsak a belső diffúzió jelenségére kell következtetnünk az  $e$  és  $f$  vonalak összehasonlításából. Amíg az  $e$  vonalnál a villantás és mérés hőmérsékletkülönbsége 700°, addig az  $f$  vonal esetében ez 800°. Felületi adszorpció esetén azt várnánk, hogy a nagyobb hőmérsékleti intervallumban történő adszorpció a gyorsabb. Mivel ezzel ellentétben az  $f$  vonal kevésbé meredek, mint az  $e$ , a gázadszorpciót mint a jelenséget előidéző folyamatot *nem* tetelezhetjük fel. Az  $f$  vonal meredeksége ugyanolyan, mint a  $b$  vonalé, aminek a jelentőségére még alább kitérünk.

A vizsgált UC-drótot huzamosabb ideig tartó 50, 100 órás 2400 K°-on történő égetés után emisszióra szintén mértük. Ekkor azt állapítottuk meg, hogy a kilépési munka értéke egyre kisebb és a villantással előidézett emisszió-növekedés egyre csekélyebb. Ez annak a következménye, hogy az égetés folyamán a belső szennyezés a drótból lassan kipárolog.

Arra a körülményre vonatkozóan, hogy a különböző hőmérsékleten végrehajtott villantások hatása 2400° felé közeledve egyre kevésbé tér el egymástól, megjegyezzük, hogy a  $\text{SiO}_2$  forráspontja egy atmoszférán 2500 K° és így feltételezhető, hogy a nagy vákuumban már 2400°-on a felület ettől teljesen megtisztul. A hőmérsékletet hiába emeljük 2400° fölé, a felületről ezzel nagyobb tisztítást nem tudunk előidézni. A  $\text{SiO}_2$ -t a gyártásban a wolfram-savhoz adalékanyagként hozzákeverik.

A grafikonból kiolvasható még a következő lényeges összefüggés:  $\Delta j_s/\Delta t$  emissziós áramesés arányos a  $j_s$  áramsűrűséggel. Ha az abszcisszára

$\Delta j_s / \Delta t$  értékeket, az ordinátára pedig  $j_s$ -et visszük fel, akkor elég jó közelítéssel egy egyenest kapunk, amelyet  $= 0$  értékre extrapolálva a  $j_{s0} = 150 \cdot 10^{-9}$  A-hoz jutunk (6. ábra). A  $j_{s0}$  különben azonos hőmérsékleten történő villantást és emissziós árammérést jelent, amit extrapoláció nélkül nem lehet pontosan megállapítani. Ha a  $\frac{\Delta j_s}{\Delta t}$  értéket a drót belsejéből a felületre kerülő szennyezések diffúziós sebességével arányos mennyiségnek fogjuk fel, akkor



6. ábra

az egyensúlyi állapotnak, amikor tehát a diffúzió a felületi elpárolgást éppen pótolja, a  $j_{s0}$  emissziós áramsűrűség felel meg. Ha most az 5. grafikont a diffúziós jelenségek segítségével értelmezzük, akkor a  $j_s - j_{s0}$  áramkülönbséget arányosnak vehetjük azzal a szennyezéssel, amelyet a villantás a felületről letisztít. A fenti összefüggés  $j_s$  és  $\Delta j_s / \Delta t$  között pedig annyit jelent, hogy a letisztított felületre visszadiffundáló szennyezés áramlási sebessége arányos a felületről letisztított anyag mennyiségével. Az arányossági tényező átlagban 4,7 körül mozog. Az adatokat a 4. táblázatban foglaljuk össze.

Az emissziós áramértékek és változásaik a diffúziós folyamattal összefüggésbe hozhatók, ha a diffúzió

$$\frac{dn}{dt} = D \frac{dc}{dx} \quad (21)$$

differentiálegyenletét az áramértékek segítségével írjuk fel.  $n$  az egységnyi keresztmetszeten át  $x$  irányban  $dt$  elemi idő alatt diffundáló anyagmennyiség,  $c$  a diffundáló anyag sűrűsége és  $D$  a diffúziós állandó.  $dc/dx$  a  $dx$  vastagságú, részben fellépő sűrűségváltozás.

4. táblázat

	Villantás hőfokemelkedése 1700° fölé	$t = 0$ helyen $\Delta j_s/\Delta t$	Többlet áram $150 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ fölött $j_s - j_{s0}$	$\frac{j_s - j_{s0}}{\Delta j_s/\Delta t}$
a	200° .....	$13,7 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ perc	$60 \cdot 10^{-9} \text{ A}$	4,38
b	400° .....	$106 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ perc	$473 \cdot 10^{-9} \text{ A}$	4,46
c	500° .....	$710 \cdot 10^{-9}$ perc	$3650 \cdot 10^{-9} \text{ A}$	5,14
d	600° .....	$888 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ perc	$4100 \cdot 10^{-9} \text{ A}$	4,62
e	700° .....	$888 \cdot 10^{-9} \text{ A}$ perc	$4250 \cdot 10^{-9} \text{ A}$	4,79
			Átlag ...	4,67

A drót felületén fellépő sűrűségi viszonyokat és a villantások hatását szemléltesse a 7. ábra.

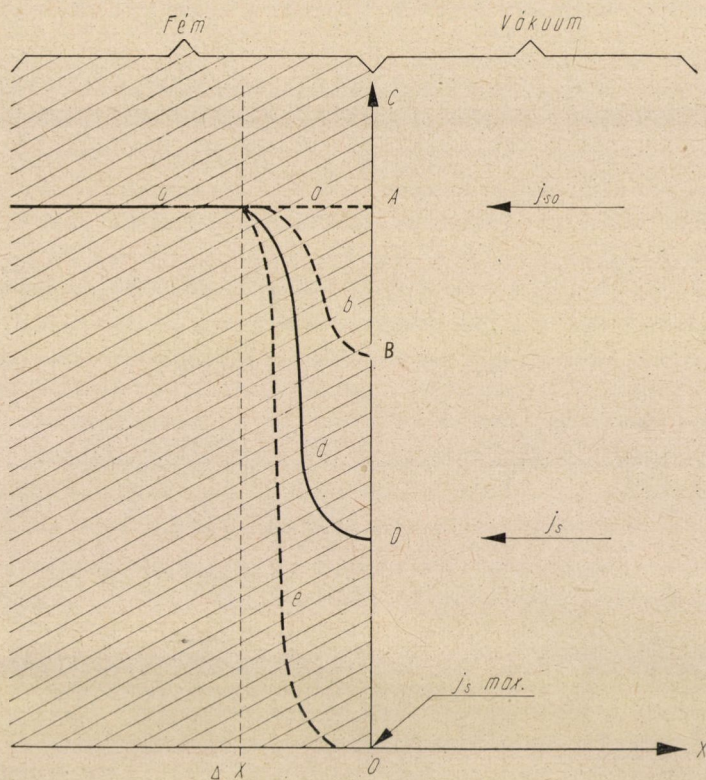
Az egyensúlyi helyzetben, amikor tehát a felületről elpárolgó szennyezést a belülről kifelé diffundáló mennyiség mindig pótolja, a sűrűségeloszlást az  $aa$  egyenes jelzi. A szennyezés sűrűségének értékét sajnos nem ismerjük. Ennek a meghatározását más vegyi, vagy radioaktív módszerrel kell megállapítani. Az  $aa$  állapotnak a  $j_{s0}$  áram felel meg. A villantás után ennek hőfoktöbbletétől függően az  $ab$  az  $ad$  vagy  $ae$  görbék jelzik a szennyezések eloszlását a felületen. A 2400 K°-os villantásnak az  $ae$  görbe felel meg, amihez viszont a  $j_{\max}$  emisszió tartozik. Ezek szerint a drót belsejében levő eredeti szennyezési szintnek és egyszersmind a felületi teljes tisztításnak az emissziós árammal kifejezett megfelelője

$$j_{s,\max} - j_{s^0}$$

Egy bizonyos OD szennyezési állapotot a felületen  $j_{s,\max} - j_s$  ad meg. Célszerűnek látszik a viszonylagos felületi tisztítás mértékét bevezetni:

$$\frac{j_s - j_{s^0}}{j_{s,\max} - j_{s^0}}$$





7. ábra

amikor a villantással teljesen megtisztított állapotnak az egység felel meg. Ha ismernők  $X$ -et, azaz azt a mélységet, ameddig a felületi tisztítás elér, akkor a drót belsejében levő és a felületén megállapított szennyezési szintekből a gradiens megadható lenne. Ennek hiányában a differenciálegyenletet a következőképpen írjuk fel:

$$\frac{\Delta j_s}{\Delta t} = \frac{j_s - j_{s0}}{j_{smax} - j_{s0}}, \quad (22)$$

ami az emissziós áramokra észlelt törvényszerűséget kifejezi és a (21) egyenlettel is analóg. A  $\Delta j_s / \Delta t$  a megfelelője annak a  $dn/dt$  sebességnek, amellyel a letisztított felületre az anyag belülről kidiffundál.  $D$  a diffúziós állandó, dimenziója  $\text{Amp. cm}^{-1} \text{ sec}^{-1}$ .

Az áramértékeknek a diffúzióval kapcsolatba hozása arra a megállapításra vezet, hogy közvetlenül a villantás után a belülről kifelé irányuló

diffúzió kezdősebessége egyenesen arányos a felületen előidézett tisztítás mértékével. Ha a diffúzió mindvégig a kezdeti sebességgel haladna, akkor bármilyen nagy tisztogatás után a felület eredeti állapotába mindig ugyanannyi idő, átlagban 4,67 perc után visszaalakulna. A diffúzió folyamata a valóságban exponenciálisan csökken és ezért a nagyobb mértékű tisztításnak megfelelően hosszabb idő szükséges az eredeti szennyezési állapot visszaalakulásához.

Abból a tényből (lásd a 4. táblázatot), hogy a felületi tisztítás és a diffúzió sebességének a viszonya elég kis szórással állandónak mutatkozik, azt következtetjük, hogy a  $D/\Delta X$  hányadosból az  $\Delta X$  is csak keveset változhat, mivel a diffúziós állandóról az állandóságot eleve fel kell tételeznünk.

Úgy gondoljuk, hogy a jelen példában előforduló wolframfém-típusra és ennek felületi szennyezésére vonatkozóan a villantás utáni emissziós áramértékekből is bizonyos következtetéseket le lehet vonni, amelyek kvantitatíve is jellemzők anélkül, hogy a szennyezések anyagát és koncentrációját ismer-nénk. Az áramértékek és a diffúzió kapcsolatbahozásával remélhető, hogy a wolframfém sajátságainak kutatása a vákuumtechnikában egy újabb módszerrel bővül.

E helyen is kifejezem hálás köszönetemet WINTER ERNŐ akadémikus aspiránsvezetőnek, aki a kitűzött téma kidolgozásában munkámat mindvégig irányította és tanácsaival segítette.

Köszönetet mondok végül mindazon munkatársaimnak, akik munkámat akár a szükséges berendezések összeépítésében, akár a tárgykörre vonatkozó megbeszélésekkel előmozdították.

Előszörban dr. SZELÉNYI TIBORNak, aki értékes tanácsaival, igen széles-körű elméleti ismereteivel és irodalmi tájékozottságával komoly segítséget nyújtott munkámhoz. Továbbá BECK ERNŐ és HAMMER FERENCnek a kísérleti csövek szerkesztése, illetőleg technológiai feladatok megoldása során nyújtott támogatásukért, GEDE ANDRÁSNak az üvegtechnikai munkák színvonalas elvégzéséért, BARANYI JÁNOSNÉNak, a kísérleti csövek szereléséért, és a mérések terén nyújtott segítségéért.

#### IRODALOM

1. Dr. WINTER ERNŐ, 131-262 sz. magyar szabadalom (1941).
2. Dr. WINTER ERNŐ 138-108 sz. magyar szabadalom (1944).
3. FITZER, E., Öster. Pat. Nr. 178.779 (1952).
4. L. pl. Seitz Quantum Theory of Solids, (1940) McGraw Hill p. 145.
5. Physical Review 91 (1953), 1021. p. (A szövegben  $m_e$  az elektron tömegét jelenti vákuumban.)
6. MOORE, ALLISON, Phys. Rev. (1950) 77, p. 246.
7. CARJEV, Elektroncsövek szerkesztése és méretezése, p. 95. (Műszaki Kiadó.)

- 7a. Rácsaranyozás, WINTER ERNŐ találmánya. Egy. Izzó Elektroncsőlaboratórium 1931-ben.
8. DORGELO, Gitterprobleme, Funktechnik 15 (1957), 528. p.
9. BRAUN, BUSCH, Helv. Phys. Acta 20, 33 (1947).
10. MEYERHOF, Phys. Rev. 71 (1947) p. 727.
11. ESAKI, J. Phys. Soc. Japan 8, 347 (1953).
12. SPANNER, Ann. Phys. 75 (1924) 609.
13. MÜLLER, E. W.: Erg. Exakten Naturwiss. 27 (1953) p. 290.
14. MARTIN, Phys. Rev. 56 (1939) p. 1947.
15. NICHOLS, Phys. Rev. 57 (1940) p. 297.
16. MOORE, ALLISON, J. Chem. Phys. 23 (1954) p. 1609.
17. HERMANN, WAGENER, Die Oxydkathode I. 22a képlet.
18. HERMANN, WAGENER, Die Oxydkathode I. 31 képlet.
19. MROVKA, Z. Techn. Phys. 18 (1937) p. 572.
20. NICHOLS (lásd 15.).
21. JANSEN, LOOSJES, Philips Research Reports 8 (1953, IV.) p. 81.
22. REIMANN, Thermionic Emission, Chapman and Hall, London (1934) p. 99.
23. HEINZE, WAGENER, Z. Phys. 110 (1938) 164.
24. L. 21. a. hivatkozás.
25. LANDOLT—BÖRNSTEIN, táblázatok (1955).
26. NOTTINGHAM, Hb. d. Phys. XXI (1956).
27. DR. MILLNER TIVADAR, M. T. Akadémiai Közlemények 21 (1957) p. 243.
28. DR. NEUGEBAUER JENŐ személyes közlése, amelyért e helyen is köszönetet mondok.
29. D. ALPERT, J. Appl. Physics, 24 (1953) 860. p.
30. JONES, LANGMUIR, General El. Review, 30 (1927) p. 310.
31. DOBRECÓV, Elektron és Ionemisszió, Akadémiai Kiadó (1956) p. 64.
32. FREITAG, KRÜGER, Ann. Phys. (5) 21 (1934/35) p. 697.

### ÖSSZEFOGLALÁS

1. Az elektroncsövek megfelelő tulajdonságainak kialakítása céljából szükségesnek mutatkozott különböző anyagok, izzókatódok, egyéb tiszta és felületileg kezelt fémek emisszióképességét, tehát kilépési munkáját meghatározni.

E célból irodalmi közlemények és a kísérletek közben szerzett saját tapasztalatok alapján kialakítottunk olyan mérőcsövet, amely lehetővé tette, hogy a kilépési munkát zárt vákuumrendszerben mérjük meg, jobb vákuumviszonyok mellett, mint az az eddigi közlemények mellett szokásos volt. Mérési módszerként a „Richardson-egyenes” és a „rögzített  $A_0$ ” módszert választottuk.

2. Megmértük négy, különböző összetételű adalékanyagokkal készített wolframdrót kilépési munkáját, a drótok izzítási idejének függvényében. A különböző wolframdrótok (GK, T, K, UC) kilépési munkájára a következő értéket kaptuk:

Wolfram-fajta	$e \cdot \text{Volt}$
GK ....	$4,42 \pm 0,04$
T .....	$4,52 \pm 0,04$
K .....	$4,57 \pm 0,04$
UC ....	$4,62 \pm 0,04$

A drótok izzítása 2400 K° hőmérsékleten 100 óra időtartalmú volt. A 100 óra égetési idő folyamán átlagban mindegyik drótfajtán 10—15-ször mértünk kilépési munkát.

3. A mérésekből megállapítható volt, hogy a wolframdrótok korrekt kilépési munkaértékeinek meghatározhatósága a megfelelő jó vákuum előállításán kívül ( $10^{-7}$  Torr) a kiindulási wolfram alapanyagban eredetileg bentlevő és a megfelelő wolframtulajdonságok elérése céljából szándékosan belevitt idegen szennyező anyagok eltűnésétől (kipárolgásától) függ.



A kilépési munkáknak a szakirodalomban található értékektől való eltérése tehát nemcsak a vákuumtérből adszorbeált gázrétegeknek a wolframfelületen való megjelenésétől függ, hanem ezenkívül még a wolframdrót belsejéből kidiffundáló, a wolframdrót felületén megjelenő idegen anyagoktól is.

4. A mérések folyamán megállapítottuk továbbá a GK-wolframdrót kilépési munkájának hőmérsékleti együtthatóját, melynek értéke  $(6 \pm 3) \cdot 10^{-5}$  V/fok.

5. A mérések során megállapítottuk, hogy a kilépési munka végleges értékei a különböző szennyező anyagok különböző idő után történő kipárolgása után állnak be. Jogosult annak feltételezése, hogy bizonyos adalékok hozzáadása azért befolyásolja kedvezően a wolframkristályszerkezet tulajdonságait, mert valószínű, hogy a wolframban és molibdénben eredetileg jelenlevő szennyezési anyagokkal együtt könnyebben párolgó vegyületet alkotnak.

6. A kilépési munka méréséhez szükséges telítési áramértékeket a fonálnak magasabb hőmérsékleten történő villantása után állapítottuk meg oly módon, hogy mértük több időpontban az emissziós áramot és ezek segítségével az emissziós áramot zérus időpontra extrapoláltuk.

7. Az UC-fonalak példájában megfontolásokat és számításokat végeztünk az adalékanyagok diffúziós sebességére és mennyiségére vonatkozóan. Ennek folyamán összefüggésbe hoztuk egyrészt a drót felületének szennyezettségét az emissziós áramerősséggel, másrészt a fonál belsejéből a felületre irányuló diffúzió sebességével.

8. A diffúzió sebessége a különböző adalékokkal ötvözött wolframfémre jellemző, amelyre így az elektronemisszió folyamatából következtetni lehet.

# CSONKA JÁNOS ÉLETE ÉS MUNKÁSSÁGA

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

Az MTA ÉPÍTÉS- ÉS KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYI MUNKAKÖZÖSSÉGE, BUDAPEST

[Beérkezett 1959. május 18-án]

## I. Bevezetés

Húsz évvel ezelőtt, 1939. október 27-én halt meg CSONKA János, BÁNKI DONÁTnak, a híres feltalálónak kiváló munkatársa, az első magyar robbanómotor és automobil készítője. Ez a dolgozat az ő életét és munkásságát óhajtja az évforduló alkalmából ismertetni, illetve méltatni.

## 2. A szülői ház

CSONKA János 1852. január 22-én Szegeden, az Alsóvárosban született. Apja, TSONKA Vincze, jónevű kovácmester volt, kinek Szegeden, a Földműves-utca 8. szám alatt volt műhelye. TSONKA Vincze kovácmester műhelyében patriarkális jellegű kéziipar folyt. Segédei és inasai mind családtagok voltak. Ez a családi jelleg a kis vidéki műhelynek sajátos színezetet kölcsönzött.

TSONKA Vincze „gépépítő” hírében álló kovácmester volt. Szélmalmokat, vízimalmokat, olajsajtókat, tűzoltó fecskendőket szerkesztett, hajólánccokat kovácsolt. Ő készítette a szegedi kórháznak az orvosi és fogorvosi műszereket, de a környékbeli malmok gépi felszerelését is. Manapság szinte elképzelhetetlen, minő ügyességet és leleményességet kívánt annak idején az efféle munka. Milyen gyakorlat kellett pl. ahhoz, hogy valaki valamely vastag malomtengelyt vékonyabb keresztmetszetű vasrudakból kovácsolással nagy keresztmetszetűvé hegesszen össze. Művészi ügyesség kellett lapos meneteknek kézzel való kireszeléséhez, vagy belső meneteknek rézforrasztással kovács-tűzben való elkészítéséhez is. Nem volt könnyű feladat a különféle alkatrészeket fagerendákból ácsolt vázú, saját készítményű, emberi erővel hajtott esztergapadon megmunkálni. Csak ott lehetett ilyen eszközökkel eredményt elérni, ahol mester és segédek szerették szakmájukat, és szívvel-lélekkel működtek együtt a siker érdekében.

CSONKA János, szüleinek hetedik, legkisebb gyermeke, már egész fiatalon apja műhelyébe került és ebben a patriarkális környezetben valóságos

belenőtt a családi mesterségbe. Itt, a szülői házban ismerte meg a munka szépségét, mestersége különféle fogásait, itt szerezte meg azokat az első ismereteket is, melyek későbbi pályafutása során oly biztos alapokat adtak munkásságához.

### 3. A fiatal évek

CSONKA János fiatal éveiben szülővárosában még javában dühöngött a Bach-rendszer. Az elemi iskolában németül tanítottak, a hivatalokban, a postán csak németül beszéltek. Az életszínvonal nyomott volt, az egészségügyi viszonyok felette elmaradottak.

A fiatal CSONKA János hamarosan szűknek érezte a szülői házat, s terhesnek az elmaradott szegedi viszonyokat. Tudásszomja apja műhelyéből előbb az *Alföld—Fiumei vasút* szegedi főműhelyébe (1871), majd a *MÁV budapesti fűtőházába* hajtja (1873). Közben állandóan tanul, és behatóan tanulmányozza a gőzgépek és gőzmozdonyok szerkezetét. Minthogy pedig itthon tanulmányának kiegészítésére csak korlátolt lehetőségek álltak rendelkezésre, elhatározza, hogy tanulmányútra megy a művelt Nyugatra. Ezt a tervét rengeteg nehézség és nélkülözés közepette meg is valósítja. Elsajátítja a német nyelven kívül a francia nyelvet is, és nekivág a maga erejéből a világnak.

Tanulmányútja során először Bécsét látogatja meg, ahol a *K. K. Österr. Staatseisenbahn Gesellschaft*nál vállal állást (1874). Közben szorgalmasan tanulmányozza a múzeumokat, kiállításokat. Bécsből Korneuburgba, St. Pöltenbe, majd Zürichbe kerül. Itt az *Escher Wyss et Cie* cég műhelyében helyezkedik el. Zürichből Párizsba megy (1875), ahol hosszabb időt tölt el.

CSONKA János nem sokkal a porosz—francia háború befejezése után érkezett Párizsba. Németországot ekkor már egyesítették, de még csak politikailag. Maga Párizs az ostromot gyorsan kiheverte és rohamos fejlődésnek indult. Iparának ugrásszerű fejlődését azonban erősen gátolta a nagyfokú energiahiány. A gőzgép — többféle okból — nem tudta az ipar újabb hajtásait, a pinceműhelyekből gombamódra sarjadó kis- és középüzemek energiaszükségletét kielégíteni. Mesterkéltn megoldásokat és szerkezeteket agyaltak ki, hogy mechanikai erőforrásokat teremthessenek. Vízvezetékekkel hajtott erőgépecskéket, csekély teljesítményű hőlégmotorokat próbáltak alkalmazni. Később óriási költséggel kompresszor-telepeket építettek, és az egész városra kiterjedő nagynyomású sűrítettlevegős csőhálózatot létesítettek, hogy az energiaszétosztás kérdését megoldják.

CSONKA Párizsban a pontos munkájáról híres *F. Journaux—Leblond*-féle varrógépgyárban vállalt állást. Titkos vágya a varrógépgyártás megismerése volt. Azt tervezte, hogy majd megkísérli a varrógépgyártást Magyarországon meghonosítani.



Párizsban a kisebb üzemekben ez idő tájt kezdtek rohamosan elterjedni a világítógázzal hajtott különféle motorok. CSONKA behatóan tanulmányozta ezeket, többek közt LENOIRnak egy kisebb párizsi nyomdában felállított motorát. Itt ismerte fel, minő hatalmas gazdasági előnyöket jelent a világítógáz-motor, mint a kis műhelyek ez idő tájt legcélszerűbb energiaforrása.

Megismervén a francia gépipari technikát, CSONKA Párizsból Londonba, majd Anglia egyéb ipari központjaiba látogat el. Innen ismét visszatér Párizsba (1876). Mindenütt tanul, megfigyel, jegyez, vázlatokat készít, szorgalmasan látogatja a kiállításokat és a könyvtárakat.

A hosszú tanulmányút során szerzett ismeretek és élmények alapvető kihatással voltak CSONKA egész későbbi munkásságára. Fiatal korában szerzett benyomásaira évtizedek múlva is részletesen visszaemlékezett. Ebben csodálatos emlékezőtehetsége is segítette. Később is, majd minden évben, karácsony tájt ellátogatott Párizsba, leginkább az ipari kiállítások alkalmából. Innen visszatérőben szívesen tartózkodott még Lyonban, Zürichben, Milánóban és Bécsben is. Külföldi tanulmányútjai széles látókört, gazdag műszaki ismeretanyagot és helyes ítélőképességet biztosítottak számára.

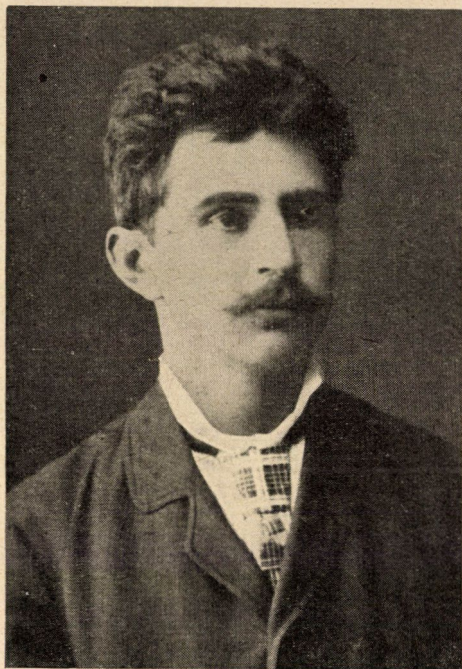
#### 4. A műegyetemi tanműhely

CSONKA párizsi tartózkodása alatt véletlenül értesült arról, hogy a budapesti József-műegyetem rektora pályázatot írt ki a PILCH Ágoston professzor vezette gépiparműtani tanszék tanműhelyének művezetői állására. CSONKA János a pályázatról értesülvén, azonnal hazautazott, de kérvényét így is csak elkésve, határidő (1876. okt. 15.) eltelte után tudta benyújtani. A pályázaton harmincketten vettek részt, köztük jóval idősebb gépészmérnökök is. Mégis az állást — értékes külföldi gyakorlatára való tekintettel — a pályázók legfiatalabbika, a 25 éves CSONKA nyerte el (1. ábra).

A műegyetemi tanműhely művezetői állásának komoly külföldi gyakorlattal bíró személlyel való betöltését a magyar ipar akkori sajátos helyzete tette felette indokolttá. Magyarország ti. elmaradt, mezőgazdaságot művelő terület volt, melyben a kis számban meglevő iparvállalatok is idegen, főként osztrák kézben voltak. A nagy gyárak ügyvezetésének nyelve jórészt német volt. A kiegyezést követően a helyzet lényegesen javult ugyan, de kevés lévén a magyar szakember, különös fontosságú volt, hogy a műegyetem a kibontakozófélben levő magyar gyáripár vezetésére jól képzett mérnökmenzédéket neveljen. E tekintetben a műegyetem gépműhelyére is komoly feladat hárult.

CSONKA a műegyetem tanműhelyében vállalt művezetői állását 1877. február 11-én foglalta el. Ebben az időben a műhelynek nem voltak beosztott alkalmazottai, enélkül pedig a műhely nem láthatta el kellőképp feladatát, a gépészmérnök-hallgatók hatásos gyakorlati oktatását.

Átlátva a helyzet fonák voltát, CSONKA azonnal javaslatokat dolgozott ki annak megjavítására. Felajánlotta, hogy saját maga költségérevállalja 5—6 szakképzett munkásnak, köztük egy öntődei formázónak állandó alkalmazását. Ennek fejében csak azt kérte, hogy szabad idejében a műhely gépeit saját céljaira is hasznosíthassa. Ez a javaslat a műegyetem részéről meleg



1. ábra. CSONKA János ifjúkori arcképe (1879)

fogadtatásra talált. A javaslatnak megfelelően CSONKA és a műegyetem között szerződés jött létre, mely lehetővé tette, hogy CSONKA a műegyetem gépműhelyét a tanítási időn kívül iparfejlesztési célokra igénybe vegye.

### 5. Az első magyar gázmotor

Amidőn CSONKA a műegyetemi tanműhely vezetését átvette, a tanműhely energiaellátását egy Schmid-féle vízoszlopgép biztosította. Később — Dr. SZABÓ Gusztáv ny. műegyetemi tanár szíves közlése szerint — ezt a gépet Langen—Otto-féle atmoszferikus gázgéppel, majd Swidorski-féle petróleummotorral váltották fel. E gépek tanulmányozása kedvező lehetőséget nyújtott arra, hogy a fiatal CSONKA a gázgépek fejlődését fokról fokra kövesse és bátorítást nyújtott arra, hogy maga is tevékenyen bekapcsolódjék a gázgépek tökélete-

sítésére irányuló munkába. Ezt a törekvését főnöke, PILCH Ágoston műegyetemi tanár megértően támogatta: CSONKA kérésére beleegyezett abba, hogy CSONKA a tanműhely energiaellátásának biztosítására maga-szerkesztette gázmotort készítsen.

Ez a motor — az *első magyar gázmotor* — CSONKA műegyetemi tevékenységének első éveiben került üzembe. Rajz, leírás nem maradt fenn a gépről, de CSONKA elbeszéléséből ismeretes, hogy szelepes megoldású, négyütemű motor volt, melynek vezérlését maga a főtengely végezte reáékelte hornyos tárcsa segítségével. Utóbbinak homloklapján hurkolt epicycloidhoz hasonló hornyos pálya volt bevágva. Ezt a kettős hurkolt pályát a szelepemelő kulisszáköve a főtengely két fordulata alatt egyszer futotta be. Ezzel elérhető volt, hogy a négy ütemnek megfelelőleg a szelepek nyitása és zárása a főtengely minden második fordulatakor következzen be.

Fel kell hívni a figyelmet azokra a nem csekély nehézségekre, melyek közt CSONKA első motorát elkészítette. Mily nehéz lehetett pl. egy vízhűtéses hengert házilag öntetni. Maguk a szerszámok is meglehetősen kezdetlegesek lehettek. A Csonka-gépgyár ereklyegyűjteményében még megvolt pl. egy-néhány szívfűró, melyeket CSONKA készített magának, még a spirálfűró előtti időkben, de már Morse-féle kónusszal. Csak ha ezekre a nehézségekre gondolunk, akkor értékelhetjük helyesen CSONKA Jánosnak az első gázmotor előállításával nyújtott úttörő teljesítményét.

CSONKA kísérleti motorát a József-műegyetem gépműhelyében, a Kétnyúl (ma: Szamuely) és Csillag (ma: Gönczy Pál) utcák sarkán álló ún. Nagel-ház udvari, hátsó szárnyában állította fel. Érdemes lenne ezt a helyet a magyar műszaki emlékek iránti tiszteletből emléktáblával megjelölni.

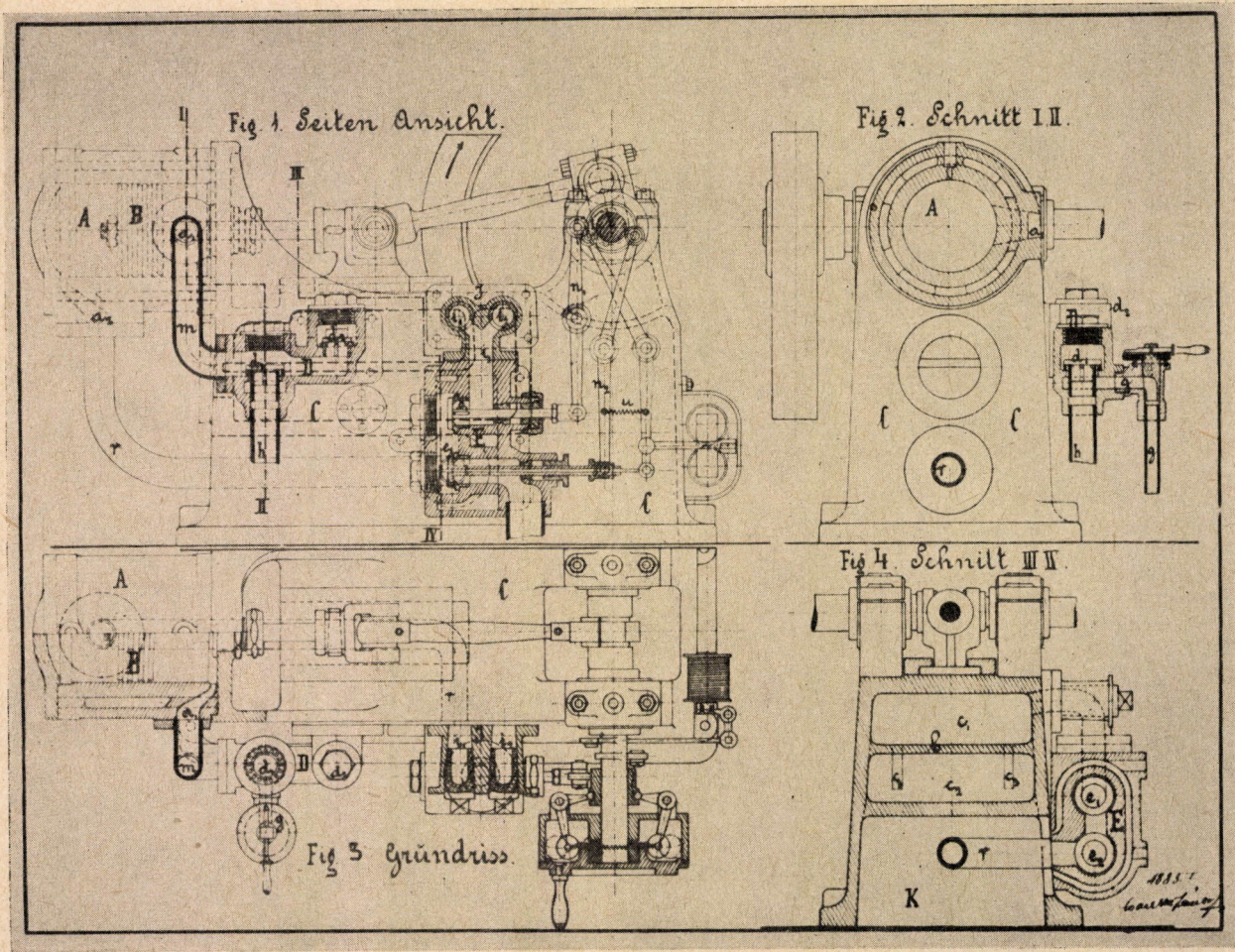
## 6. A Csonka-féle gáz- és petróleummotor

CSONKA János a kísérleti gázmotor elkészítése után oly motort konstruált, mely két csap egyszerű átállításával tetszés szerint világítógázzal, vagy petróleummal volt hajtható.

Az új motor tervei 1882-ben már minden bizonnyal készen voltak, hiszen CSONKA hagyatékában fennmaradt egy 1883. I. keltezésű rajz (2. ábra), mely a motor kiforrott alakját már német feliratokkal tartalmazza. Ez a rajz nyilván szabadalmi bejelentés céljára készült, s feliratait nem tekintve, azonos azzal a magyar feliratú rajzzal, amelyet CSONKA az 1884. november 26-án „gáz- és petróleummotor” címen benyújtott szabadalmi bejelentéséhez csatolt (3. ábra).

Az új Csonka-féle gáz- és petróleummotor 3 lóerős volt. Műhelyrajzai és indikátor diagramjai 1944-ben még megvoltak, azonban a háborús ese-





2. ábra. Csonka-féle gáz- és petróleummotor (1883 I.)



mények során elpusztultak. Így mindössze saját készítésű mágnesgyújtója maradt fenn, mely 1941-ben a Csonka-gépgyár házi múzeumába került.

Mint a szabadalmi rajzból és leírásból megállapítható, a gép kétütemű volt, s az akkori általánosan elterjedt felfogásnak megfelelőleg hosszú szívócsővel készült, mely egyben a robbanótér részét képezte. A hajtórúd még keresztfejjel volt kialakítva. Érdekes újítás volt, hogy az annak idején szokásos tolattyús elrendezés helyett kizárólag szelepes megoldással készült. Villamos megszakító gyújtása volt, s e tekintetben fejlettebb volt, mint a nyílt lánggyújtással működő korabeli motorok. Nevezetesen újítást jelentett az a körülmény is, hogy a gép könnyen volt átállítható, gázzal petróleum hajtásra és viszont. Ezzel lehetségessé vált, hogy ugyanaz a motor, ha a gázszolgáltatás kimaradt, gáz helyett petróleummal legyen hajtható.

A Csonka-féle gáz- és petróleummotor kritikái ismertetése LIPTHAY József már említett tanulmányában található meg. Szerinte

„Ha ... a Csonka-motort összehasonlítjuk a korabeli motorokkal, megállapíthatjuk, hogy a kétütemű gépek között a legjobban sikerült volt ...”

„A kétütemű Csonka-motor ... megállta a helyét a korabeli négyütemű gépek mellett is. A kétütemű problémát Csonka teljesen önálló módon oldotta meg, úgyszintén a gáz- és benzín-üzem egyszerűen átváltható lehetőségét. Külsőalakjában ez a szelepes gép, a Daimler-motort kivéve, legjobban közeledett a később kialakult belsőégésű motorok formájához.”


CSONKA újfajta gáz- és petróleummotorának egy példányát 1883-ban a műegyetem gépműhelyében állította fel, s az ott egészen 1888-ig kifogástalanul működött.

Sajnos, CSONKA nem rendelkezett megfelelő anyagi eszközökkel, s ezek híján nem tudta újításait értékesíteni. Így a sok fáradsággal létrehozott újítások kihasználatlanul maradtak. Kortársa, STRAUB Sándor erre nézve az alábbiakat jegyzi fel 1887-ben megjelent tanulmányában :

„Hazánkban tudommal gázmotort legelőször CSONKA J., a kir. József-műegyetem gépműhelyének vezetője készített. Ezen motoron CSONKA, a mennyire ráért, több ideig dolgozott, s az indikátor diagrammok, melyeket motoráról felvett, a körfolyam jó valószínűségről tanúskodnak. Kár, hogy magyar ember találmányának hasznosítását a kivitelhez szükséges anyagi eszközök hiányai e téren is meggátolják.”

## 7. Újítások gáz- és petróleummotorokon

A Ganz-gyár 1886-ban megvásárolta a *Leobersdorfer Maschinenfabrik A. G.* leobersdorfi gépgyárát, mely egyéb gépeken kívül gázmotorok készítésével is foglalkozott. A gyár megvételekor nagyobb mennyiségű kész, de használhatatlan motor, valamint hozzávaló nagy mennyiségű öntvény került a Ganz-gyár birtokába. Ezért id. SZILÁGYI Miklós azt javasolta MECHWART Andrásnak, a Ganz-gyár vezérigazgatójának, hogy a hasznavehetetlen motorokat, s azok öntvényeit ne semmisíttesse meg, hanem valamely ügyes tervező-

Ad Nr. 47690. 

In Gemäßheit des Allerhöchsten Patentes vom 15. August 1852  
(R. G. Bl. Nr. 184) ist

Johann Csonka *in Budapest,*

am heutigen Tage ein ausschließendes Privilegium mit der Priorität  
vom 26. *Januar 1854* in den im Reichsrathe vertretenen König-  
reichen und Ländern auf *sein Gas- und Petroleum-Motor*

nach Maßgabe der im k. k. Handels-Ministerium erliegenden *offenen*  
Beschreibung unter allen Bedingungen und mit allen Wirkungen,  
welche in dem Allerhöchsten Patente vom 15. August 1852 angegeben  
sind, erteilt worden.

Hierüber ist gegenwärtige Akte bei dem k. k. Ministerium des  
Handels ausgefertigt und unter Beidrückung des Ministerial-Siegels  
vollzogen worden.



Wien, am 14. März 1855.  
*aus dem k. k. Handels-Ministerium*

*Alm*

Dieses Privilegium wurde im Privilegien-Regist. sub Tom. 35 -  
Fol. 378 vorchriftsmäßig eingetragen.

Vom k. k. Privilegien-Archive.

Wien, am 16. März 1855

*Alm*

3. ábra. A Csonka-féle gáz- és petróleummotor osztrák szabadalma (1884)



vel terveztesse át, minek folytán a motorok értékesíthetőkkelé lesznek. MECHWART a javaslatot magáévá tette, a motorok közül kettőt, egy nagyobbat és egy kisebbet Pestre hozatott, s azok átalakításával egyik mérnökét, BÁNKI Donátot hívta meg. A munka sikere végett egyúttal BÁNKIT és SZILÁGYIT kiküldötte az augsburgi kiállítás tanulmányozására.

Augsburgból visszatérve, BÁNKI hozzálátott a leobersdorfi motorok átszerkesztéséhez, de a közel egy évig folyó kísérletek nem vezettek kellő eredményre. Pedig a régi álló hengeres motorokból lassan már csak a váz, a henger, forgattyútengely, a lendítőkerék és a vezértengely maradt meg. Utóbb a hengert is kicserélték, de a fékpróba ekkor sem volt kielégítő.

Látván a kísérletek sikertelenségét, MECHWART vezérigazgató CSONKA Jánost hívta segítségül, kinek ekkor már a motorgyártásban elismert gyakorlata, sőt a gáz- és petróleummotorokra vonatkozó értékes szabadalma is volt. A kísérleteket most már BÁNKI és CSONKA együttesen folytatták, mégpedig a Ganz-gyár kőbányai vagongyári műhelycsarnokában. Itt azonban a gyakori gázkirobbanások zavarták a műhely munkáját, miért is a kísérletek időpontját az esti órákba, a munkaszünet idejére tették át. Az esti fékpróbák viszont azzal a hátránnyal jártak, hogy a kísérlet során szükségessé váló kisebb igazításokat mindenkor csak másnap lehetett elvégeztetni, ami a kísérleteket nagyon hátráltatta.

A fennforgó nehézségek miatt MECHWART végül is beleegyezett abba, hogy a kísérleti motorokat a műegyetem tanműhelyébe szállítsák és a közös kísérletezést ott folytassák.

A közös kísérletek során BÁNKI és CSONKA használható állapotba hozták a kísérleti motorokat, de egyúttal értékes oly újításokat is dolgoztak ki, melyeket azután közösen szabadalmaztattak. Idevágó szabadalmukat 1889. jan. 19-én *Újítások gázgépeken*, 1889. április 11-én „*Újítások gáz- és petróleummotorokon*”, majd 1889. márc. 14-én „*Vezérmű négyütemű motorok számára*” címen nyújtották be.

A leobersdorfi motorok átkonstruálása BÁNKI és CSONKA számára sok, fáradságos munkát jelentett, és kezdetben azzal a hátránnyal is járt, hogy visszatartotta őket attól, hogy az adottságoktól független új megoldásokkal kísérletezzenek. Később viszont, a motorok fokozatos átalakítása árán, módjuk nyílt arra, hogy különféle újításokat hozzanak létre. Ezen újítások révén a motorok egyre tökéletesebb, újszerű alakot kaptak.

Az új, most már fekvő hengerű motorokat a Ganz-gyár *Ganz-motor* néven hozta forgalomba, de a motorokon feliratos táblával jelölte meg, hogy a motorok BÁNKI és CSONKA szabadalmának felhasználásával készültek. A szóban forgó feliratos táblának tudható be, hogy SCHIMANEK Emil egyébként kitűnő könyve ezeket a fekvő hengerű gépeket *Bánki—Csonka motor* néven említi, holott a hazai műszaki körök a később kialakított állóhengeres motorokat nevezték Bánki—Csonka motoroknak.

## 8. A Ganz-gyárral kötött szerződés

A közös szabadalmak értékesítésére BÁNKI és CSONKA tárgyalásokat kezdtek a Ganz-gyárral.

Kezdetben a tárgyalások csak a *gázmotorokkal* kapcsolatos szabadalmak átvételére irányultak. A tárgyalások alapján a Ganz-gyár el is készítette a szerződés tervezetét. E tervezet szerint a gyár motoronként és lóerőnként 50 Ft-ot lett volna köteles fizetni közvetlen CSONKÁnak mindaddig, amíg a gyártott motorok együttes lóerőszáma a 40 lóerőt el nem éri. Ettől kezdve, a gyár a motorok számlaösszegéből 8% jutalékot lett volna köteles fizetni a két feltalálónak együttesen és külön még 4%-ot CSONKÁnak. A szabadalmak külföldi értékesítéséből befolyó bevételen a Ganz-gyár és CSONKA egyenlő arányban osztozott volna.

A végleges szerződés — ismeretlen okokból — a fentinel kedvezőle-  
nebb feltételek mellett 1889. december 16-án jött létre, mégpedig közvetlenül a gyár és CSONKA János között. A végleges szerződés több tekintetben eltért a tervezettől. A fő különbség az volt, hogy a gyár nemcsak a gázmotorokra vonatkozó szabadalmakat veszi meg, hanem a *gáz- és petróleummotorokra* vonatkozó egyéb BÁNKI—CSONKA szabadalmakat is, és vételárként nem  $8+4=12\%$  jutalékot, hanem csak 8% jutalékot fizet.

Igen érdekes CSONKA Jánosnak a Ganz-gyárral kötött 1889. évi szerződésre vonatkozó feljegyzése. Eszerint GULDEN K., a Ganz-gyár akkori igazgatója, közvetlenül a szerződés aláírása előtt azt az utólagos kikötést szúrta be a szerződésbe, hogy *Csonkának a petróleummotorokra vonatkozó minden esetleges jövőbeli találmánya is a gyár tulajdonát képezi*. Ez a megjegyzés a CSONKA birtokában megmaradt szerződéspéldányon nem található meg, tehát csak a CSONKA által aláírt, a gyárban maradt szerződéspéldányra kerülhetett rá.

A létrejött szerződés alapján eleve a Ganz-gyár tulajdonába mentek át a petróleummotorokra vonatkozó későbbi Bánki—Csonka-féle találmányok, így többek között a Bánki—Csonka motorra, valamint a karburátorra és az automatikus csőgyújtóra vonatkozó szabadalmak is. Ezekre nézve később sem jött létre semmiféle külön megállapodás a Ganz-gyár és a feltalálók között.

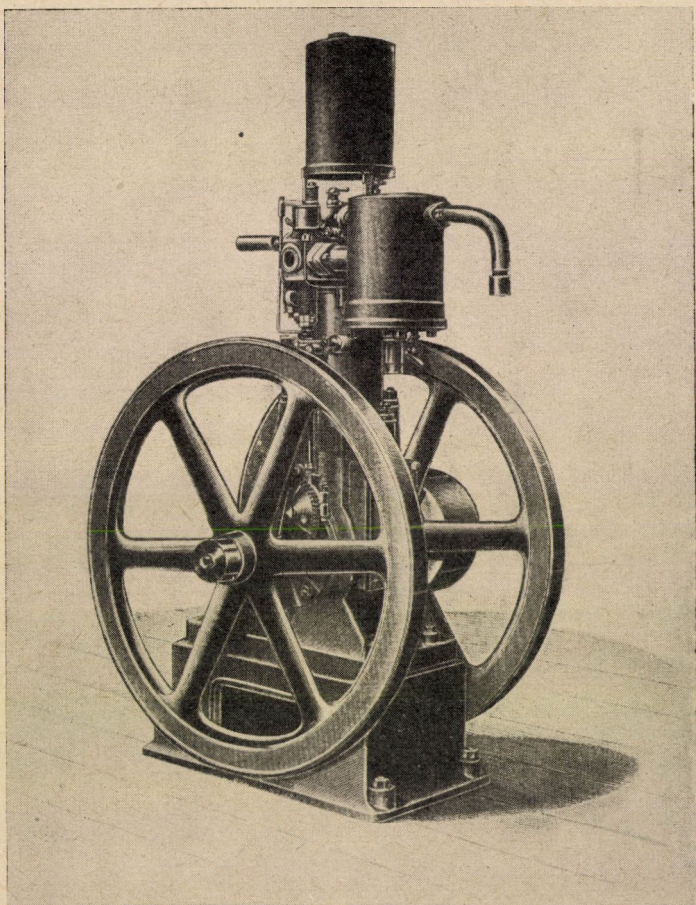
A Ganz-gyárral kötött szerződés után BÁNKI és CSONKA külön szerződésben rendezték egymásközi viszonyukat, megállapodván, hogy a szabadalmi jutalékokon egyenlő arányban osztoznak.

## 9. A gázkalapács

BÁNKI és CSONKA együttműködésének egyik nevezetes eredménye az ún. *gáz- és petróleumkalapács*.

Ez a szerkezet tulajdonképpen ikergép volt, mely a gépműhely transzmissziótengelyét volt hivatva hajtani, de ezenfelül kovácsolásra is igénybe

volt vehető. Az üzemben levő gép minden különösebb előkészület, vagy indítási idő nélkül minden pillanatban kovácsolásra is kész volt : egyetlen könnyű emelőkar, vagy pedál mozdítására a kalapács máris ütött. A kalapács ütőkosa nem volt mechanikai összeköttetésben a motor erő kifejtő tengelyével, sem

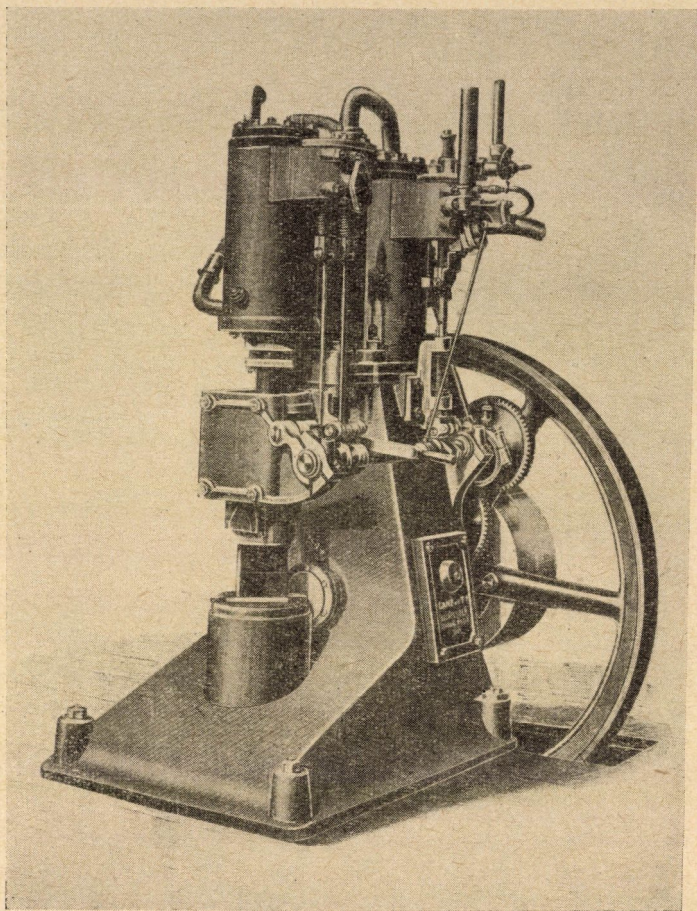


4. ábra. Bánki—Csonka-féle gázkalapács (1888)

annak lendítőkerekével, mivel az ütőkost csak a robbanógáz gyorsította. Így az ütés ereje nem vette közvetlenül igénybe a motor kényesebb alkatrészeit.

A Bánki—Csonka-féle gázkalapács első példánya kétlóerős kivitelű volt (4. ábra). Ezt a gépet CSONKA 1888-ban készítette, s a műegyetem gépműhelyében állította üzembe. Itt a gép egész 1910-ig, 22 éven át volt használatban.





5. ábra. Bánki—Csonka-féle gázkalapács (Ganz gyártmány)

BÁNKI és CSONKA a gázkalapácsot Magyarországon 1890. aug. 17-én szabadalmaztatták. A gépre ezenkívül 1891. aug. 25-én német szabadalmat is szereztek.

Magyarországon a gázkalapácsot a Ganz-gyár 2—10 lóerős kivitelben gyártotta (5. ábra). Németországban a *Berlin Anhaltische Maschinenbau A. G.* rendelkezett be gyártására. Ez a gyár egy általa készített Bánki—Csonka-féle gázkalapácsot az 1896. évi *berlini ipari kiállításon* mutatott be.

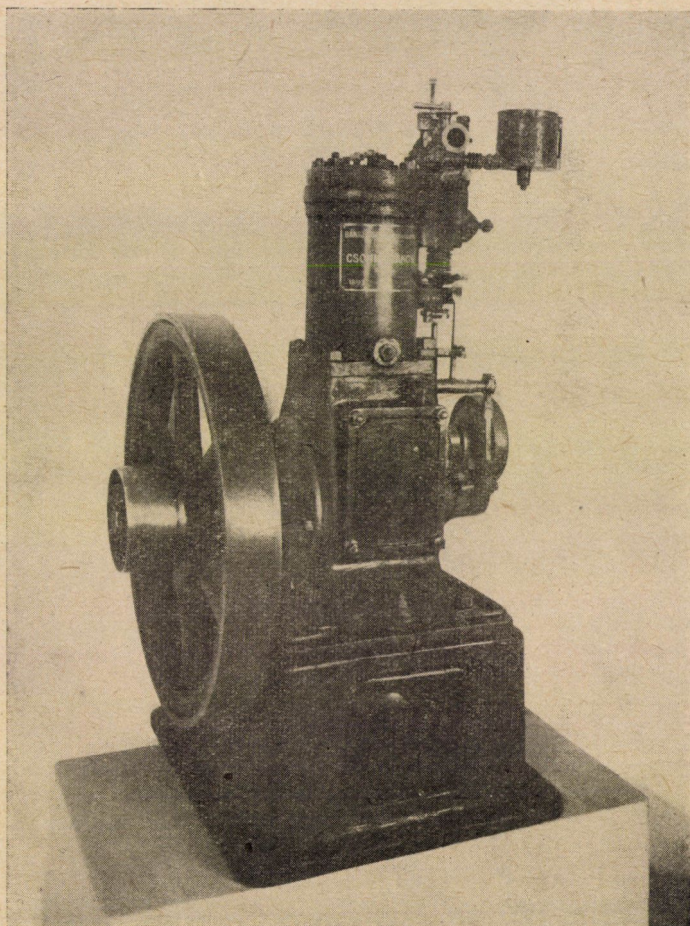
A Bánki—Csonka-féle gázkalapács aránylag egyszerű szerkezetű volt. Külföldön forgalomban voltak egyéb, bonyolultabb szerkezetű gázkalapácsok is, ezek azonban semmivel sem voltak a Bánki—Csonka-féle kalapácsnál jobbak, és mihamar el is tűntek a gyakorlatból. Ezekkel szemben a Bánki—Csonka-féle kalapácsok sokáig tartották magukat és a vidéki, kisebb műhelyekben hosszú időn át igen jó szolgálatot teljesítettek.



### 10. A Bánki—Csonka motor

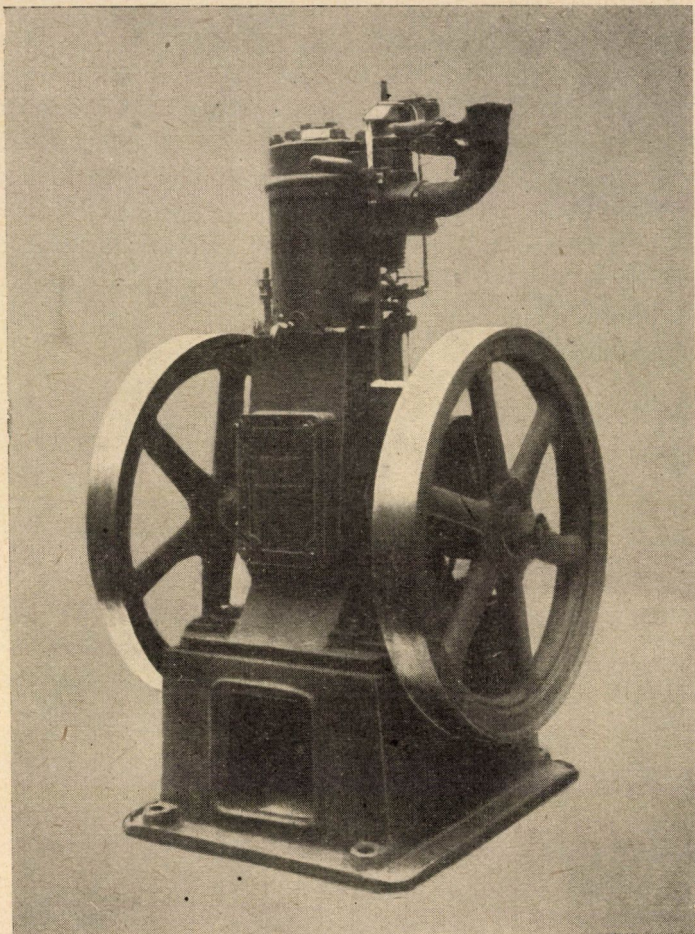
BÁNKI és CSONKA a leobersdorfi motorok szakszerű átkonstruálása, majd a fekvő hengerű „Ganz motor” megszerkesztése után hozzáálltak saját elképzelésüknek megfelelő újfajta négyütemű benzinmotor tervezéséhez (1890). Az új motor a kisipar és mezőgazdaság igényeit óhajtotta kielégíteni.

Az első kísérleti gép elvi vázlata a Ganz-gyár 1890. évi német nyelvű árjegyzékében található meg. A gépnek zárt motorháza, álló hengere és nyíltlángos, izzócsöves gyújtása volt. A főtengely a henger középsíkjából oldalra el volt tolvva, a kompressziótér még kúpos volt. Ezen a gépen végezték BÁNKI és CSONKA híres karburátor-kísérleteiket.



6. ábra. Bánki—Csonka motor





7. ábra. Bánki—Csonka motor

Az első kísérleti motort CSONKA később értékesítette. A gép többször gazdát cserélt, míg végül 52 évi szolgálat után, a Csonka-gépgyár házi múzeumba került. E gépet jelenleg a *Közlekedési Múzeum* őrzi.

BÁNKI és CSONKA tovább tökéletesítették motorukat, s 1893 februárjában már a nyilvánosságnak is bemutatták. Erről a bemutatásról SPORZON Pál a következőképpen emlékezik meg a *Közlekedés* 1896. évfolyamában :

„Midőn az országos magyar gazd. egyesület 1893. év februárban Budapesten az első gazdasági előadási ciklust rendezte, a jelen levő gazdáknak alkalmuk volt a műegyetem gazdasági gépszertárában egy kis két lóerejű petróleummotort működésben láthatni.” „E motor akkor még, hogy úgy mondjam, gyermekkorát élte, s csak az idén tavasszal érte el, hosszú kísérletezések után azon tökéletes alakját, mely jelenleg az összes petróleummotor rendszerek közt. egyszerűség s talán munkabírás dolgában is a legelsőhelyek egyikét foglalja el.”



A kísérleti motorral végzett beható próbák alapján a feltalálótársak motorukat — az ún. Bánki—Csonka motort — egyre tökéletesebbé tették. 1894-ben a gép már teljesen kiforrott szerkezetű volt (6. ábra). Leírása BÁNKI tollából a *Magyar Mérnök és Építész Egylet Közlönye* és a *Technológiai Lapok* 1894. évfolyamában található meg.

Az első Bánki—Csonka motorok még nyílt lángú csőgyújtóval készültek, de — CSONKA feljegyzése szerint — a feltalálók a harmadik géppéldányon már kísérleteket végeztek az ún. automatikus csőgyújtás bevezetésére. A későbbi motorok már ezzel a gyújtószerkezettel készültek. BÁNKI 1894-ben megjelent cikkében már le is írja az „öngyújtó” szerkezetét.

A Bánki—Csonka motor — különösen a porlasztó és öngyújtó révén — korának legtökéletesebb, leggazdaságosabb üzemű motora volt, s rövidesen országszerte ismertté és kedvelté lett. SPORZON Pál egykorú megállapítása szerint :

„... a motor magyar találmány, mégpedig oly kitűnő találmány, mely a legnevesebb külföldi hasonló gépek bármelyikével felveheti a versenyt.”

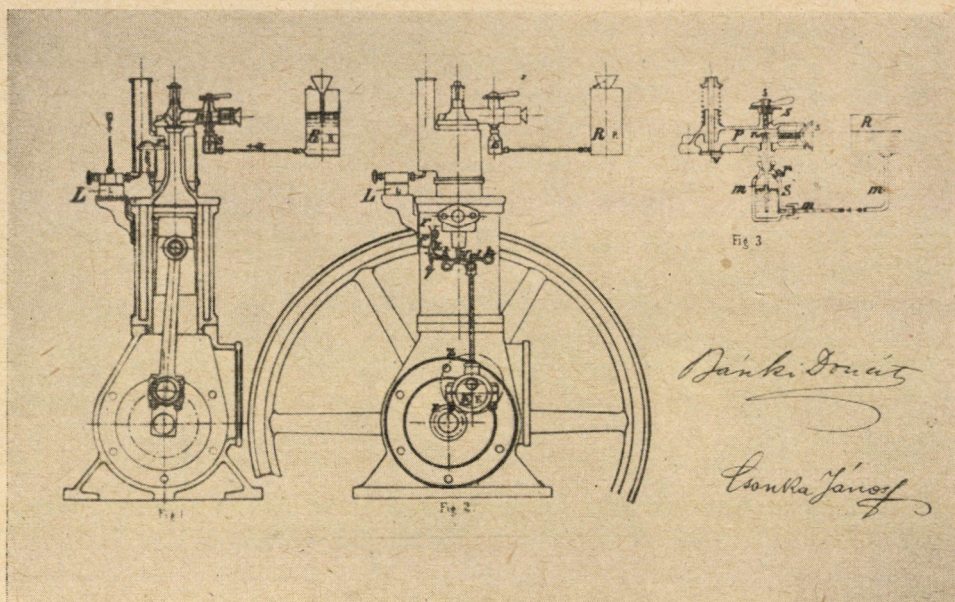
A Bánki—Csonka motorok (7. ábra) az ország különböző mezőgazdasági üzeimben fél évszázadon át voltak üzemben, s céljaiknak kitűnően megfelelték. Egyik példányukat műszaki ereklyeként a *Közlekedési Múzeum*, a *Budapesti Műszaki Egyetem Gázgépek és Autóbilok Tanszéke*, illetve a kassai *Technikai Múzeum* őrzi.

## 10. A porlasztó

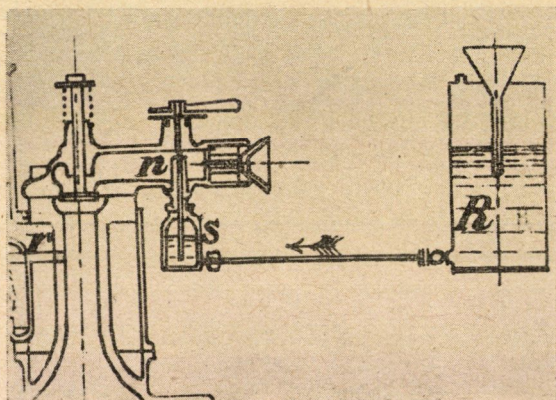
BÁNKI és CSONKA az új motorukkal folytatott kísérletezés közben 1893. febr. 11-én „Újítások petróleummotorokon” címen (Levéltár Vd. XXVIII. 2654) találmányukra szabadalmi igényt jelentettek be (8—11. ábra). A szabadalmi beadvány a gép petróleummal való táplálására szolgáló készüléket — a porlasztót — és a gép különleges szabályozó szerkezetét említi találmányként. Ezek közül itt csak a porlasztóról kívánunk megemlékezni (12. ábra).

A Bánki—Csonka-féle porlasztó a petróleumot (benzint) nem gáz, hanem apró folyadékszemcsékből álló felhő alakjában adagolja a hengerbe. A porlasztás a virágpermetező fúvókához hasonló elv szerint működő szerkezettel történik, de nem fúvóhatással, hanem a motor szívóhatásával működve. Fontos kelléke a porlasztónak, hogy a folyadékszint állandó legyen. E követelmény biztosítására a szabadalmi rajz különféle megoldásokat mutat be. A motor teljesítménye és a fordulatszám pillangószeleppel szabályozható, a gázkeverék legelőszérűbb összetétele pedig tűszeleppel, vagy átfúrt tűszeleppel üzem közben is beállítható.

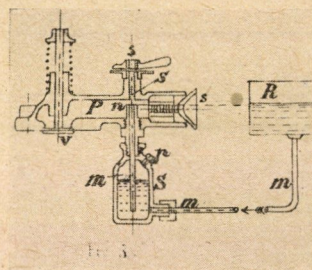
A szabadalmi bejelentés, mint már említettük, csak 1893. február 11-én történt meg, de talán még ekkor sem jött volna létre, ha LÁZÁR Pál műegye-



8. ábra. Az 1893. február 11-i Bánki—Csonka-féle szabadalmi bejelentés rajzmelléklete



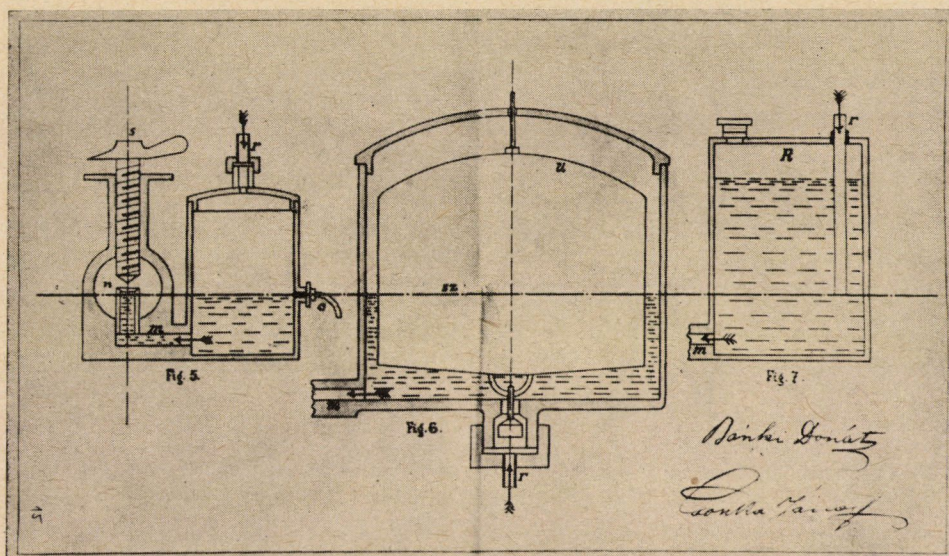
9. ábra. Nagyított részlet az 1893. febr. 11-i Bánki—Csonka-féle szabadalmi bejelentés rajzmellékletéről



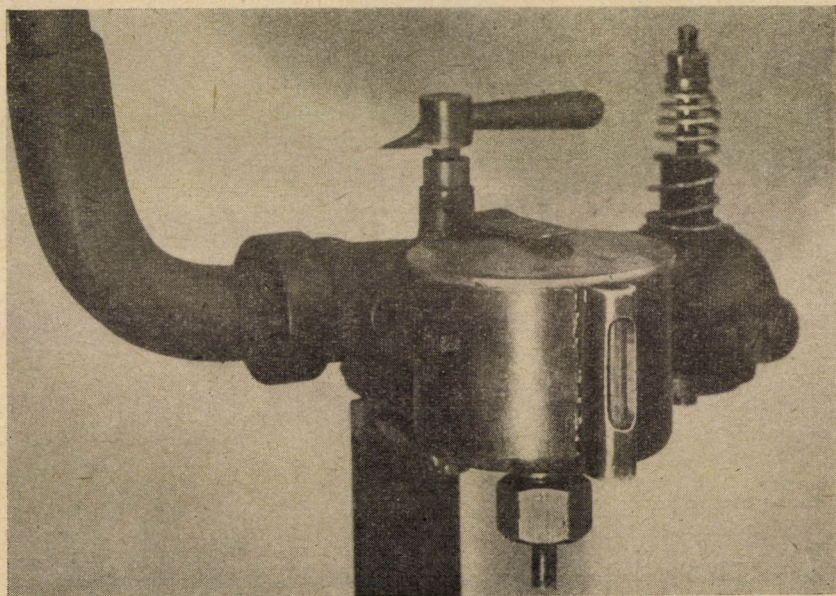
10. ábra. Nagyított részlet az 1893. febr. 11-i Bánki—Csonka-féle szabadalmi bejelentés rajzmellékletéről

temi tanár előző nap, 1893. febr. 10-én pénteken nem tart előadást „Gazdasági motorok” címen a műegyetem mezőgazdasági gépkísérleti állomásán az Országos Magyar Mezőgazdasági Egyesület részére. Ezen az előadáson, melyről később SPORZON PÁL is megemlékezett, LÁZÁR a nyilvánosság előtt ismertette BÁNKI és CSONKA újításait (*Köztelek* 3/1893, p. 161. és p. 216, továbbá *Köztelek* 4/1894, pp. 1290—92). Ezért azután BÁNKI-nak és CSONKA-nak sürgősen





11. ábra. Az 1893. febr. 11-i Bánki—Csonka-féle szabadalmi bejelentés rajzmelléklete



12. ábra. Az első benzinporlasztó (1891). BÁNKI—CSONKA szabadalma



intézkedniök kellett találmányuk szabadalmaztatása iránt, nehogy az más részéről kisajátíttassék, illetve újdonságjellegét elveszítse. Ehhez járultak még azok az okok is, melyekre LIPTHAY József hívta fel CSONKA Jánosról írt tanulmányában a figyelmet :

„Más gond is volt, és pedig nem csekély. BÁNKI már internacionális kapacitásnak számított, és még nem volt diplomája. Az akkor kialakuló műegyetemi pályafutásának is akadályát képezte ez a hiány. Ilyen önálló szellemnek a vizsgázások extra keserves követelmények, de meg kell lennie, és végre 1893. febr. 9-én megvolt a diploma. Két nap múlva készen volt a szabadalmi bejelentés is, és be is adta (1893. febr. 11.). De a kimerült idegállapot meglátszott a beadványon.”

A hirtelen benyújtott, szinte hevenyészett szabadalmi bejelentés az új Bánki—Csonka motornak még régebbi, 1891. évi alakját mutatja. A szabadalmi rajzon ugyanis a kompressziótér még kúpos kialakítású, holott éppen BÁNKI volt az, aki már 1892-ben megjelent híres dolgozatában az öblös kompressziótér káros voltára felhívta a figyelmet. Tehát BÁNKI és CSONKA az 1893. évi szabadalmi bejelentés céljára a motor és porlasztó egy már régebben készült és éppen kéznél levő 1891. évi rajzát használta fel. Ez is igazolja, hogy a porlasztó 1891-ben már valóban megvolt.

BÁNKI és CSONKA 1893. február 11-én kelt szabadalmi beadványában a porlasztó, csak mint egyik szabadalmi igénypont fordult elő. Ezért a feltalálók 1893. október 18-án a porlasztóra önálló szabadalmat is kértek, mégpedig ezúttal LÁZÁR—BÁNKI—CSONKA néven. LÁZÁR L. Pál abban az időben műegyetemi tanár és elismert szaktekintély volt. BÁNKI és CSONKA az ő személyének bevonásával akarta biztosítani, hogy a közös szabadalmak értékesítésére önálló gyárvállalat, illetve gyári osztály létesüljön, s a Ganz-gyár a közös Bánki—Csonka szabadalmak értékesítésére nézve létrejött terhes szerződést ne vegye figyelembe. LÁZÁR, BÁNKI és CSONKA egymás közt 1893. június 14-én meg is állapodtak abban, hogy a létesítendő gyár vezetője CSONKA lesz. A szabadalmi jutalékokon való osztozás arányát 1 : 1 : 1-ben állapították meg. LÁZÁRnak azonban jó összeköttetései és tekintélye ellenére sem sikerült a tervezett vállalatot létrehoznia, s így a BÁNKIVAL és CSONKÁVAL kötött megállapodás önmagától megszűnt anélkül, hogy LÁZÁR bármiféle kárpótlást kapott volna. Ez a tény is igazolja, hogy LÁZÁRnak a tervezett üzleti vállalkozás létrehozására irányuló tevékenységén kívül semmi dolga sem volt a LÁZÁR—BÁNKI—CSONKA néven bejelentett találmány létrehozásában. Ugyanezt a körülményt bizonyítja egyébként az is, hogy BÁNKI és CSONKA később 1897. dec. 14-én LÁZÁR nevének említése nélkül szabadalmaztatják találmányukat az Egyesült Államokban.

Meg kell jegyezni, hogy a Bánki—Csonka motor első, kísérleti példánya a 30-as években hosszas nyomozás után tizenkettedik gazdájánál eredeti porlasztójával és lánggal fűtött gyújtócsövével együtt megkerült. Ennek a motornak a porlasztója — *a világ első benzínporlasztója* — még nem üres bádógúszóval, hanem tömör *parafaúszóval* készült. A motor jelenleg a *Közlekedési Múzeumban* hirdeti a magyar feltalálók érdemeit. Talán nem érdektelen megemlíteni, hogy a Bánki—Csonka-féle porlasztó annak idején az 1900. évi párizsi világkiállításon, majd pedig az 1959. évi brüsszeli világkiállításon is bemutatásra került.

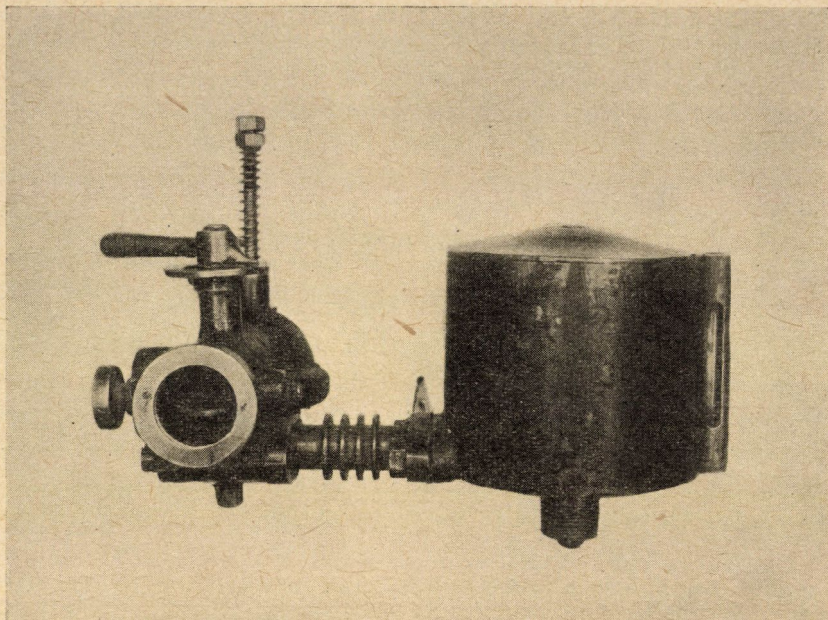
Mint ismeretes, külföldön általában Wilhelm MAYBACHOT tartják a porlasztó feltalálójának, aki 1893. aug. 17-i elsőbbséggel a porlasztóra vonatkozó francia szabadalmat (Brevet N° 232 230) kapott. Ezzel szemben BÁNKI és CSONKA szabadalmi bejelentésének időpontja 1893. febr. 11., tehát a magyar feltalálók mintegy fél évvel megelőzték MAYBACHOT. Nem érdektelen annak megemlézése sem, hogy MAYBACHnak nem sikerült találmányára német szabadalmat szereznie. Németországban ui. a szabadalmi hivatal gondos elővizsgálati kutatást végez, s nyilván nem adta meg MAYBACHnak a kért szabadalmat a már ismert Bánki—Csonka-féle szabadalom miatt. Viszont tény, hogy a Lázár—Bánki—Csonka-féle német szabadalom, mely a porlasztónak csak egy szerkezeti elemét védi, 1893. november 7-i elsőbbséggel adatott meg. Több közlemény, így SCHIMANEK Emilnek BÁNKI munkásságával foglalkozó, egyébként kitűnő könyve is, összecseréli ezt az 1893. október 18-i magyar szabadalmi bejelentést a prioritást dokumentáló 1893. február 11-i magyar szabadalmi bejelentéssel.

Sajnos, a Ganz-gyár a múlt század utolsó éveiben főként a vagongyártásra helyezte a súlyt, és nem sok figyelmet fordított a Bánki—Csonka szabadalmak kiaknázására. A szabadalmi díjakat sem fizette rendszeresen, s emiatt a porlasztóra vonatkozó szabadalom is idő előtt megszűnt. Pedig eközben a párizsi Longuemare-cég már sorozatosan gyártotta a Bánki—Csonka-féle elv szerint működő porlasztókat. BÁNKI fel is hívta erre a körülményre MECHWARTnak, a Ganz-gyár vezérigazgatójának figyelmét, de az, a nagy költségekre való tekintettel, nem vállalkozott szabadalmi per megindítására. Pedig, ha a Ganz-gyár idejében felismeri a találmány jelentőségét, és a porlasztó gyártására önálló gyárvállalatot alapít, ez a szabadalom védelmében hatalmas vállalattá fejlődhetett volna.

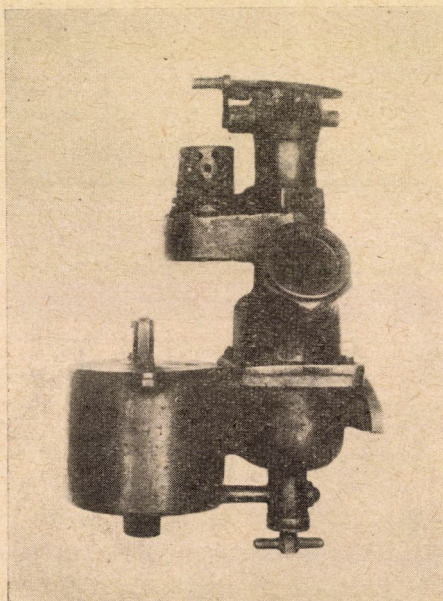
A karburátor szerkezetét BÁNKI és CSONKA a gyakorlati tapasztalatok alapján évről évre egyre inkább tökéletesítették, de az első karburátor szerkezeti gondolatát végig megtartották. A 13—18. ábrák a CSONKA készítette különféle motorok karburátorait mutatják, s egyben a fejlődés menetét érzékeltetik.

Megemlítendő, hogy a Budapesti Műszaki Egyetem Központi Könyvtára a karburátor feltalálásának 60. évfordulója alkalmából nagysikerű kiállí-

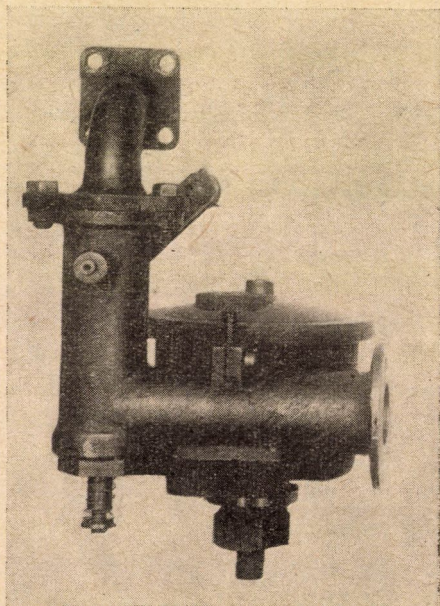




13. ábra. A Bánki—Csonka-féle benzinporlasztó fejlődése

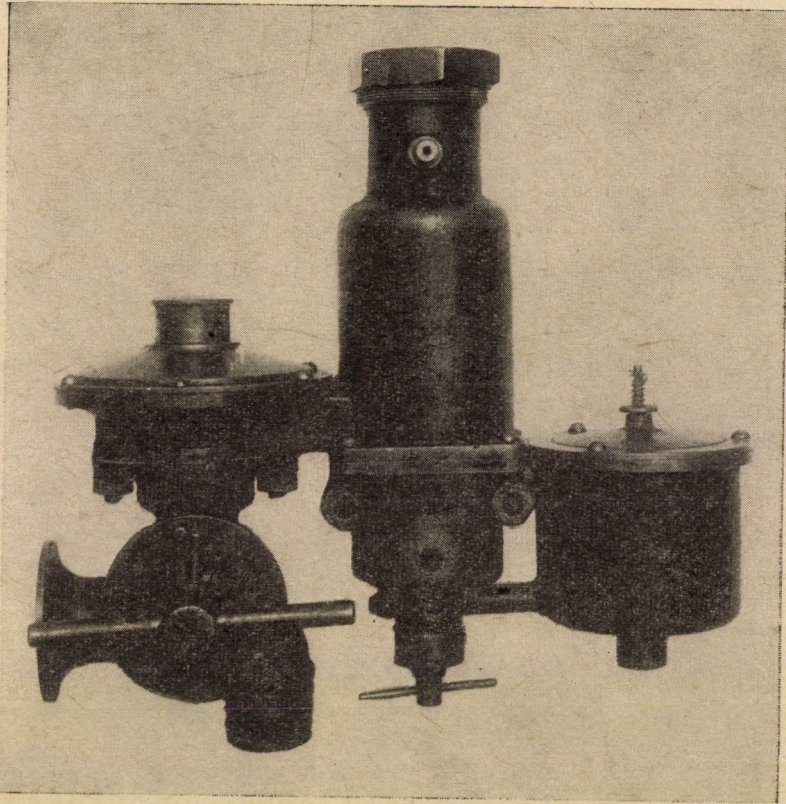


14. ábra. A Bánki—Csonka-féle benzinporlasztó fejlődése

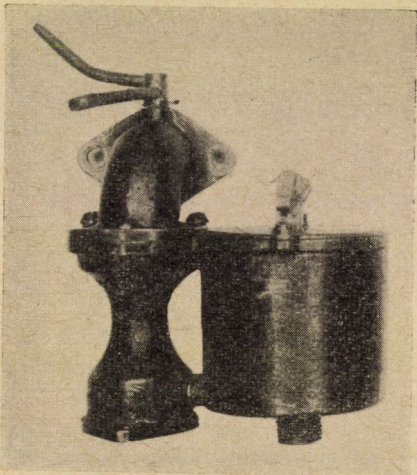


15. ábra. A Bánki—Csonka-féle benzinporlasztó fejlődése

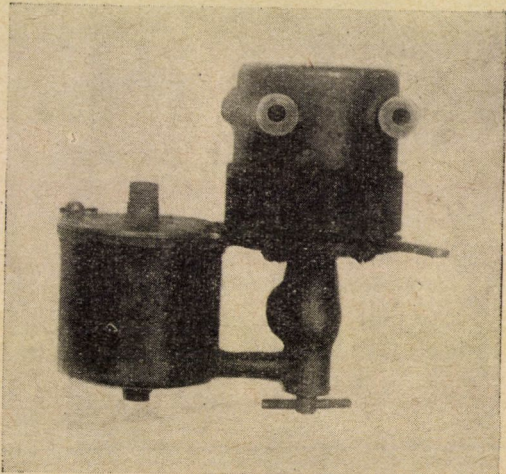




16. ábra. A Bánki—Csonka-féle benzinporlasztó fejlődése



17. ábra. A Bánki—Csonka-féle benzinporlasztó fejlődése



18. ábra. A Bánki—Csonka-féle benzinporlasztó fejlődése

tást rendezett, s korabeli dokumentumokkal igazolta BÁNKI Donát és CSONKA János elsőbbségét.

### 11. Az automatikus csőgyújtó

A Bánki—Csonka motor másik jellegzetes alkatrésze az *automatikus csőgyújtó* volt. Ennek a szerkezetnek kísérleteit BÁNKI és CSONKA a végleges típusú Bánki—Csonka motor harmadik példányán végeztek, s a későbbi motoraikon már ezt a gyújtószerkezetet alkalmazták.

Az automatikus csőgyújtás jelentőségét akkor értjük meg, ha figyelembe vesszük a lánggyújtással járó tűzveszélyt. Lánggyújtás esetében a motor egész üzemideje alatt nyílt láng lobogott a hengerfejnél, ami veszélyes volt, s állandó felügyeletet kívánt.

A lánggyújtással szemben az automatikus csőgyújtó — az ún. „ön-gyújtó” — zárt és kellőképp hőszigetelt rézcső volt, melyet a motor beindítása előtt 5 percig petróleumlánggal kellett hevíteni. Ettől kezdve a láng eltávolítható volt, mert a továbbiakban a gyújtócsövet a robbanások melege már önmagában véve is állandóan izzásban tartotta.

Az automatikus csőgyújtót BÁNKI 1894-ben megjelent tanulmányában már részletesen leírja, de azt a feltalálók, BÁNKI és CSONKA csak 1896. április 25-én szabadalmaztatták. Találmányukra később az Egyesült Államokban is szabadalmat szereztek.

Az automatikus csőgyújtás megszerkesztése annak idején nagyon figyelemre méltó újítás volt ugyan, de jelentőségét az elektromos gyújtás kifejlesztésével rövidesen elvesztette. 1900-ban CSONKA maga is az elektromos gyújtás alkalmazására tért át, bár egyes motorokon az öngyújtót egészen 1903-ig használta.

### 14. Kisminták, anyagvizsgáló gépek

CSONKA a műegyetem tanműhelyében a különféle motorok előállításával egyidejűleg a műegyetemi tanszékek részére számos *gépmodell* és kísérleti berendezést is készített. Mint ilyeneket, külön is meg kell említeni a műegyetemi oktatás céljait szolgáló, a műegyetem folyosóin kiállított gőzgépmodelleket, valamint a Közlekedési Múzeum részére készített egyes kismintákat.

CSONKA készítette egyébként az 1896. évi milleniumi kiállítás területén üzembe helyezett kisvasút *gőzmozdonyát* is.

A műegyetemi tanszékek és egyes anyagvizsgáló intézetek számára CSONKA számos *anyagvizsgáló gépet* gyártott, mégpedig mindenkor saját tervei szerint. Ezek kalibráló és ellenőrző műszereit szintén ő maga készítette.

Számos anyagvizsgáló gépet készített más intézetek és laboratóriumok részére is, így többek között a Mértékhitelítő Intézetnek, a MÁV labora-

tóriumoknak és több cementgyárnak. Ezek a gépek a maguk idejében legalábbis oly tökéletesek voltak, mint a külföldről szállítottak.

Külön is meg kell emlékeznünk azokról a *papír- és szövetszakító gépekről*, melyeket CSONKA főnökével, REJTŐ Sándor műegyetemi tanárral együtt konstruált. Ezek az eredetileg Rejtő—Csonka—Kraft (Máté) néven említett (később röviden már csak Rejtő-féle szakítógépnek nevezett) gépek pontosságuk és főleg diagramrajzoló szerkezetük elmés megoldása folytán voltak híresek. Efféle szakítógépet CSONKA nagy számban készített különféle hazai gyárak és anyagvizsgáló intézetek számára, de néhányat külföldi laboratóriumok részére is. Az első papirosszakítógép készítése időpontja ismeretlen, de kétségtelen, hogy ez a gép 1888 után (ekkor lett REJTŐ műegyetemi tanár), de 1893 előtt készült (ekkor ti. jelent meg REJTŐ-nek a papirossvizgálatra vonatkozó ismertetése, amelyben a szakítógépre már utalás történik).

### 15. Motoros triciklik

BÁNKI és CSONKA együttműködése 1896-ban meglazul, 1898-ban pedig ténylegesen meg is szűnik. Ekkor BÁNKI figyelme az általa feltalált vízbefecskendezéses motorok tökéletesítésére irányul, CSONKA figyelme pedig egyre inkább a motoros járművekre terelődik.

CSONKÁnak motoros járművek előállítására irányuló első próbálkozásai még a BÁNKIVAL közös munkálkodás időszakába nyúlnak vissza. Mint ismeretes, BÁNKI és CSONKA már 1893-ban kísérletet végeznek postai levélgyűjtésre alkalmas segédmotoros bicikli előállítására. Evégett egy közönséges, lábbal hajtott kerékpárt motorral szerelnek fel. E gép sorsáról semmit sem tudunk, ismeretes azonban, hogy a következő évben BÁNKI szerkeszt kéthengeres motorral felszerelt fakerekes motorkerékpárt.

A motoros járművek gyártására vonatkozó kezdeti próbálkozások után az 1900-as esztendő komoly fordulatot hozott. Ekkor ti. a posta versenytárgyalást hirdetett 22 db *háromkerekű motoros jármű* szállítására. A posta két fiatal mérnöke, KOLOSSVÁRY Endre és HALTENBERGER Samu már évek óta tanulmányozták motoros járműveknek a posta céljaira való alkalmazási lehetőségeit, s az ő javaslatuk alapján írta ki a posta a szóban forgó versenytárgyalást.

A versenytárgyaláson a „Velodrom Automobilgarage” 19 db háromkerekű, s 1 db négykerekű jármű szállítására kapott megbízást, két darab háromkerekű járműre pedig a „Ganz és Társa” gépgyár. A Velodrom Automobilgarage Peugeot-gyártmányú autót és De Dion et Bouton-rendszerű, külföldön gyártott alkatrészekből előállított három kerekű járműveket szállított, a Ganz-gyár viszont CSONKA János által konstruált magyar tricikliket (19. ábra). Az új járműveket 1900. évi november hó 19-én használták első ízben.



A Csonka-féle háromkerekű levélgyűjtő villamos megszakító gyújtással és önműködő szívószeleppel készültek. A hátsó kerekek hajtása nem láncsal, hanem fogaskerékmű közbeiktatásával közvetlenül történt. A motorokon nem volt sebességváltó és tengelykapcsoló. A sebesség szabályozását és az indítás megkönnyítését dekompresszor tette lehetővé. A jármű minden megállása alkalmával a motort is meg kellett állítani, majd induláskor újra meg



19. ábra. Csonka-féle levélgyűjtő tricikli (1900)

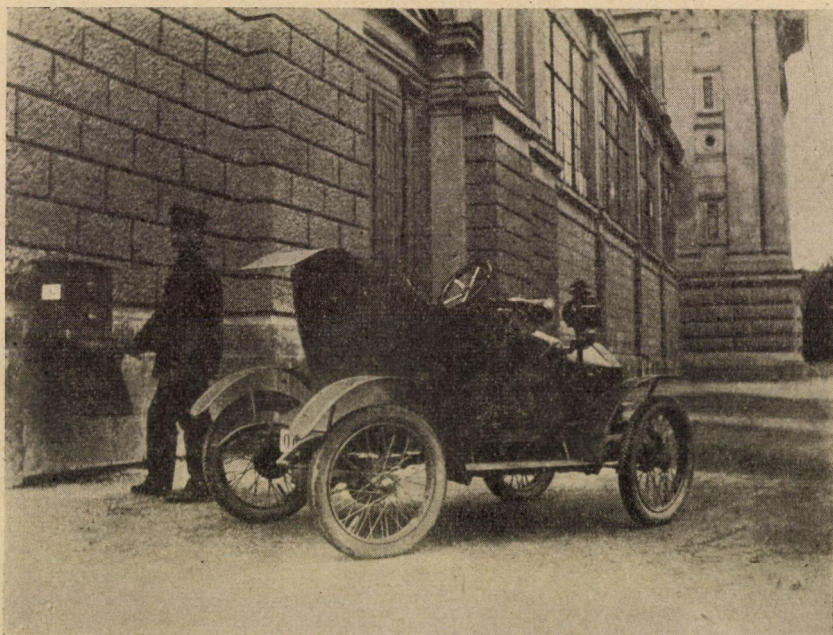
kellett indítani. Maga az indítás taposó szerkezettel történt. Ennek mozgatása meglehetősen fárasztó művelet volt, mert nemcsak a motort, hanem azzal egyidejűleg magát a járművet is mozgásba kellett hozni. Mint érdekesség, említésre méltó, hogy *e tricikli motorokon került Magyarországon először az alumínium mint szerkezeti anyag, alkalmazásra.*

Az indításkor jellegzetes sziszegő hangot adó Csonka-féle triciklik némi átalakítással két évtizeden át teljesítettek Budapesten levélgyűjtő szolgálatot. Mintájukra a posta számos hasonló járművet készített. Ezek egyike az 1906. évi londoni kiállításon is bemutatásra került.



## 16. Az első postautók

A magyar posta a két- és háromkerekű motorosjárművekkel való kísérletezéssel egyidőben már négykerekű járművekkel is végzett kísérleteket, s e kísérletekbe már kezdettől fogva bekapcsolta CSONKA Jánost is, kivel különféle négykerekű kísérleti járműveket is készíttetett. Ezek a kísérletek a később kialakítandó kocsitípusokkal szemben támasztható követelményeket kívánták tisztázni.



20. ábra. Csonka-féle kísérleti levélgyűjtő kocs (1901)

Az említett kocsik szerkezetéről, valamint a velük végzett kísérletek eredményeiről nem maradt fenn feljegyzés. Valószínűnek látszik azonban, hogy CSONKA ezeket a kocsikat maga is csak kísérleti példányoknak tekintette, s motoraikat a kísérlet után más célra értékesítette. Az egyik ilyen motort LÓCZY Lajos geológus egyetemi tanárnak, a híres Balaton-kutatónak adta el, aki azt motoresónakba szerelte be. Ez volt az *első magyar motorcsónak*.

Megjegyzendő, hogy ezekben az években a posta megbízásából BÁNKI DONÁT is szerkesztett autót. Ezen első kerékajtású, egészen újszerű szerkezetű kocsikéthengeres, léghűtéses motorát szintén CSONKA JÁNOS készítette. Az említett kocsival a posta 1901 április—május folyamán végzett kísérle-

teket, azonban a kocsi futószerkezete nem váltotta be a hozzáfűzött reményeket. Ugyanezen évben, amint az a BÁNKIVAL való elszámolásból kitűnik, CSONKA még három automobilmotort szállított BÁNKINAK.

CSONKA 1902-ben is hozzákezdett néhány kéthengeres, vízhűtéses kocsi készítéséhez. Akkortájt azonban az automobil szerkezete oly rohamosan fejlődött, hogy amire a kocsik elkészültek, CSONKA rájött arra, hogy ezeknél jóval különb kocsikat lehet gyártani. A kocsikat nem is hozta forgalomba, alkatrészeit — a motort kivéve — összetörette. Magukat a motorokat a Köhler-féle tűzoltószer gyárnak adta el, melyekkel a gyár meglevő tűzoltó fecskendőit szerelte össze. Ezek voltak az *első magyar tűzoltó motorok*.

Az éveken át folyó kísérletezés után 1904-ben a posta döntő lépésre határozta el magát: nemzetközi versenytárgyalást írt ki 8 db 12—14 LE-s *csomagszállító gépkocsi* szállítására.

A versenytárgyalás során 1904. február 13-án nyolc pályázó nyújtotta be ajánlatát, köztük két magyar cég: a Magyar Waggon- és Gépgyár RT (Győr) és RÖCK István. E két utóbbi cég CSONKA János tervei szerint készített kocsik szállítására tett ajánlatot. A versenytárgyaláson a cégeknek a szállítandó kocsikról terveket kellett bemutatniuk. Ezek átvizsgálása alapján kitűnt, hogy a két magyar cég részéről ajánlott Csonka-féle kocsik a legmegfelelőbbek. Ennek folytán a posta mindkét cégnél 4—4 Csonka-féle kocsit rendelt meg.

Mivel a nevezett gyárak ebben az időben precíziós munkához nem voltak berendezkedve, a szóban forgó kocsik hajtószerkezetét CSONKA készítette, az öntvényeket RÖCK István szállította. A motor négyütemű, négyhengeres, vízhűtéses volt és Bosch-féle nagyfeszültségű gyertyagyújtással volt felszerelve. A hengerek 90 mm-es furattal és 100 mm-es lökettel készültek és kettesével egy-egy tömbbe voltak összefogva. Az egyes tömbök a Röck-gyár teljesítőképességéhez igazodva nem egy darabból, hanem két féldarabból készültek és csavarokkal voltak erősítve. A motor szívószelepei — lassújárátú motorokról lévén szó — automatikusak voltak. A kocsinak volt differenciálműve, amely soroskapcsolású (3+1) sebességváltóhoz volt szerelve. Innét a hajtás két-két lánckerékkel történt. Ahol csak lehetett, golyós csapágyazás készült (21. ábra).

A nagyfeszültségű villamosgyújtás alkalmazása annak idején nagy felűnést keltett. CSONKA ui. a legelsők közé tartozott, aki a régi leszakító, kalapácsos gyújtásról erre az újfajta gyújtásmódra tért át. Merészségét annak idején BLÁTHY Otto Titusz, a transzformátor feltalálója is kétkedéssel fogadta, de az idők CSONKÁT igazolták. A nagyfeszültségű villamos gyújtással végzett kísérletei révén baráti kapcsolatba került BOSCH Róberttel, aki két ízben meg is látogatta, s örömmel fogadta CSONKA baráti megjegyzéseit és tanácsait. BOSCH Róberttel a későbbiekben is szoros kapcsolatot tartott fenn.

CSONKA kocsijának tervezése során nem külföldi mintaképek után indult el, hanem teljesen önálló utakon haladt. Kocsiján, de főleg annak motorán



több olyan újítást vezetett be, melyek azóta világszerte általánosan elfogadottak. Így érdekes megemlíteni, hogy motorjait CSONKA már kezdettől fogva feltűnően rövid lökettel készítette, s ezzel több mint félévszázaddal előzte meg a jelenleg tapasztalható fejlődést. Munkájában segítséget jelentett számára sokéves motorépítő gyakorlata, helyes ítélőképessége, szerkezeti és arányérzéke. Ezeknek és józan önmérsékletének tudható be, hogy az 1904-es típusú kocsijai még mai szemmel nézve is »modern« benyomást keltenek, s e tekintetben merőben eltérnek a velük egykorú egyéb kocsiktól.



21. ábra. 2 m<sup>3</sup>-es Csonka-féle postai csomagszállító kocs (1904)

Az első postaautó az 1905. év májusában készült el. Ekkor a posta a kocsit az éppen akkor megnyílt autókiállításon bemutatta, majd próbaútra küldte. Szerződés szerint a postakocsik mindegyikének 500—500 km próbaútat kellett volna futnia. Ezt a rendelkezést a kereskedelemügyi miniszter 1905. május 30-án oda módosította, hogy az első gépkocsit nem 500, hanem 2000 km-es úton kell kipróbálni. Az e célra kijelölt kocsit 1905. május 31-én gördült ki a Műegyetem udvaráról. A próbaút június 9-ig tartott. A kocsit HALTENBERGER Samu, akkor postafőmérnök, a Budapesti Autotaxi Vállalat későbbi vezérigazgatója vezette, s a próbaúton CSONKA Jánoson kívül CIM-PONERIU Dénes postamérnök is részt vett. A próba nehéz terepen és több olyan útszakaszon történt, melyeken előzőleg még nem közlekedett gépkocsi.



Ennek ellenére a próbaút kifogástalanul sikerült. A kocsi átlagos sebessége 26 km, maximális sebessége 35 km volt.

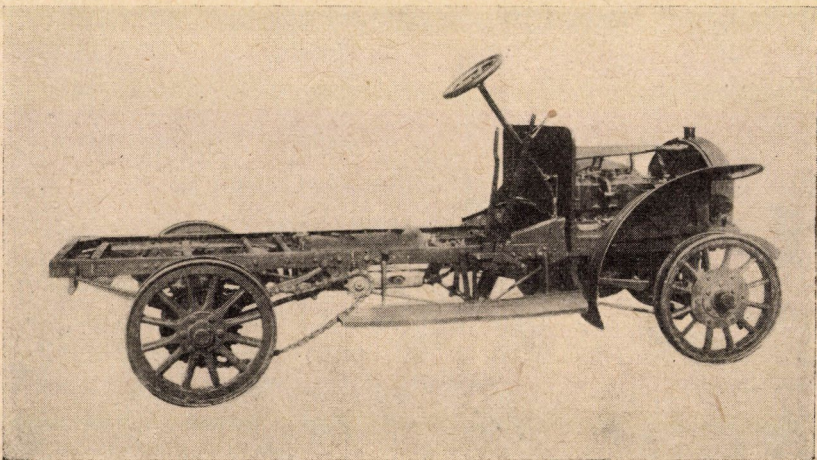
Az első kocsi átvétele 1905. június 14-én, használatba vétele pedig 1906. január 15-én történt. Az átvételi bizottság megállapította, hogy a kocsihoz felhasznált anyagok tisztán hazai eredetűek, mindössze a golyóscsapágyak, a mágneses gyűjtőkészülék, a hajtólánc és a „méhkashűtő” külföldiek.

Nem lesz érdektelen felhívni a figyelmet arra, hogy a magyar postának a levél- és a csomagszállítás motorosítására való törekvései messze megelőzték a külföldet. Így pl. Svájc csak 1906-ban, Ausztria csak 1907-ben tesznek ez irányban megfelelő lépéseket. Ezek az országok mégis bélyegsorozaton örökítették meg első postai járműveiket. Indokolt lenne, hogy a magyar posta is, mely nemzetközi viszonylatban e téren úttörő volt, megfelelő levélbélyegsorozaton örökítse meg kezdeményező lépését.

### 17. Személy- és csomagszállító autók

Az első postautók rendelését sorozatos újabb rendelések követték. Így 1906-ban 16 db, 1908-ban 38 db, 1910-ben 31 db, 1911-ben 6 db csomagszállító autó került rendelésre CSONKA tervei szerint (22. ábra). Ezek hajtószerkezetét részben maga CSONKA, részben az általa szállított mintakocsi alapján a Magyar Waggon- és Gépgyár R. T. győri cég készítette. CSONKA hétről hétre Győrbe utazott és személyesen irányította a gyártást. Ezzel mintegy megalapozója lett a későbbi Rába autógyárnak.

Meg kell jegyezni, hogy CSONKA évről évre komoly áldozatok árán tökéletesítette kocsijait. Az 1904-es típusú, aránylag lassújárású gépekkel



22. ábra. A 3 m<sup>3</sup>-es Csonka-féle postai csomagszállító kocsi alváza (1908)

szemben az 1908-as típus lényegesen gyorsabb járású, s ennek megfelelően, vezérelt szeleppel készült. Ezeknek a motoroknak két vezértengelyük volt, egy a kipufogó-, egy a szívószelepek mozgatására. Hengereik párosával közös tömbbe voltak öntve és T-alakú kompresszióterrel bírtak. A sebességváltó kulisszarendszerű megoldással készült, a differenciálmű a sebességváltóval közös alumíniumházban volt elhelyezve.

A csomagszállító teherautókon kívül CSONKA egyéb kocsikat is készített. Ezek közül külön is megemlítendő az Autoklub elnöke, Zichy Béla Rezső részére készített kocsí, melynek főtengelye kísérletképpen golyós csapágyazású volt. Ez a kocsí később Budapest Székesfőváros polgármesterének, majd a tűzoltó főparancsnokság tulajdonába került, utóbb pedig motora Újpest városában tűzoltó szivattyút hajtott. Innen 35 évi szolgálat után a motor a CSONKA János Gépgyára R. T. házi múzeumába került.

Magánrendelésre készült a pécsi Zsolnay-cég részére gyártott 24—28 LE-s négyhengeres, lánchajtásos autó is (1906).

Megemlítendő a CSONKA által 1908-ban a posta részére szállított 4 hengeres 25 LE-s kábelmérő és személygépkocsí is. Ennek hengerei 112 mm-es furattal, 130 mm-es lökettel készültek. A kocsí hajtószerkezetét CSONKA János, alvázat RÖCK István, kocsiszekrényét a posta mérnökeinek irányításával GLATTFELDER Jakab kocsigyáros készítette. Egykori megállapítás szerint ez a kocsí annak idején Budapest legszebb kocsija volt.

Említést érdemel az a két 16 LE-s személyszállító kocsí is, melyeket 1908-ban rendelt a posta a Röck-gyártól. Ezeket szintén CSONKA tervezte, s ő készítette azok hajtószerkezetét is. A szóban forgó kocsik részt vettek az 1909. évi Prinz Heinrich Fahrton. Az egyiket ifj. RÖCK István, a másikat HALTENBERGER Samu vezette. RÖCK István kocsija a versenyt hibapont nélkül futotta be, s mint ilyen, helyezést és emlékplakettet nyert. A másik kocsí 10 lépéssel a budapesti cél előtt mágneshiba miatt kiesett a versenyből, de egyébként a hosszú utat hibapont nélkül tette meg. Nagy jelentőségű volt a magyar ipar önbizalmának felkeltése szempontjából, hogy CSONKA kis műhelyében egyenként gyártott ezen kocsik a versenyen szembekerültek a világ legnagyobb gyárainak akkor már sorozatban gyártott kocsijaival, és így megbízhatóságukról ország-világ előtt tanúságot tettek.

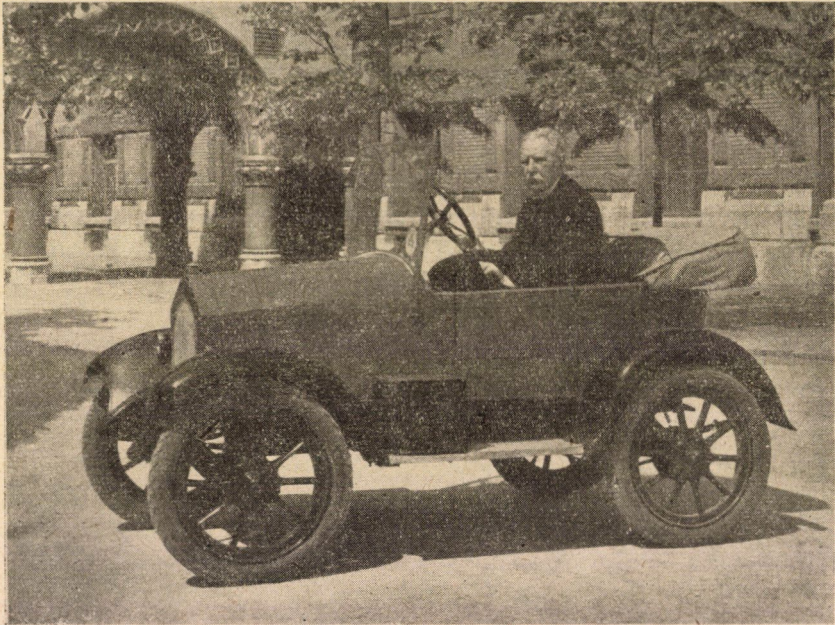
A szép siker után — mely beigazolta a magyar autógyártásnak a külföldivel szemben való egyenértékűségét — felmerült az Autoklubban magyar automobilgyár létesítésének terve. A kezdetben meglévő nagy lelkesedés azonban — midőn áldozatkészségre került volna sor —, hamar lelohadt. Nem érdektelen felemlíteni, hogy a klub elnöke — egy nagy hitbizomány élvezője —, e célra mindössze tizedrész akkora összeget ajánlott fel, mint a szegedi kis kovácsmester fia: CSONKA János. Így azután az autógyár — a magyar ipar nagy kárára — nem valósulhatott meg, pedig abban az időben a külföldi autóiparnak még versenyképes ellenfele lehetett volna.



Végül pár szót a posta részére CSONKA tervei szerint gyártott 10 db 16 LE-s kombinált személy- és csomagszállító kocsiról, melynek hajtószerkezetét szintén CSONKA készítette. E kocsik — az első magyar autóbuszok — 1910. augusztus 1-én kezdték meg rendszeres járásukat Károlyváros és Plitvicza között.

### 18. Kisautók

CSONKA János, miután bebizonyította, hogy kocsijai minőségben és szerkezetben sem maradnak el a külföldiek mögött, kiskocsit óhajtott szerkeszteni, melyhez magánosok is könnyűszerrel hozzájuthatnak. Ebből



23. ábra. Csonka-féle egyhengeres kiskocsí (1909)

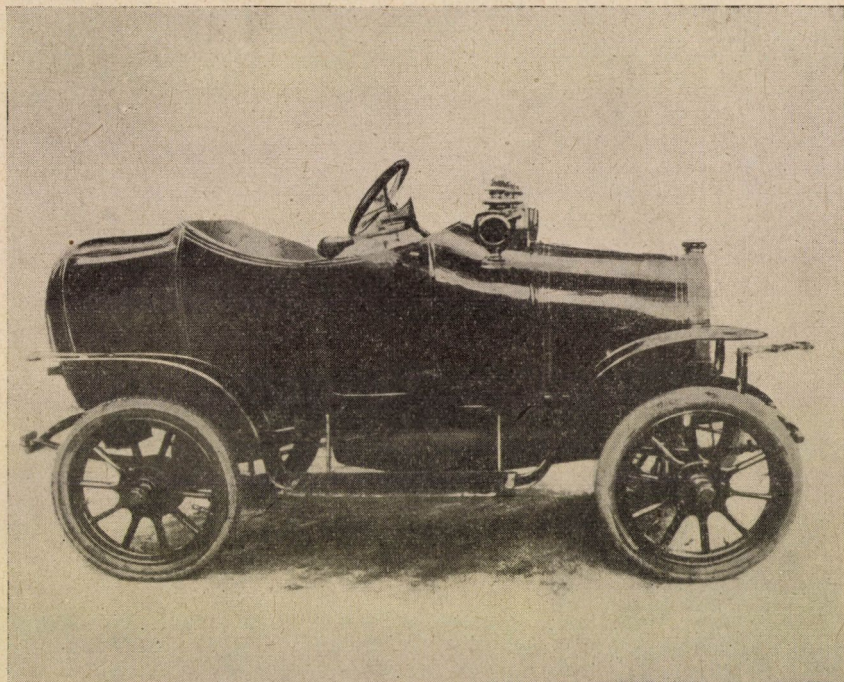
a célból 1909-ben 4 LE-s, egyhengeres kiskocsit tervezett, s a tervek alapján három kiskocsit el is készített (23. ábra). E kocsiknak nemcsak a hajtószerkezetét, de alvázat és kocsiszekrényét is teljes egészében saját maga állította elő.

A kocsik elkészülvén, azok egyikét a posta, a másik kettőt pedig a Budapesti Közúti Villamos Társaság vette meg. Ezek a kiskocsik, melyeket két erős ember fel tudott emelni, valóságos gyöngyszemei voltak a Csonka-autók sorozatának. A henger furata 90 mm, lökete 100 mm volt. A kocsikat termo-



szifon-hűtés, az egy tömbbe szerelt motor és sebességváltó, valamint kardánhajtás jellemezte. Ezek voltak az első kardános kocsik Magyarországon. A kocsik egyike 1941-ben — üzemképes állapotban — a Csonka-gépgyár múzeumába került, de az ostrom során megsérült. Egy másik, a posta részéről vásárolt kiskocsit jelenleg a Közlekedési Múzeum őriz.

Az egyhengeres kiskocsin szerzett tapasztalatok alapján CSONKA 1910-ben 8 LE-s, 4 hengeres kiskocsit tervezett, vízhűtéses motorral (24. és 25. ábra).



24. ábra. Csonka-féle négyhengeres kiskocsi (1911)

E világviszonylatban is első korszerű kiskocsik motorja, tengelykapcsolója, sebességváltója és fékje közös tömbbe volt összeszerelve (26. és 27. ábra). Ez a tömb a vázon három ponton feküdt. A négy henger közös öntvénybe volt összefogva. A henger furata 60 mm, löketük 100 mm volt. A porlasztó már teljesen kiforrott szerkezettel készült.

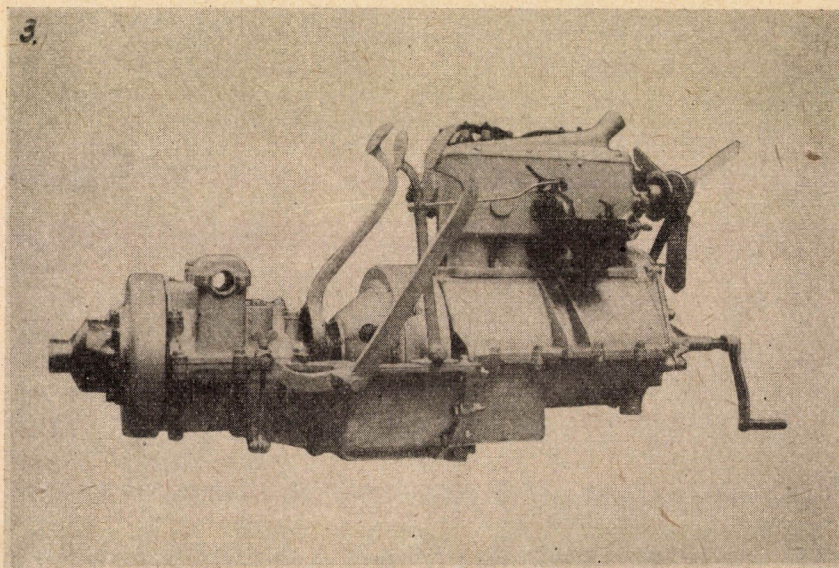
Az új — 1912-es típusúnak nevezett — Csonka-féle kiskocsikból 12 db-ot a posta, 1—1 db-ot pedig BENÁRD Ágoston orvos és a Magyar Általános Gépgyár R. T. vett meg.

BENÁRD Ágoston a részére vásárolt kocsival részt vett az 1912. évi Nemzetközi Kiskocsiversenyen. Övé volt a verseny legkisebb úrtartalmú, legkönnyebb



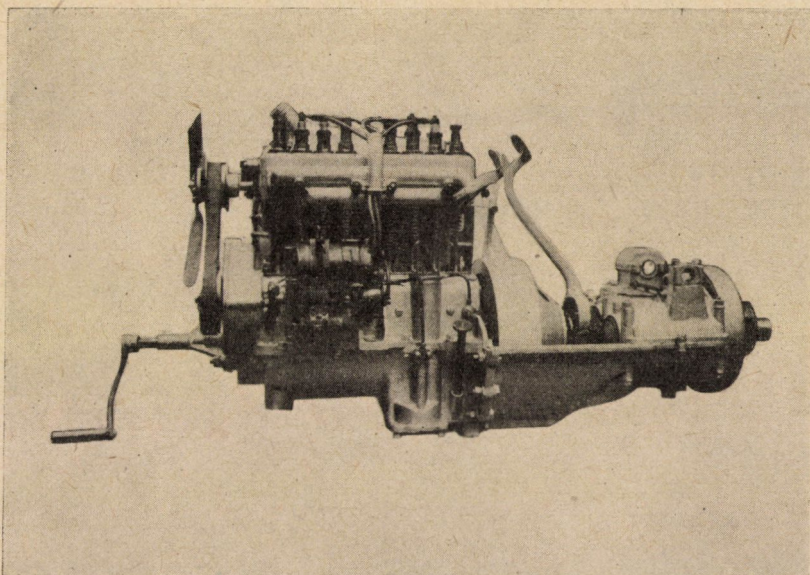


25. ábra. A Csonka-féle négyhengeres kiskocsi alváza (1911)



26. ábra. A Csonka-féle négyhengeres kiskocsi motorja (1911)





27. ábra. A Csonka-féle négyhengeres kiskocsi motorja (1911)



28. ábra. Csonka-féle kocsik a veterán autók túráján (1935)

kocsija. A nehéz hegyi terepen a kocsi kitűnőnek bizonyult, s mint ilyen, általános feltűnést keltett.

A kiskocsiverseny eredményeként CSONKA rajzait egy kanadai gyár megvásárolta, a magyar posta pedig elhatározta, hogy 50 db ilyenfajta kocsit rendel levélgyűjtési célokra. Az e célra tartott versenytárgyaláson

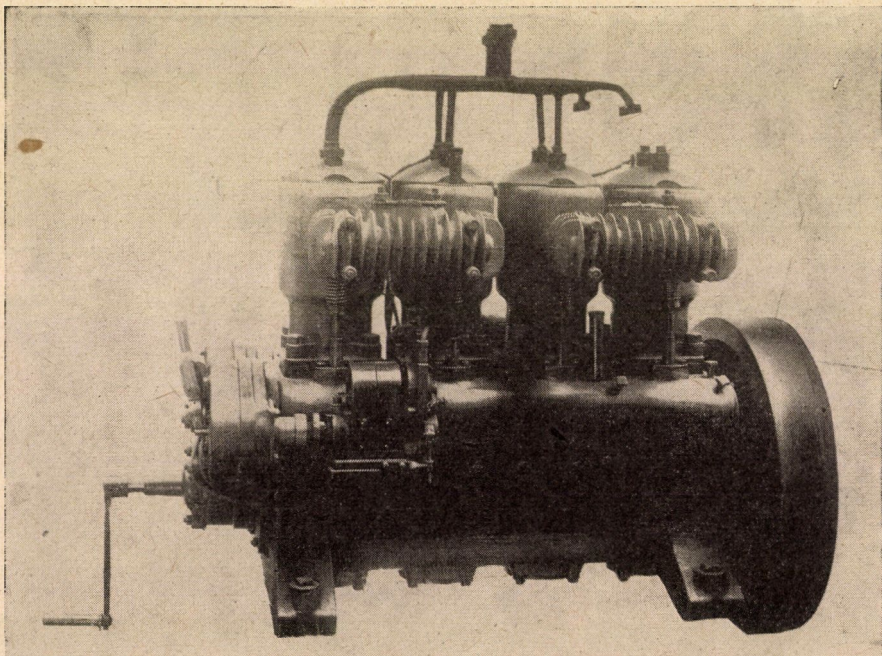


a megbízást a Magyar Általános Gépgyár kapta meg. A gyár — megvásárolván CSONKÁTÓL a terveket, — a kocsik hajtószerkezetét el is készítette, de ezek már nem kerültek felhasználásra, mert 1914-ben a hadrakelt sereg a kész motorokat katonai célokra lefoglalta.

A Csonka-féle kiskocsik — a többi postautóhoz hasonlóan, — igen szolid kivitelben készültek, s évtizedek múlva is még forgalomban voltak. A veterán autók 1935. évi versenyén 5 különböző típusú Csonka autó hirdette mesterének, CSONKA Jánosnak kiváló szerkesztői készségét (28. ábra).

### 19. Motoros aggregátumok

CSONKA a postautók készítésével egyidőben különféle célra szolgáló motoros aggregátumokat is tervezett és készített. Így többek közt az ő tervei szerint készült 3 db 40 HP stabilmotor a posta püspökladányi telítőtelepe részére (1906). E motorok főtengelye öt golyócsapágyra volt ágyazva. A motorok kísérletképpen, teljesítménynövelés céljából, kompresszorral is fel voltak szerelve. Talán ezek voltak a világ első kompresszoros motorai (29. ábra). Rajtuk kívül készült még 1 db 28 HP benzínmotoros aggregátum



29. ábra. A püspökladányi telítőtelep Csonka-féle motorja (1906)

a fiumei, illetve adriai drótnélküli távírókísérletekhez, 1 db 40 HP aggregátum pedig a szófiai drótnélküli távíróállomás céljaira.

Megemlítendő a CSONKA által a petrozsényi szénbánya csilleventató mozdonyai részére készített 6 db 24 HP benzinmotor is.

A fent felsorolt motorok az elérni kívánt célnak megfelelően különféle szerkezettel készültek. Csupán abban egyeztek meg mindannyian, hogy feltűnően csekély volt a benzinfogyasztásuk, továbbá tartós, pontos és szakszerű a kivitelük. Ez utóbbi tulajdonságuk tette lehetővé, hogy ezek a motorok évtizedekkel munkábaállításuk után is még kifogástalanul működtek.

A fenti motorokon kívül CSONKA 4 db kéthengeres 10 LE-s motort készített KÖHLER István kőbányai szivattyúgyára részére automatikus szívószelepekkel, golyóscsapágyazású főtengellyel (1909). A hengerek furata 102 mm, lökete 130 mm volt. Ezeket a motorokat a gyár tűzifecskendőkkel szerelte össze.

## 20. Távozás a műegyetemi tanműhelyből

A műegyetemi tanműhely CSONKA vezetése alatt — a hallgatóság létszámának növekedésével lépést tartva, — egyre bővült és a műegyetemi hallgatóság gyakorlati kiképzésének fontos tényezőjévé fejlődött. Ez az intézmény tette lehetővé, hogy a műegyetemi hallgatóság már az egyetemi évek alatt közvetlen bepillantást kapjon a modern precíziós gépgyártás fogásaiiba, és szabadon tanulmányozhassa a műhelyben előállított különféle gépszerkezeteket készítés és szerelés közben.

Bármily előnyös volt is azonban a műegyetemi tanműhely sok irányú működése a műegyetemi oktatás szempontjából, a vezető gépgyárak nem tekintették jó szemmel CSONKA munkásságát. CSONKÁban csak a konkurrenst látták, s kifogást emeltek ipari tevékenysége ellen. CSONKA ezért 1912-ben a műegyetemmel kötött szerződését felbontotta, s motorjának terveit a gyártás jogával együtt három nagy gyárnak (Röck István gépgyárának, a Magyar Általános Gépgyárnak, valamint a Magyar Waggon- és Gépgyárnak) adta át.

CSONKA főnökének, REJTŐ Sándornak nyugalomba vonulásával egyidejűen 1924. június 30-án vonult nyugalomba, de munkakörét még 1925. január végéig továbbra is ellátta. Távozásakor a Műegyetem tanácsától elbúcsúzván, többek közt ezeket írta :

„Távozásom küszöbén mély megilletődéssel tekintek vissza azon megtisztelő bizalomra, mely működésem egész ideje alatt a t. Tanács részéről velem szemben megnyilvánult, mely ez intézetnek hajdani szerény kereteiből a mai hatalmas intézménnyé való kifejlődését az intézet kötelékén belül megérni számomra lehetővé tette, és sokszorosan hálás vagyok azon reám kitüntető felhívásért, mellyel mélt. SCHIMANEK Emil rektor úr megtisztelt, amidőn hivatali állásom továbbvitelére szólított fel.”



„Mikor mindennek dacára más irányú elfoglaltságom sajnálattal arra kényszerít, hogy a t. Tanácstól felmentésem kérjem, teszem azt azon tiszteletteljes reményben, hogy jóindulatú sz. támogatását a jövőben is megtarthatom.”

## 21. Gyáralapítás, újabb szabadalmak

CSONKA nyugalomba vonulása előtt a műegyetem tanműhelyében öt kis szerszámgépet készített magának: egy esztergapadot, egy maró-, egy fúró-, egy fűrész és egy gyalugépet. Ezeknek a gépeknek a birtokában 1924. év végén — 73 éves korában — kis gépműhelyt rendezett be Budapesten a XI. Bartók Béla út 31. sz. bérház alagsorában minden anyagi tőke nélkül, de annál nagyobb erkölcsi tőkével.

CSONKA János, aki a jó kedvvel végzett szüntelen alkotó munkában testi-lelki frissességét épen megőrizte, fiatalos lendülettel kezdett ismét munkához. A kis műhely, melynek munkásai a szegedi hagyományoknak megfelelően kezdetben CSONKA fiai voltak, pontos és szakszerű munkájával hamar közismertté lett, és gyors fejlődésnek indult. A kis javítóműhely rövidesen áttért motoralkatrészek gyártására, majd 1925-től kezdve visszatért CSONKA hagyományos munkaterületéhez: a motorgyártáshoz.

CSONKA még a BÁNKI részére készített kéthengeres „boxer”-motor készítése kapcsán megismerte azokat az előnyöket, amelyeket ez az elrendezés a gyakorlatban jelentett. Csak ezeknek a motoroknak rázásmentes, kiegyensúlyozott szerkezete tette lehetővé, hogy azokat BÁNKI a budapesti lóvasúrozoga kocsijainak hajtására felhasználhatta. Ennek nyomán elindulva CSONKA kéthengeres csónak-külmotort tervezett, amely sok tekintetben mintájául szolgált a későbbi rohamcsónak-motoroknak. Ezt követőleg ugyancsak szembenfekvő elrendezésű, úgynevezett „boxer”-motorokat készített a MÁV vasúti hajtányai részére. Később léghűtéses, majd vízhűtéses, gyorsjárású boxer-motorokat szerkesztett hordozható áramfejlesztő gépek hajtására. Utóbbiak rádiótechnikai és üzemi célokra termeltek áramot, vagy láncfűrész, szerszámgépet, kompresszort, tűzoltó szivattyút hajtottak.

A különféle új motorfajták tervezése és gyártása új meg új feladatokat jelentett, s nem egy elmés, új szerkezet kialakítására vezetett. Ebből az időből származik CSONKA utolsó három szabadalma is, melyek jelentősen hozzájárultak a gyárban készített motorok sikeréhez.

## 22. Az utolsó évek. Halála

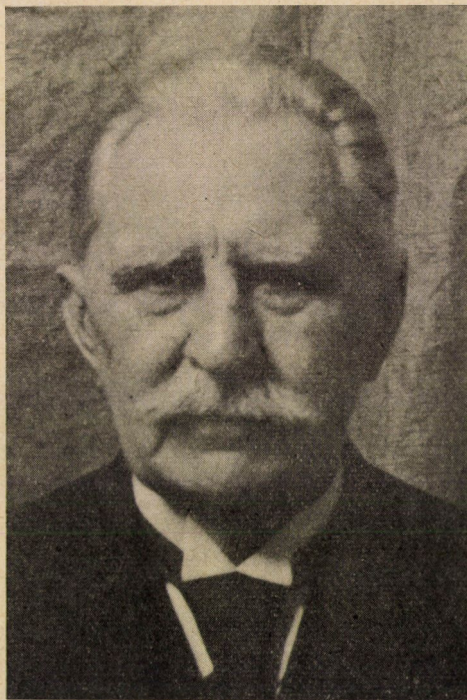
CSONKA János öreg napjaiban (30. ábra) is állandóan, serényen dolgozott. Talán ennek köszönhető, hogy szellemi és testi rugékonyságát hosszú élete végéig épen megőrizte.

1934 tavaszán — 83 éves korában — súlyos műtéten esett át. Ebből

szerencsésen felépülvén, ismét szorgalmasan folytatta munkáját. Ekkor jelentette be utolsó szabadalmát.

Az utolsó években is példásan tevékeny volt. Nap-nap után délelőtt is, délután is megjelent kis gyárában, magyarázott, bírált, oktatott. Ott-hon sem pihent. Késő estig rajzolt, szerkesztett.

88 éves korában, még a második világháború kitörése előtt, kapott megbízást a török kormánytól egészen könnyű — hátizsákban hordozható —



30. ábra. CSONKA JÁNOS arcképe (1935)

kis négyütemű benzinmotorok készítésére. Fiatalosan, teljes szellemi frissességben ült ismét rajzasztala mellé, és vetette papírra elgondolásait. Ezen gépecske terveit azonban már nem tudta befejezni. Hirtelen rátört betegsége miatt a rajztábla mellől ment kórházba, ahol két héttel később, 1939. október 27-én, 88 éves korában elhunyt. Motorterveit a később tragikus körülmények közt elhalt kedves tanítványa, TOPERCZER Pál főmérnök fejezte be.

### 23. Méltatása

CSONKA János életét és munkásságát ismertetve, nem mulaszthatjuk el, hogy röviden meg ne emlékezzünk sikereinek titkáról és munkásságának jelentőségéről.

Mint az előzőekből kitűnt, CSONKA alapvető szakmai ismereteit és szakmájának szeretetét apja szegedi műhelyéből hozta magával. Tudását, műveltségét, nyelvismereteit nem iskolában sajátította el, hanem szívós munkával, lankadatlan szorgalommal, önképzés útján.

Ifjú kora óta önmaga kereste meg kenyerét. Tanulmányútjának, kísérleteinek költségét sok nélkülözés közben maga teremtette elő. Ha műszerre, szerszámra volt szüksége, azt rendszerint maga állította elő. Így ő maga készítette el logarlécét, maga gravírozta annak osztásait. Gőzgép indikátorát is maga szerkesztette.

Műhelyben növe fel, kitűnően ismerte a szerkezeti anyagok tulajdonságait. Mestere volt a hegesztésnek és a hőkezelésnek. Minden szerkezetét az arra legalkalmasabb anyagból, ha kellett nikkeltől, vagy rézből állította elő. Úttörő volt hazánkban az alumíniumöntés meghonosítása terén. A minőség, vagy tartósság rovására sohasem takarékoskodott. Ezért voltak szerkezetei szinte elpusztíthatatlanok.

Mint szerkesztő, bámulatosan leleményes volt: mindenkor megtalálta a legegyszerűbb, a legtermészetesebb megoldást. Míg mások bizonytalanságban tapogatódzva jutottak előre, ő kitűnő műszaki érzékével mindenkor tisztán látta a haladás igazi útját, s arról nem tért le. Ezért volt az, hogy a motor és automobil fejlődésének kezdő időszakában szerkesztett gépei évekkel megelőzték korukat és ma is modern gépek benyomását keltik.

Kitűnően tudott térben konstruálni. Értette módját, miként lehet komplikált szerkezeti részeket kis helyen, rendezetten elhelyezni. Megoldásait formai tökély, kiváló arányérzék és természetes egyszerűség jellemezte.

Munkássága jelentős része a belsőégésű motorok tökéletesítését célozta. Mint úttörő, ő honosította meg Magyarországon a motorok gyártását. Megmutatta, hogy egyszerű körülmények között, tökéletlenül felszerelt kis műhelyben is lehet pontos, szakszerű munkát előállítani. Ez irányú érdemeit **ORDÓDY János** ezekkel a szavakkal méltatta:

„Az alföldi színmagyar őseitől, messze földön híres vízmalomépítő, vasműves apától átöröklött technikus érzékénél fogva idejében meglátta és felismerte mind a belsőégésű motor lényegét, fejlődőképességét és jövőbeli beláthatatlan nemzetgazdasági jelentőségét, mind pedig a gépműhelyi munka tökéletesítésének szükségességét. Ő volt az első, aki rajongó lelkével, szakmájának fanatikus szeretetével, minden erejének a legvégsőkig való megfeszítésével dolgozott ezen a területen, és külföldi viszonylatokban is elvi jelentőségű újításokat hozott létre, és aki ezzel a munkájával a magyar felső technikai oktatás és a magyar gépípar szolgálatában fel sem becsülhető érdemeket szerzett.”

Nagy jelentőségű a magyar motor- és autógyártás megindítása terén kifejtett tevékenysége is. Az ő kezdeményezésén felbuzdulva, nem egyszer az ő személyes irányításával tért át több nagy hazai gyár motorok és autók gyártására. Komoly érdemei vannak a gyorsjárású kismotor gyártása és kifejlesztése terén is.

Úttörő munkát végzett az automobil-szerkesztésben nélkülözhetetlen alumíniumöntés meghonosítása terén. Az ő útmutatásával kezdtek a hazai



vállalatok alumíniumöntésre áttérni. A helyes ötvözetek és öntési eljárások kísérletezésében tevékenyen és irányítóan működött közre.

CSONKA alapító tagja volt a Magyar Automobil Clubnak, melynek választmányában és különböző bizottságaiban kezdettől fogva tevékenyen működött közre. A Club megbízásából magyar nyelvű szakszótárt szerkesztett (1907). A magyar automobilizmus érdekében kifejtett úttörő tevékenységét a Club az Andrassy-plakett adományozásával méltatta.

Évtizedeken át tagja volt különféle műszaki és tudományos egyesületeknek és tanácsoknak, köztük a Haditechnikai Tanácsnak is.

Emlékét alkotásain kívül a Műszaki Könyvtár előcsarnokában felállított mellszobra és Diósgyőr egyik utcájának névtáblái örökítik meg.

CSONKA JÁNOS munkásságának értékelését nagymértékben megkönnyíti az a körülmény, hogy a Budapesti Műszaki Egyetem Központi Könyvtára CSONKA J. életére és tevékenységére vonatkozó gazdag okmányanyaggal rendelkezik. Ezen anyagon kívül jelen tanulmány összeállításában hasznos segítségül szolgáltak a család tulajdonában levő iratok, valamint azok a tanulmányok is, melyeket CSONKA J. tisztelői bocsátottak e sorok írójának rendelkezésére. Mint ilyenek, komoly segítséget jelentettek LIPTHAY JÓZSEFnek a CSONKA-, a CSONKA—BÁNKI, illetve a BÁNKI—CSONKA-féle találmányokra vonatkozó komoly kutatásai és az ezekre vonatkozó értékes tanulmánya. A postajárművekre vonatkozó rész kidolgozásában viszont HARSÁNYI LAJOSnak, a posta ny. műszaki és forgalmi igazgatójának adatai szolgáltak zsinórmértékül. Felhasználásra kerültek fentiekben kívül OPITZ LÁSZLÓ, TERPLÁN SÁNDOR, GOMBÁS TIBOR, JÓZSA ELEMÉR, SZEMMÁRY GYÖRGY, ZOFÁHL GUSZTÁV, VAN DER LAAR FRIGYES és KARDOS JÁNOS által közölt egyes adatok is. Szíves adatszolgáltatásaikért és áldozatkész fáradozásaikért e sorok írója ezúton fejezi ki hálás köszönetét.

CSONKA JÁNOS különféle gépszerkezetei a hajdani *Csonka János Gépgyára R. T.*, a mai *Kismotor és Gépgyár* házi múzeumában voltak kiállítva. Innen ezek az emlékek a *Műszaki Emlékeket Nyilvántartó és Gyűjtő Csoport* Budapest, IX. Kinizsi utcai helyiségeibe, illetve a *Közlekedési Múzeum* (XIV. Május 1. út 26) gyűjteménytarába kerültek. Egyes emlékeket a *Posta Múzeum* (XII. Krisztina körút 6/8), a *Tűzoltó Múzeum* (X. Martinovics tér 12), egy Bánki—Csonka motort a *Műszaki Egyetem Gázgépek és Automobilok Tanszéke*, egyet pedig a *kassai Technikai Múzeum* őriz.

Felette kívánatos lenne ezeket és az egyéb helyeken még fellelhető emlékeket, a felállítandó *Magyar Technikai Múzeum* számára összegyűjtve, az utókor részére megőrizni.

## IRODALOM

1. STRAUB SÁNDOR: Gázmotorok szerkezete, kezelése és üzemköltégei. Kilián Frigyes, Budapest (1887), p. 39.
2. GAUL KÁROLY: Anyagvizsgálás. *A Pallas Nagy Lexikona* (1893), pp. 728—731.
3. BÁNKI DONÁT: Gáz- és petróleumkalapács Bánki Donát és Csonka János szabadalma. *A Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye* 27 (1893), pp. 376—9.
4. BÁNKI DONÁT: A Ganz és Társa Gépgyár gázmotorai. *Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye* 28 (1894), pp. 131—135, 152—158.
5. BÁNKI DONÁT: Gas- und Petroleumkammer von Bánki und Csonka. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure* 38 (1894), pp. 582—584.
6. BÁNKI DONÁT: A Bánki—Csonka-féle gázkalapács (II. rész) *Technológiai Lapok* 6 (1894), pp. 8—10.
7. KOSAK, G.: Einrichtung, Betrieb- und Anschaffungskosten der wichtigsten Motoren für Kleinindustrie. Spielhagen und Schurich, Wien (1894), pp. 64—71, 72—75.
8. BÁNKI DONÁT: A Ganz és Társa Gépgyár Gázmotorai. *Technológiai Lapok* 6 (1894).

9. IFJ. SPORZON PÁL: A Bánki—Csonka-féle petróleummotorok. *Köztelek* 4 (1894), pp. 1290—92.
10. BÁNKI DONÁT: A Bánki és Csonka-féle gázkalapács. *Technológiai Lapok* 8 (1896), pp. 133—135.
11. CHEVILLARD, P.: Moteur a pétrole et à gaz. Construits par la maison Ganz et Cie. *Revue Industrielle* (1897) pp. 313—315. és a 16 ábraív.
12. MAYER, E.: Die Gas- und Petroleummotoren auf den Landesausstellungen Genf und in Berlin. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*. 41 (1897). p. 422.
13. FREYTAG, N.: Die Explosionsmaschinen auf der Milleniums-Landesausstellung in Budapest 1896. *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure* 41 (1897), pp. 357—363.
14. LIECKFELD, G.: Die Petroleum- und Benzinmotoren, ihre Entwicklung, Konstruktion und Verwendung. R. Oldenburg München u. Berlin (1901), pp. 261—264.
15. SCHÖTTLER, R.: Die Gasmachine, Verlag von Bonno Goeritz, Braunschweig (1902), p. 133.
16. A gépkocsi a Magyar Kir. Posta szolgálatában. *Hivatalos Közlöny* M. kir. Posta- és Táviratigazgatóság könyvnyomdája Budapest (1905).
17. A gépkocsi a M. kir. Posta szolgálatában. *Magyar Automobil Ujság* 3 (1905), pp. 41—42.
18. A posta és az automobil. *Magyar Automobil Ujság* 3 (1905), pp. 411—112.
19. Új automobílok a fővárosi posta szolgálatában. *Varrógép-, Kerékpár- és Automobil-Ujság* 4 (1906) január 20. 17. o.
20. Les nouvelles installations techniques des postes et des télégraphes de Hongrie. Hornyánszky nyomda. Budapest (1908), pp. 231—238.
21. JALSOVICZKY G.: A tűzgépek. Budapest (1908), pp. 51—57.
22. Motoros járművek a posta szolgálatában. *Magyar Automobil Ujság* 7 (1909), júl. 4. pp. 1—3., júl. 11, pp. 1—4.
23. Csonka János-féle új postai levélgyűjtő gépkocsi. *Uj Idők* 17 (1911) p. 621. (fénykép)
24. ORDÓDY JÁNOS: A gázmotorok gyakorlati kézikönyve, Thália. Budapest (1912). p. 36., 44—45.
25. A M. kir. Posta automobil-járatának 1912. évi üzemeredménye. *A Motor* 1 (1913) 33. szám aug. 17. pp. 3—7.
26. STARK, L.: Eine Episode aus der Geschichte der ungarischen Erfindungen. *Pester Lloyd* (1922), április 9.
27. ECKHARDT EMIL: Bánki Donát és Csonka János mérnökök alkalmazták először a benzínmotor lelkét, a karburátort. *Magyarság* (1927) júl. 14.
28. Az Autótörténeti Kiállítás magyar ereklyéi. *Pesti Hírlap* (1927) június 15, pp. 22—23.
29. ZELOVICH KORNÉL: A tudományos technika magyar úttörői. Stádium Sajtóvállalat RT. Budapest (1928) p. 67.
30. LINDNER ERNŐ és ILLÉS ISTVÁN: *A Királyi Magyar Auto Club Jubiláris Aranykönyve 1900—1930*. KMAC, Budapest (1930) pp. 13—14, 16, 19, 29—30, 260, 262—4.
31. WEILER ISTVÁN: Az autó és motorkerékpár története. *Magyar Auto Touring* 6 (1935), december pp. 6—90.
32. Posta Mérnöki Szolgálat 1887—1937. A Magyar királyi Kereskedelmi és Közlekedésügyi Miniszter kiadása (1937), Budapest (1937), pp. 218, 220—221. és képmell.
33. Csonka János. Nekrológ. *Honi Ipar* (1939), nov. 15.
34. Csonka János † *Automobilizmus* 1 (1939), nov. p. 9.
35. Csonka János élete és műve. *Automobilizmus* 1 (1939), dec. pp. 12—13.
36. HAAG DEZSŐ: Csonka János † *Urvezető* 10 (1939), december p. 19.
37. CSONKA JÁNOS. Nekrológ. *Malom Ujság* 5 (1939), dec. 10.
38. CSONKA JÁNOS. Nekrológ. *Budapesti Mérnöki Kamara Közleményei* 12 (1939), dec. 15, p. 190.
39. ECKHARDT EMIL: Megemlékezés Csonka Jánosról, a magyar automobilgyártás úttörőjéről. *Motor* 1 (1939), dec. 1. pp. 2—7.
40. ORDÓDY JÁNOS: Csonka János 1852—1939 *Magyar Mérnök- és Építész-Egylet Közlönye* 73 (1939), pp. 327—28.
41. Képek a magyar motorgyártás történetéből. *Urvezető* 12 (1941), pp. 14—17.
42. VAJDA PÁL R.: Magyar feltalálók. Országos Közművelődési Szövetség, Budapest (1943) pp. 173—181, 190—193, 278, 281—3, 285. és 66—69. ábralappal.
43. VAJDA PÁL R.: Magyar találmány az ötvenéves porlasztó. *Képes Vasárnap* (1943), febr. 9. p. 91.
44. VAJDA PÁL R.: Csonka János és Bánki Donát 50 év előtt találták fel a porlasztót. *Automobilizmus* 5 (1943), dec. 15. pp. 6—7.
45. Csonka János és Bánki Donát ötven évvel ezelőtt találták fel a benzinmotornál nélkülözhetetlen porlasztós fűvókát. *Magyarság* (1944), febr. 3.

46. Csonka János az első magyar automobil készítője. *Autó-Motor* 5 (1952), febr. 1.
47. VAJDA PÁL: Nagy magyar feltalálók. Vezérfonal városi előadók számára. Magyar Természettudományi Társulat, Budapest (1952), pp. 14—16.
48. KÁROLYI ZSIGMOND: 60 éves a karburátor. Megemlékezés a magyar motortechika úttörőinek, Bánki Donátnak és Csonka Jánosnak közös munkásságáról. *Magyar Technika* 8 (1953), pp. 547—551.
49. KÁROLYI ZSIGMOND: Hatvanéves a karburátor. Bánki—Csonka emlékkiállítás a Műszaki Egyetem központi könyvtárában. *Műszaki Egyetem* 1 (1953), febr. 27, p. 3.
50. KÁROLYI ZSIGMOND: Technikai történetünk haladó hagyományai. *A jövő mérnöke* 1. (1953), nov. 10, p. 4.
51. SCHIMANEK EMIL: Bánki Donát tudományos munkássága és alkotásai. Akadémiai Kiadó, Budapest (1954), pp. 17—19, 25, 53—55, 116—133.
52. TERPLÁN SÁNDOR: Gépjárművek. Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat Budapest (1956) pp. 15—19.
53. VAJDA PÁL: Nagy magyar feltalálók. Zrínyi Kiadó, Budapest (1958), pp. 128—135 215—216, 232—233.
54. FONÓ, A.: Donáth Bánki: *Acta Technica Ac. Sc. Hung.* 27 (1959), pp.: 14—39.





# FORDULATSZÁMBEÁLLÍTÓ ÉS ELEKTRONIKUS RENDSZERŰ MÉRŐBERENDEZÉSEK VÍZGÉPVIZSGÁLATOKHOZ

FÁY CSABA, KISBOCSKÓI LÁSZLÓ és BÉRCZI SÁNDOR

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, VÍZGÉPEK TANSZÉKE

[Beérkezett 1959. június 8-án]

Áramlástechnikai gépek (szivattyú, turbina, hidrodinamikus tengelykapcsoló és nyomatékvtó) laboratóriumi vizsgálatokor nagyon fontos követelmény egyrészt a fordulatszám pontos értékének ismerete, másrészt az állandó fordulatszám az egyes jelleggörbék felvételekor, függetlenül a terheléstől. Ez azért fontos, mert mint ismeretes, az áramlástechnikai gépek  $N$  teljesítménye :

$$N = C n^3$$

összefüggés szerint változik, ahol  $C$  arányossági tényező,  $n$  pedig a percenkénti fordulatszám.

Eszerint tehát már kis fordulatszám-ingadozás, vagy a fordulatszám megállapításakor elkövetett kis hiba is el nem hanyagolható mértékű különbséget jelent a gép teljesítményének értékében. Pl. 0,5% hiba a fordulatszám beállításánál gyakorlatilag  $3 \times 0,5 = 1,5\%$  hibát okoz a teljesítmény-értékében. Másrészt, mivel a teljesítményt a fejlődés mai fokán egyre inkább mérlegmotorok vagy mérleggenerátorok segítségével mérik, a fordulatszám-mérés hibája a teljesítménymérés és így a hatásfok-mérés hibáját is fokozott mértékben növeli.

Míg a külföldi laboratóriumokban egyre inkább bonyolult és sok hibaforrást magukban rejtő drága automatikus fordulatszám állandósító berendezéseket használnak, mi, körülményeinket mérlegelve, a fordulatszám szabályozását a Budapesti Műszaki Egyetem Vízgéplaboratóriumában kézi szabályozással oldottuk meg.

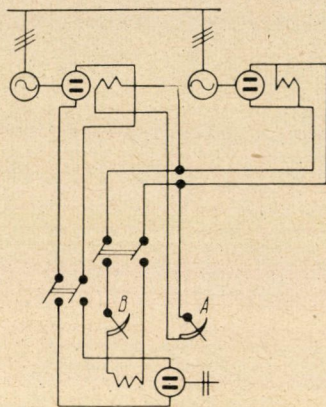
Éhhez olyan műszerre van szükség, amely folyamatosan mutatja a fordulatszám pontos értékét vagy az előre pontosan beállított fordulatszám azonos voltát.

A részünkről választott fordulatszám-szabályozás és a fordulatszám állandósításának módja rendkívül egyszerű, olcsó, üzembiztos. Laboratóriumi kutató vizsgálatoknál ugyanis az automatikus berendezések sok hibalehetősége olyan mérvű ellenőrzést kíván, hogy alkalmazásuk nem apasztja feltétlenül a mérési munkaidőt. A mérés során csak olyan eszközöket célszerű

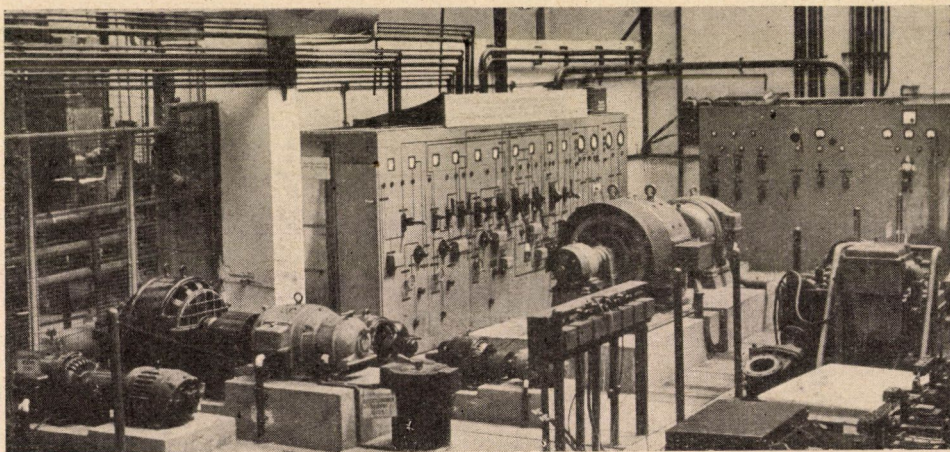
alkalmazni, amelyek újabb hibalehetőségek nélkül fokozzák a mérések pontosságát.

Laboratóriumi méréseinknél a vizsgált gép hajtására lehetőség szerint egyenáramú mérlegmotort használunk.

Az egyenáramot háromfázisú asszinkron motorral hajtott motordinamó gépcsoportokkal termeljük. A vizsgált gépcsoport hajtásának kapcsolását az 1. ábrán mutatjuk be.



1. ábra



2. ábra

A mérés vezérlőasztalán az *A* és *B* jelű szabályozó ellenállásokkal az armatúra feszültség változtatásával, szükség szerint a hajtómotor mezejének gyengítésével lehet a kívánt fordulatszámot beállítani. Az armatúrafeszültséget a generátor gerjesztőkörébe iktatott *A* jelű szabályozó ellenállással



változtathatjuk. A gerjesztést állandó feszültségű gerjesztőgépcsoport szolgáltatja. A különböző teljesítményigényeknek megfelelően, 10–150 kW teljesítményhatárok között különféle nagyságú motordinamó egységek állnak megfelelő gerjesztőgépekkel rendelkezésünkre. A gépcsoportokat és a hozzájuk tartozó kapcsoló- és elosztótáblák egy részét a 2. ábrán mutatjuk be.

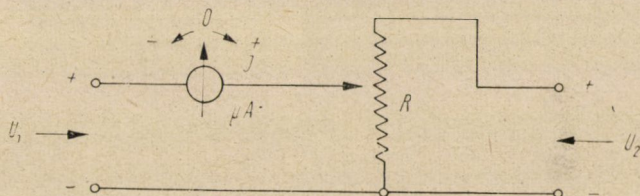
A mérések ütemének gyorsítására és a szükséges mérőlétszám csökkentésére a fordulatszám-mérés és beállítás céljaira kétféle, különböző jellegű műszert dolgoztunk ki:

- A) a beállított fordulatszám pontosan azonos voltát ellenőrző műszert,
- B) nagypontosságú fordulatszám-mutató és mérőműszert.

#### A) A fordulatszám azonosságát ellenőrző műszer

Használata olyankor fontos, amikor sok mérési pontot kell azonos fordulatszámnál felvenni, és az egyes pontok mérésekor a felvett teljesítmény változása következtében a hajtógép fordulatszáma utánszabályozásra szorul.

Erre az esetre alkalmazott műszerünk elvét a 3. ábrán mutatjuk be.



3. ábra

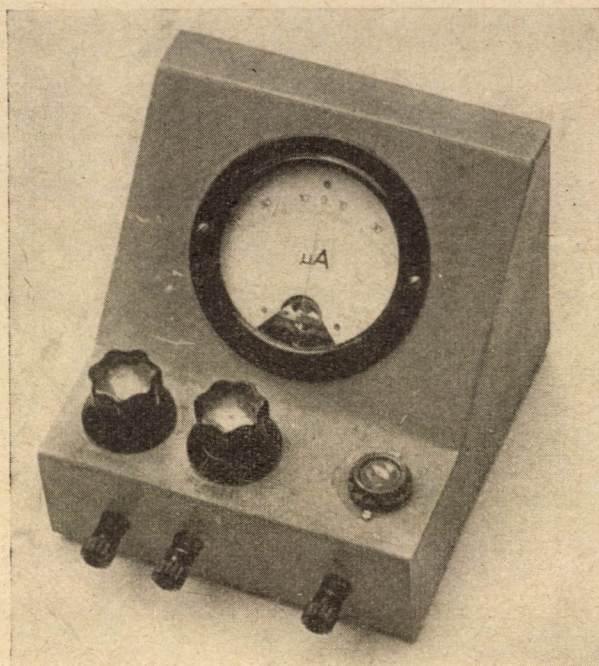
Az  $U_1$  feszültséget a mérendő fordulatszámú tengelyvégre szerelt egyenáramú tachométerdinamó adja, míg az  $U_2$  feszültséget stabilizált egyenáramú áramforrásból vesszük.

A 4. ábra mutatja BENKŐ Gábor okl. gépészmérnök részéről kidolgozott műszerünk fényképét, míg az 5. ábra a részletes kapcsolási rajzát.

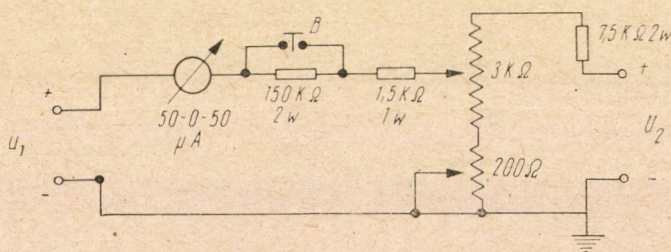
A két forgatógombbal a két huzalpotenciómétert állítjuk be durva és finom fokozatban úgy, hogy a középállású mikroamper-mérőnk zérót mutasson akkor, amikor a gép pontosan az előírt fordulatszámmal forog.

A durva beállítást követően a  $B$  rövidzáró nyomógomb segítségével áthidalhatjuk a 150 k $\Omega$  védőellenállást és így a műszert pontosan 0-ra állíthatjuk. Ebben az állásban  $\pm 1$  ford/perc fordulattérés (pl. 1000 ford/perc névleges fordulatszámnál) kb.  $\pm 1^\circ$  osztás kitérést ad a műszeren, így azt már egészen pontosan lehet érzékelni.





4. ábra



5. ábra

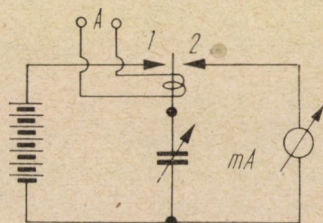
A műszer előnye, hogy egyszeri beállítás után állandóan mutatja a pillanatnyi fordulatszám különbség értékét és értelmét a beállított pontos fordulatszámhoz képest.

Hátránya, hogy használatához szükséges még egy, a fordulatszám pontos abszolút értékének megállapítására alkalmas műszer is, amivel a kívánt pontos fordulatszám értéket egy-egy mérési sorozat előtt be kell állítani.

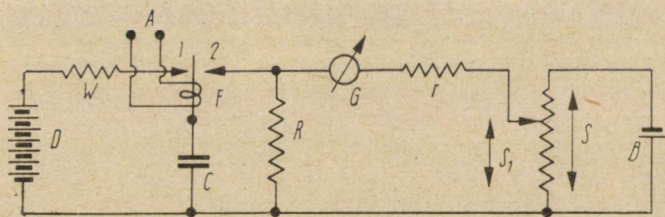


**B) Nagypontosságú elektronikus fordulatszámoló**

Működési elve a kis frekvenciák pontos és gyors mérési elvének továbbfejlesztése. Működési elvét a 6. ábrán mutatjuk be. A megméréendő frekvencia *A*-nál polarizált jelfogóra van kapcsolva. Minden egyes ciklus fele a jelfogó nyelvét az 1 érintkezőhöz zárja. Ekkor a kondenzátor a telep feszültségére töltődik fel. Minden második félperiódusban a nyelv a 2 érintkezőhöz záródik és így a mérőkörön keresztül kisül a kondenzátor. Ha az elemek értékeit úgy választjuk, hogy a töltés és kisütés teljesen végbemehet a zárvatartás ideje



6. ábra



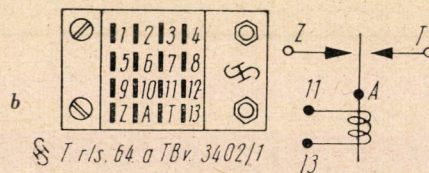
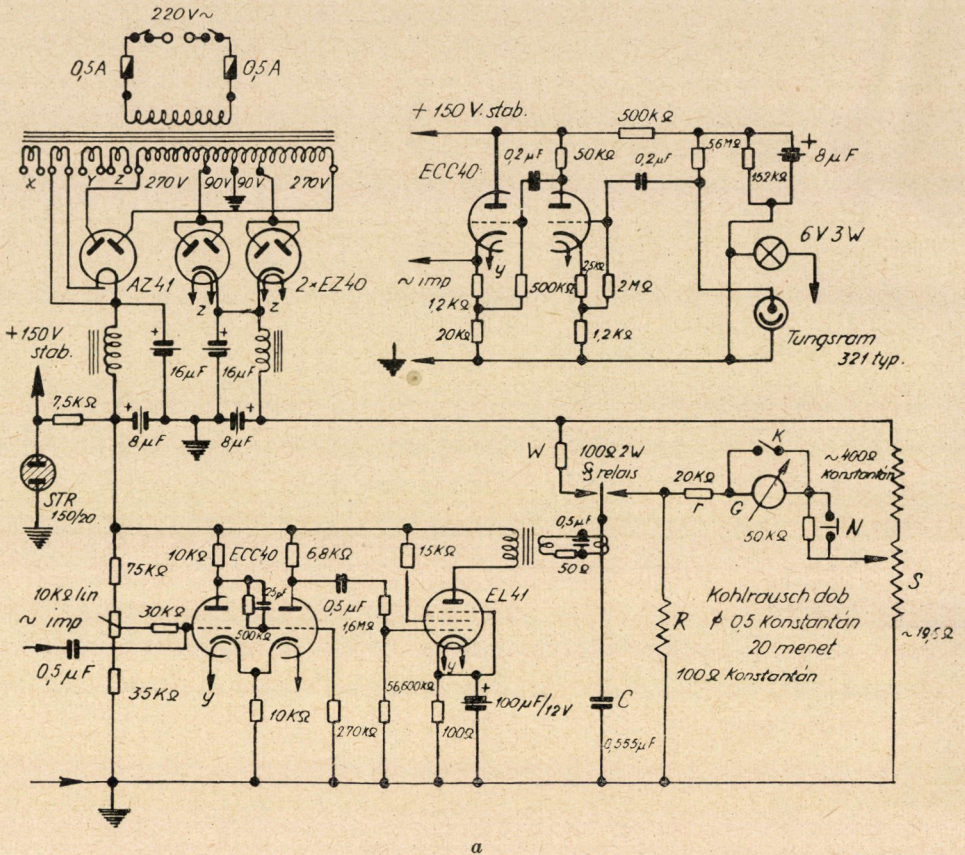
7. ábra

alatt, úgy a műszeren átfolyó árammennyiség csak a kisütések számától: a frekvenciától fog függni. Az árammérő műszeren leolvasható érték egyenesen arányos lesz a frekvenciával. Ez a Maxwell-féle módszer, pontossága a használt árammérő pontosságától függ.

Ugyanennek az alap gondolatnak továbbfejlesztését mutatja a 7. ábra. Ebben a kapcsolásban egy nullindikációs híd *S* feszültségosztójának állása arányos a rezgésszámmal.

A kisütés időszakában az *R* ellenálláson mutatkozó feszültségesést állandó feszültségű áramforrásra kapcsolt *S* feszültségosztóval kompenzáljuk. Az *S* feszültségosztó helyzete hitelesítés után a mérendő frekvencia számszerű értékét adja meg. Ez a nullindikációs hírendszer az előzőleg feldolgozott irodalmi adatok [1] szerint 5–200 c/sec frekvencia tartományban 0,1 c/sec pontosságú lehet, ha megfelelő érzékenységű galvanométert használunk.





8. ábra

Az  $S$  feszültségosztóként célszerűen Kohlrusch-dobot alkalmazunk. A valószínűségi kivitel kapcsolását a 8a ábrán látjuk.

A műszerben a mérőfejről érkező tetszőleges formájú jelek — BENKŐ Gábor elgondolása és tervei szerint — az erősítőn, majd a négyszögösítőn át a végerősítőcső rácsára kerülnek. Az illesztő kimenőtranszformátor működteti a polarizált jelfogót. A jelfogó a  $C$  kondenzátor töltését és kisütését végzi. Az S. H. T. rls. 64a, T. Bv. 3402/1 jelzésű jelfogó bekötési módja a 8b ábrán látható. Nullindikátornak EKM  $5 \cdot 10^{-8}$  A érzékenységig fokozatonként kap-

csolható fénymutató galvanométert használunk. Az 50 kΩ-os benyomásra záró *N* nyomógombbal párhuzamosan kapcsolt ellenállás a durva kiegyenlítés megtörténteig a körben marad. A híd finom kiegyensúlyozását az *N* gomb benyomása közben kell végezni. A *K* kapcsolót a galvanométernek nullázása alatt kell zárva tartani.

A műszer pontossága céljából az alábbiakra kell ügyelni :

1. A mérővezeték hengere (Kohlrausch-dob) ne készüljön higroszkópos anyagból, mert vetemedés esetén a huzalt vagy megnyújtja, vagy az lazán fekszik a spirális horonyban. A laza mérővezetékkel érintkező görgő, előre vagy hátra haladásnál az *S*<sub>1</sub> szakaszt nem határozza meg egyértelműen.

2. A mérőhuzal nyúlása, hőtágulása ugyancsak az 1. pont alatti hibát eredményezi, ezért olyan anyagból kell készíteni, amely nagyszilárdságú és csekély a hőtágulási tényezője.

3. *C*-nek olyan kondenzátort kell beszerezni, amely sem az időben, sem 0 - 60 °C hőfokhatárok között nem változtatja kapacitását 0,1%-nál jobban.

4. A jelfogó hibátlan működésű, teljesen szimmetrikus zárású és szakítású legyen.

5. Mérés előtt kellő bemelegítési időt kell hagyni.

6. Nagymértékű (> 10%) hálózati ingadozás pontatlanságot okoz.

A műszer hitelesítésére stabilis hangfrekvenciás áramforrást használunk, elektronikus frekvenciaosztó közbeiktatásával. A hitelesítési frekvenciák pontos értékét hurkos oszcillográffal, illetve a leosztott frekvenciájú körbe iktatott elektromos löketszámlálóval határoztuk meg.

A hitelesítéskor azt tapasztaltuk, hogy a műszer kalibrációs görbéje 0–20 Hz tartományban max. 0,3 Hz-el és 100–160 Hz tartományban max. 1 Hz-el tér el a

$$Z = 102,221 f - 88 \text{ egyenestől,}$$

amely 20–100 Hz tartományban a műszer kalibrációs görbéje. (Lásd a 9. ábrán a hibagörbét.) Az összefüggésben *Z* a Kohlrausch-dob skáláján leolvasott számérték (egy teljes körülfordulás 1000 osztás) *f* pedig a frekvencia Hz-ben. A hitelesítési pontok szórása ±0,05 Hz-en belül esik.

A percenkénti fordulatszám kifejezése :

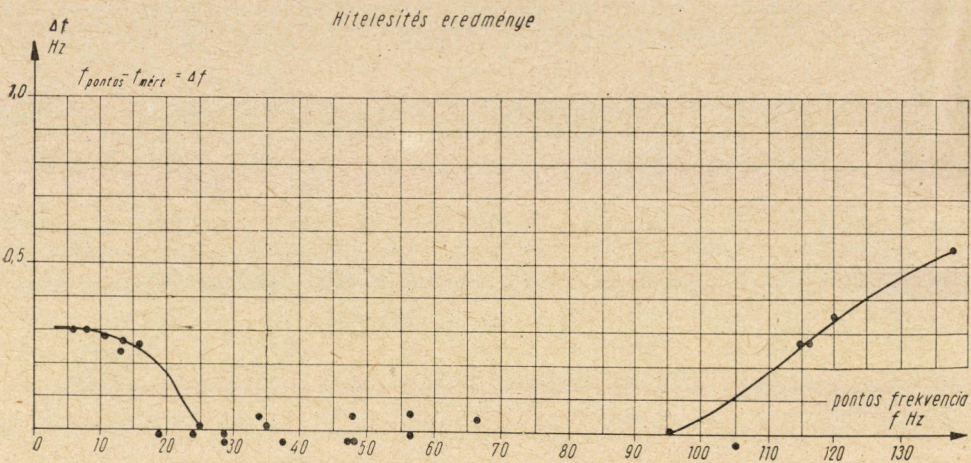
$$n = \frac{60 f}{x} = \frac{Z + 88}{1,7036 x}$$

ha a gép tengelye egy körülfordulás alatt *x* impulzust ad.

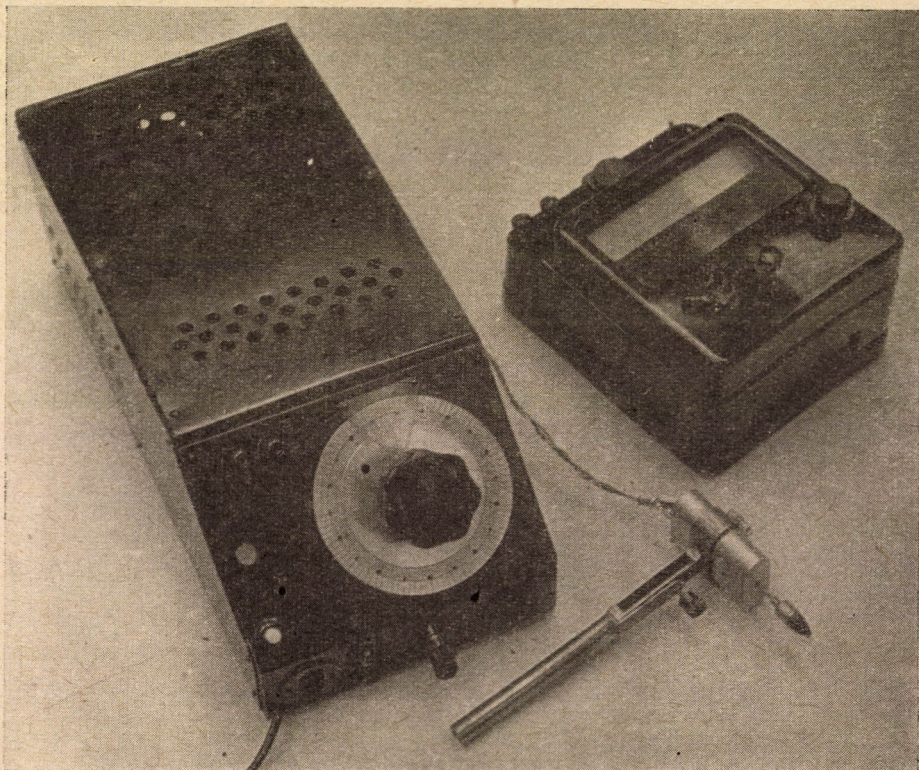
A 10. ábrán bemutatjuk a mérőműszer fényképét.

A műszeren villamos frekvenciát tudunk mérni, ezért rezgésszám mérésére is alkalmas valamilyen álló berendezés, pl. nagy ohmikus ellenállású mágneses pick-up segítségével. Fordulatszám mérésére ezt a módszert akkor





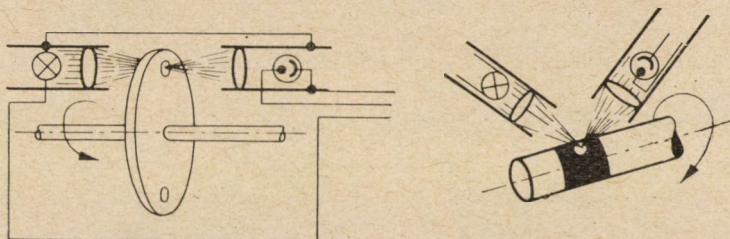
9. ábra



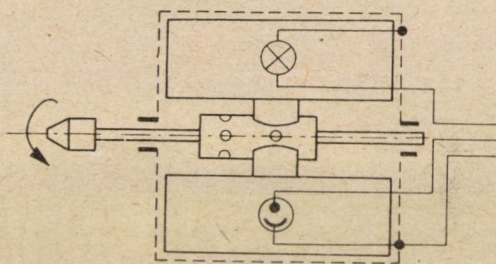
10. ábra



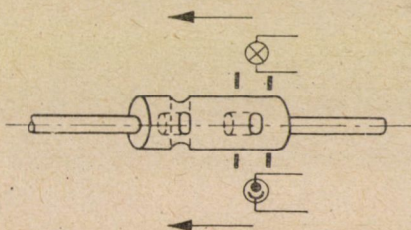
használjuk, ha a vizsgált gépnek nincs kivezetett tengelyrésze (pl. búvár-szivattyú). Az olyan tengelyről, amelynek hozzáférhető szabad vége nincs, de van látható szabadon forgó része, szakaszos fényvisszaverő felület ráerősítéssel (festéssel) kaphatunk fotocellán szakaszos fényimpulzusokat. Beszerelt,



11. ábra



12. ábra

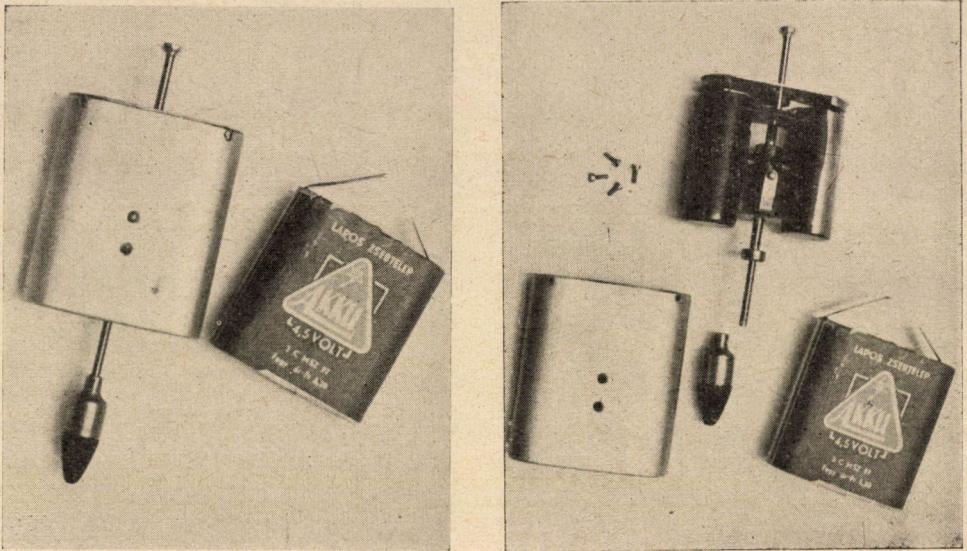


13. ábra

állandó jellegű berendezésen fotocella előtt forgó lyukas korong erősíthető a tengelyre. Az impulzusadó berendezések vázlatát a 11. ábrán mutatjuk be. Ha a tengelyvéghez hozzáférünk, gumicsúcsos, fotocellás fejvel mérhetjük meg a tengely fordulatszámát (12–13–14. ábra).

Leggyakrabban a gumicsúcsos fejet használjuk. A fotocella és az izzólámpa a fénymegszakító hengerrel együtt, lapos zseblámpaelem nagyságú és alakú fémdobozban foglal helyet. Akár kézben tartva, akár állványra





14. ábra

szerezve közelíthető a mérendő fordulatszámú tengelyvéghez. Háromerű vezeték közül az egyik testpotenciálon az izzó tápfeszültségének egyik pólusát, egyben a fotocella negatívját továbbítja. A második vezeték a fotocella pozitívjához, a harmadik vezeték pedig az izzító feszültség másik pólusához csatlakozik. Az összesodort, árnyékolás nélküli hármas vezeték hossza 4–5 m is lehet.

A fénymegszakító hengernek egymástól független furatesoportjai vannak. A fotocella a fényforrással együtt elmozdítható úgy, hogy kisebb fordulatszám mérésekor az egymásra merőleges furatok elé, nagyobb fordulatszám mérésekor pedig az egyszerű átfúrás elé kerül. Ezt a megoldást vázlatosan mutatja a 13. ábra.

A 14. ábrán a mérőfej fényképeit mutatjuk be.

Az általunk készített fordulatszám-mutató berendezés hibája 20–100 frekvencia tartományban  $\pm 0,05$  frekvencia, ami fordulatonként egy impulzus esetén (1200–6000 ford/perc határok között)  $\pm 3$  ford/perc hibának, fordulatonként két impulzus esetén (600–3000 ford/perc határok között)  $\pm 1,5$  ford/perc hibának, fordulatonként négy impulzus esetén (300–1500 ford/perc határok között)  $\pm 0,75$  ford/perc hibának felel meg.

A műszer kialakításakor a következő feladatokat kívántuk megoldani:

a) a fordulatszám értékét mintegy  $\pm 1,5$  ford/perc hibával lehessen 300/perc–3000/perc határok között megállapítani.

b) a műszer jelezze a fordulatszám megváltozását,

c) megszabott állandó értékű fordulatszámnak megfelelően beállított műszer segítségével a motor fordulatszámát pontosan és könnyen lehessen a kívánt értéken állandósítani.

A tervezett műszer e követelményeket teljesen kielégíti. E megoldásnál ugyanis a fordulatszám értékét a 0-műszerként bekötött fénymutató galvanométer 0 állásában a Kohlrausch-dob mutatóján olvashatjuk le  $\pm 0,02$  Hz pontossággal. A fordulatszám ingadozását a galvanométer fénymutatója késés nélkül mutatja. A vizsgált gép jelleggörbéjének felvétele közben megváltozott teljesítmény megváltoztathatja a motor fordulatszámát is. Ezt a galvanométer fénymutatójának kitérése mutatja. A motor feszültség szabályozó ellenállásával a fordulatszám gyorsan és közvetlenül ellenőrizhető módon visszaállítható az eredeti értékre, amikor is a fénymutató visszatér 0 állásába.

A 0-pont környezetében a galvanométer osztása fordulatszám értékre is hitelesíthető és így az esetleges kismértékű ingadozás nagysága is mérhető, ami az ingadozást okozó jelenség kiküszöbölésének módjára sokszor szolgálat kiinduló pontot.

#### IRODALOM

1. Proceedings of the IRE Vol. 18. Nr. 9. 1930.  
1586—1592. o. N. P. CASE.
2. SOUNCY—BAYLY: Proc. IRE. Vol. 17. 1929. 834. o.
3. FLEMING—CLINTON: Proc. Phys. Soc. (London) Vol. 18. 3860.
4. CURTIS—MOORE: Bureau of Standards Scientific Paper No. 564. 507. o.
5. MAXWELL: „Electricity and Magnetism” II. 775. szakasz.
6. KREZTMANN, R.: „Handbuch der Industriellen Elektronik” 366. o.

#### ÖSSZEFOGLALÁS

• A tanulmány fordulatszám-méréshez és szabályozáshoz kialakított nagy pontosságú műszereket és azok használatát ismerteti. A műszerek segítségével  $\pm 0,05$  Hz pontosságot lehet 20—100 Hz tartományban mérni, ami mind a teljesítménymérés, mind a fordulatszabályozás szempontjából kielégítő az adott esetben. A műszereket évek óta üzembiztosan használják.





## KÖNYVSZEMLE

Vendel Miklós

### A KÖZETMEGHATÁROZÁS MÓDSZERTANA

Akadémiai Kiadó, 1959, 754 o. 450 ábra, 2 melléklet. Ára 170,— Ft

VENDEL Miklós akadémikus négy évtizedes sokrétű tudományos munkásságának egyik nagyon fontos, töretlen vonala a laboratóriumi közetvizsgálatok fejlesztése, tökéletesítése. Metodikai tudása hazánkban régóta verhetetlennek számít és sok eredeti ötlettel, megoldással járult hozzá a közettani vizsgálatok színvonalának emeléséhez. 25 éve megjelent „Közet-, szén- és éremeghatározó módszerek” c. könyve is több volt egyszerű „praktikum”-nál s az elmúlt évtizedek során felbecsülhetetlen segítséget jelentett a közettani vizsgálatok területén képzésben és kutatásban egyaránt.

Az új Vendel-Módszertan nem „kibővített új kiadása” a réginek, s az átörökölt címnél lényegesen többet nyújt. Nem csupán az egyszerű közetmeghatározás (azonosítás) módszereit tárgyalja, hanem a közettan (ércet, kőszén és egyéb ásványi nyersanyagokat is beleértve) legmélyrehatóbb vizsgálatának teljes fegyvertárát felvonultatja előttünk. Tárgyalásmódja — az előszóban említett kettősség ellenére is — egységes, a tárgyalási anyagot óriási tárgyismerettel és tapasztalattal válogatta ki és rendezte el. Általában teljes, enciklopédikus ismeretanyagot kapunk minden vizsgálati módszerről, melynek során az egyszerűbb megoldásoktól a bonyolultabbak, fejlettebbek felé haladó tárgyalás nemcsak logikus didaktikai sorrendet jelöl, de többnyire a módszer fejlődésmenetét is bemutatja.

Az óriási tárgyalási anyag felosztása logikus és könnyen áttekinthető. A terjedelem eloszlásában megállapítható, hogy a „klasszikus” közetvizsgálat módszerei részesültek előnyben (az optikai módszerek tárgyalása a könyv közel felényi terjedelmét foglalja el) s újabb, nem általános elterjedésű módszereknek (radioaktivitás-mérés, lumineszcencia-vizsgálatok) csak rövidebb elvi ismertetés jut. Ez fő vonalaiban megfelel a közetvizsgálati gyakorlat jelenlegi igényeinek, azonban a könyvben kapott terjedelem nem arányos mindig az egyes módszerek fontosságával és alkalmazhatóságával (pl. Habicht-készülék, dekrepitációs módszer).

Az ásványok (közetek) fajsúlyának, mágnességének, likacsosságának, radioaktivitásának és hőtani tulajdonságainak mérését, valamint az ezeken alapuló vizsgálati eljárásokat a mérési elvek és a kivétel megértését biztosító terjedelemben, tömören tárgyalja a könyv.

Az optikai módszerek ismertetése van a tárgyalási anyag tengelyében. Szerző, akinek több évtizedes gyakorlata van nemcsak a vizsgálatok végzésében, de a módszerek megértésében és elsajátításában, helyes arányt tart az elméleti alapok, működési elv és kiviteli fogások ismertetésében. Azzal, hogy az elméleti kérdéseket megfelelő részenként, az egyes mérési fajták fejezeteiben tárgyalja, megőrizte a tárgyalás egységét és módszertani jellegét. A készülékek elvi ismertetése úgy halad előre és úgy szövik át a gyakorlati (mérési, vizsgálati, preparátumkészítési) leírások és tanácsok, ahogy a vizsgálat menete didaktikai sorrendben világosodik meg a kezdő, elevenedik meg a fejlett szakember számára. VENDEL akadémikus kitűnő érzékkel részletezi a gyakorlat nélkül nehezen megérthető, vagy nehezen elvégezhető pontokat, nagyolja el a könnyen elsajátíthatókat. Az ábrák, példák bőséges alkalmazása is eredményesen szolgálja a megértést. Kár, hogy a bemutatásoknál a nehezen beszerezhető Leitz-típusok felsorakoztatása csaknem kizárólagos a tervállamokban gyártott újabb típusokkal szemben. A kutatás átfogó szemléletét biztosítja, hogy pl. érc- vagy kőszénoptikai vizsgálatok kapcsán kerül sor a mikroszkópi vizsgálatokból levont teletpani jellemzők bemutatására is.

Az elektronmikroszkópia új vizsgálati ágát nagyon világos, általános áttekintésben tárgyalja. E fejezet célja nem lehet, hogy elektronmikroszkópi kutatók számára adjon részletes útbaigazítást, olyan mélységig azonban, hogy a működési elvet megértse és a készülék várható teljesítményéről fogalmat alkosson, a vizsgálati ágak mai differenciálódása idején is kell hogy érdekeljen az elektronmikroszkópia minden petrografust-mineralógust, aki ezen vizsgálati ág segítségét igénybeveszi. Ilyen értelemben a könyv feladatát kiválóan oldja meg.

A mechanikai közetvizsgálatok tárgyalásában a régi, klasszikus módszereken kívül a legújabb megoldások is helyet kaptak s örvendetes sokoldalúsággal kerülnek bemutatásra a statisztikus értékelés és ábrázolás módszerei is. A szemcseszerkezet vizsgálata címen tárgyalja szerző tömören és világos érthetőséggel a szerkezeti közettan mérési és ábrázolási módszereit. A petrografus vegyi módszerei c. fejezetben a kőzetkémiai átszámításokról kapunk sok példával illusztrált részletes ismertetést és a bőséges táblázatmellékletben korszerű számítási segítséget. Az őslénytani vizsgálati módszerek és a mikrofényképezés rövid ismertetése sokoldalúan egészíti ki a könyv tartalmát.

A nagy gonddal összeállított módszertani kézikönyv a közettani vizsgálatok legmodernebb, legfejlettebb szintjén ad elméleti és gyakorlati kérdésekben egyaránt világos és teljes összefoglalást, mely egyetemi hallgató és továbbképzésre vállalkozó kutató kezében egyaránt biztos segítség és nélkülözhetetlen útmutató.

Pantó Gábor

P. J. Djatschenko

### VERSCHLEISSUNTERSUCHUNGEN MIT HILFE RADIOAKTIVER ISOTOPE

128 l. 82 ábra, 16 táblázat, VEB Verlag Technik, Berlin, 1958

(Kopásvizsgálatok radioaktív izotópokkal)

A könyv a Szovjetunióban az 1953. és 54. években folytatott önálló kísérletekről beszámoló 14 dolgozatot tartalmaz, azt összefoglaló irodalomjegyzék és a szövegben idézett anyagminőségek összehasonlító táblázata egészíti ki.

A tanulmányok mindegyike elsősorban gyakorlatilag is kivitelezett eljárást ír le oly részletességgel, hogy ezek akár receptszerűen közvetlenül reprodukálhatók. Véleményünk szerint a hazai kutatás és ipar számára a könyv jelentős segítség lesz a tartalmát képező és hazánkban egyelőre egészen kezdetleges állapotban levő koptatási kérdések izotópokkal való megoldása területén, habár 1953—54 óta ezek az eljárások már jelentős részben erős változásokon mentek át.

Az egyes szerzők tanulmányai — rövid kivonatban ismertetve azokat — a következő kérdéseket tárgyalják:

P. J. DJATSCHENKO: *Gépalkatrészek radioizotópos kopásvizsgálatainak módszertani kérdései.*

Az utóbbi években vezették be a Szovjetunióban a radioizotópoknak kopásvizsgálatok terén való alkalmazását. A kísérleti és kutatómunkák kutatóintézetekben és termelő üzemekben folynak, különösen forgácsoló és erőgép elemeken. A cikk összefoglalóan ismerteti azokat a tématerületeket, amelyekben eredményes kísérletek folytak. Ilyenek pl. erőgépek legkedvezőbb üzemi viszonyainak megállapítása. Csúszófelületek optimális felületi érdességi fokának meghatározása, a különféle kenő- és adalékanyagok befolyásának tisztázása a kopásállóságra.

Ismerteti az utóbbi években ismertté vált újabb eljárásokat.

Foglalkozik többalkotós csapágyfémek kopásviszonyainak vizsgálatával az ólom—cink—órn (5—5—5%) összetételű fémmel szerzett tapasztalatok alapján.

A. A. IEMELIN: *Súrlódás révén koptatott gépelemek aktiválásának módszerei.*

Ahhoz, hogy egy-egy gépelem kopásviszonyai radioaktív izotópok segítségével vizsgálhatók legyenek, szükséges az illető tárgyat aktívvá tenni.

Szerző részletesen ismerteti az alábbi 5 féle aktiválási módszer alkalmazási módjait: 1. Izotópok beville az olvasztás során, 2. Izotópok beville betétek révén. 3. Neutronsugárzással. 4. Diffúzióval. 5. Galvanikus úton.

Ez utóbbi módszert nagyon részletesen, úgyszólván receptszerűen taglalja a következő izotópokra vonatkozólag: In 114, Ag 110, Cr 51, Zn 65, Sn 113...123.

A. T. NISNEWITSCH és P. J. DJATSCHENKO: *Fémkopásvizsgálat automatikus írószerkezettel.*

Szerzők a kopásvizsgálatok egy újabb ágazatát, a jelzett atomokkal történő vizsgálati módszert ismertetik. A kísérleti munkákat a NATI (Gépköcsi és Traktor Tudományos Kutató Intézet) kopásvizsgáló laboratóriumában több éven át végezték. A kísérletek tárgyát képezte a vontatómotor alkatrészek eredeti mikrogeometriájának befolyását tisztázni a kopásállóság szempontjából.

A kísérleteket különböző felületfinomságú és különféle kenési feltételekkel rendelkező próbákkal MJ-típusú koptatógépen végezték. Szerzők részletesen megadják a kísérleti felté-



teleket, az ezek során felvett diagramokat és bemutatják a kísérletek során automatikusan felvett regisztrátumokat is, melyeket a motor dugattyúgyűrűk kopási folyamatairól készítettek.

D. J. WYSSOTSKI és W. S. SAWELSKI: *Szerkezeti anyagok kopásállóságának vizsgálata radioizotópokkal koptatógépen.*

Nagyszámú kutató fáradozik gépek élettartamának meghosszabbítását célzó eljárások kidolgozásán.

Minden új eljárást rendszerint csak a laboratóriumi kipróbálás után vihetnek át üzemi viszonyok között működő gépekre és ezért a kísérletek gyorsítása céljából sokszor a vizsgálati tényezőket szigorítják.

A radioaktív izotópos kopásvizsgálatok azonban a kísérleti idő jelentős csökkentését teszik lehetővé anélkül, hogy a kísérleti körülményeket szigorítani kellene.

A szerzők részéről bemutatott dolgozatban számítási eljárásokat találunk a kopásvizsgálatok során alkalmazandó izotópmennyiség helyes megállapításához. Ismertetik a NAMI (Gépjárművek Tudományos Kutató Intézete)-ban végrehajtott aktiválási kísérleteket, melyeket nagyfrekvenciás olvasztással előállított 18 kg-os fémadagokkal végeztek, valamint ezek laboratóriumban kapott koptatási eredményeit és az aktivitási méréseken alapuló koptatási diagramokat.

P. F. GRIGORJEV: *Eljárás repülőgépmotor dugattyúgyűrűk kopásvizsgálata céljára.*

Kutatók a következő feladatok megoldására vállalkoztak: a dugattyúgyűrűk kopási folyamatainak törvényszerűségei, az időelőtti kopások okainak megállapítása és eljárás kidolgozása a kopásállóság fokozására.

E célból eljárást dolgoztak ki a radioizotópoknak a vizsgálandó tárgy felületi rétegébe oly módon történő bevitelére, hogy ezzel sem a tárgy alakja, sem pedig annak fizikai-mechanikai tulajdonságai ne változzanak.

Az eljárás lényege az, hogy a vizsgálandó tárgy felületébe aktivált fémet sajtoltak bele, majd erre ismét 41 vastagságú inaktív fémréteg került. Az így preparált tárgyat koptatták, míg az első aktív fémrészek a kenőanyagban kinutathatók nem voltak.

W. K. SOSNIN: *Repülőgépmotor dugattyúgyűrűk kopásának törvényszerűségei.*

A cikkben szerző kísérleti eredményeit mutatja be, amelyeket Zn 65 izotóppal aktivált dugattyúgyűrűkkel kapott a Sch-62 IR típusú motorban.

Sikerült a dugattyúgyűrű kopását befolyásoló valamennyi tényezőnek, ún. fordulatszámnak, terhelésnek, a krómozott henger felületfinomságának, olaj- és hengerfejhőmérsékleteknek egyenkénti hatását megállapítani.

Az egyes kísérletekről felvett diagramok az eredmények jó reprodukálhatóságát is igazolják, egyben pedig minden egyes tényező optimális értéke egyértelműleg megállapítható volt.

P. J. DJATSCHENKO, A. J. NISNEVITSCH és W. E. WAINSTEIN: *Portartalmú kenőanyaggal működő vontatómotorok csapágy-kopásának kutatása.*

A kísérletek célja azoknak a körülményeknek kutatása, amelyeknek következtében a motor gépalkatrészek kopása üzemben mindig nagyobb mértékű mint laboratóriumi körülmények között. Ezt szerzők a levegőben levő pornak tulajdonítják, amelyben a motor rendszerint működik. Ezért kísérleteket végeztek a különféle mennyiségű és szemcsoösszetételű por hatásának tisztázására a csapágyanyagok kopásának szempontjából. A kísérleti csapágy-ötvetetek anyagai 5% és 10%-os ólombronz voltak, amelyet ömlesztett állapotban aktivizáltak.

A kísérletekhez különféle szita analízissel és kémiaiilag pontosan megelemzett porösszetételeket alkalmaztak.

N. N. TOLKETSCHIEWA: *Előre meghatározott mértékű kopás automatikus jelzése.*

A különféle gépalkatrészek legtöbbször különböző típusú automatikus jelzőberendezéseket igényelnek előre meghatározott mértékű kopás jelzésére. Ezért az eljárást laboratóriumi kísérleti berendezésen kapott adatok alapján kell kialakítani, melynek során a vizsgált gépelem kopását előidéző összes tényezőket a valóságot legjobban meg kell hogy közelítsék.

A kísérletek céljára először megfelelő aktiválási módot dolgoztak ki, melynek során tisztázandó volt, hogy lehetséges-e előre meghatározott rétegvastagság kopásának létrejöttét automatikusan kimutatni.

A kísérleteket négy különféle aktiválási módszerrel végezték: a) a teljes sűrűdőfelületnek aktiválásával Zn 65 galvanikus úton való felvitelére. b) A sűrűdőfelület kijelölt részének aktiválásával ugyancsak Zn 65 galvanikus felvitelével. c) A sűrűdőfelületre 25  $\mu$  vastag galvanikusan felvitt radioaktív Zn 65 réteg, majd az ezt fedő ugyancsak galvanikusan felvitt 50  $\mu$  vastag inaktív Zn réteg révén. d) Az alapréteg egy részéből kimunkált felületrésznek aktivált csapágyfémrel való kiöntésével.

Az eredmények alapján a legegyszerűbbnek a feladat megoldására a nagy fajlagos aktivitású galvanikusan felvitt réteg alkalmazása bizonyult.

J. S. SASLAVSKI: *Kenőolajok kopáscsökkentő tulajdonságainak kutatása és besugárzott gépelemek kopásának mennyiségi meghatározása.*

Szerző gyors radioizotópos módszert dolgozott ki a Szovjetunió Tudományos Akadémiája Géptani Intézetében kenőolajok kopáscsökkentő tulajdonságainak megítélésére. E módszerrel rövid ideig tartó kísérletek révén is jól reprodukálható eredmények voltak elérhetők.

Eljárást dolgozott ki besugárzással aktívá tett géprészek kopásának mennyiségi meghatározására a következő elvek szerint: a) olajpróbák vétele révén, b) a kenőanyaggyűjtő vezetékbe beépített számláló segítségével.

Automatikus és folyamatos működésű regisztrálót szerkesztettek a gépben vagy gépszerkezetben keringő olaj aktivitásának jelzésére.

B. L. SLINKÓ: *Gépalkatrészek kopásának ellenőrzése a kopástermékek szűrőben való összegyűjtésével.*

Gépalkatrészek kopásviszonyainak ellenőrzése céljára általában az olajvezetékbe vagy tartályba beépített Geiger-számlálót szokás alkalmazni.

Szerző olyan módszert dolgozott ki, amelynek révén a géphől eltávolító és radioaktív kopástermékeket tartalmazó kenőanyagrészeket e célra szerkesztett különleges szűrőrendszerben fogja fel, melyben beszerelt Geiger-számláló van.

A szűrő szerkezetének és kapcsolási lehetőségeinek ismertetése után az eljárás alkalmazási példái közül, a csapágycsapások kopási folyamatáról felvett regisztrátumokat mutatja be a dolgozat, majd az eljárás pontosságát taglalja.

E. W. WAINSTEIN: *Lekoptatott részecskék alakja és méretei.*

A lekoptatott részecskék alakjának és méreteinek ismerete igen fontos adatoknak bizonyultak kopási jelenségek tanulmányozása során. A kérdést mikroszkópi és radiográfiai vizsgálatokkal lehet megoldani. Szerző mindkét eljárást alkalmazta.

Az eredmények szerint az U 8 jelű szerszámacélfajtát B 83 jelű (83% Sn-tartalmú) csapágyfémmelek koptatva, a kopástermékek alakja és méretei a koptatási időtől függenek, mégpedig a 850—875  $\mu$  bejárati időben keletkező méretekkel kezdődően egyre csökkenően, egészen 30—40  $\mu$  értékekig.

Sb 124, Ag 110 radioizotópok és radiográfia segítségével tanulmányozták különféle csapágyfémek kopástermékeinek alakját és méreteit is. Antimonbronz és ezüst, valamint szerkezeti szénacéllal végzett kísérletek szerint a bronz és az ezüst kopástermékeinek alakja és méretei jellegzetes n megkülönböztethetők egymástól.

P. J. DJATSCHENKO, N. N. TOLKATSCHEWA és K. N. GORJUNOVA: *Koptatott fémek valószínűleg érintkező felületeinek meghatározása.*

Dolgozatukban a szerzők kísérleti eredményeket közölnek, melyeket nyers fémfelületek koptatásakor a valóban érintkező felületrészek meghatározása terén értek el. E célból az egyik felületet aktiválták, majd  $P$  kp erővel az aktív és inaktív felületeket egymáshoz szorítva koptatták. Ekkor a lekoptatott aktív részek az inaktív felületre vivődtek át és így autoradiográfiai úton a koptatáskor ténylegesen érintkező felületrészek jól kimutathatókká váltak.

W. E. WAINSTEIN: *Fémátvitel súrlódás révén.*

Az irodalomban egyre több cikk foglalkozik a kenés nélkül vagy csak csekély mértékű kenés mellett egymáson sikló fémfelületek egyikéről a másikra történő fémátvitel kérdésével.

Szerző kísérletei arra irányultak, hogy radioizotópok segítségével tisztázza e módszer révén csapágyfémek kopási kérdéseit. MJ típusú koptatógépen Brozs 5—5—10 típusú (10% Pb) ólombronzot koptatott 20 Ch-jelű (ötözött Cr) szerkezeti acélon 25 kp/cm<sup>2</sup> fajlagos felületi nyomás mellett. A csapágycsészét ötvözés közben Zn 65 és T 204 izotópokkal aktiválták.

Táblázatban található a 2 1/2 órás kísérletei alkalmával kapott bronzanyag átvitt mennyiségének változását az alkalmazott kenőanyag portartalmának függvényében, továbbá az egymáson sikló fémalkatrészek kopásának számszerű adatait, valamint a bronz csapágycsésze kopásmértékének mg-ban mért változását az idő függvényében a bejárati és üzemi időszak alatt.

W. D. SELINOWA: *Cerium eloszlásának kimutatása a gömbrágitos öntöttvasban.*

A megfelelő felezési idejű radioaktív izotópok, mint amilyen pl. a Ce 141, alkalmasak egyes metallurgiai kérdések megoldására, mint pl. egyes ötvözőknek fémolvadékokban való eloszlása.

A gömbrágitos öntöttvas előállításánál nagyon fontos az alkalmazott modifikátorok pl. a cerium eloszlása a fémolvadékban. Szerző a radiográfiát alkalmazza a kérdés megoldására. Az eljárás elvi és gyakorlati kérdéseinek tisztázását csapágyfémekkel végezte. Ezután aktív Ce 141-et az olvadt vasba vitt be. Az így készült dermedt fémbe autoradiográfiai felvétellel lehet a Ce eloszlását tanulmányozni.

S. M. GORODINSKI és G. M. PARCHOMENKO: *Radioizotóp eljárások munkavédelmi kérdései.*

Szerzők foglalkoznak a különféle izotópoknak az emberi szervezet különböző részeire ható különféle káros hatásaival, valamint az ezekkel előidézhető megbetegedésekkel.

Ismertetik a Szovjetunió Orvosi Akadémiájához tartozó „Munkaegészségügyi és ipari megbetegedésekkel foglalkozó Intézete” által kidolgozott egészségvédelmi előírásokat a különféle izotópokkal történő munkák esetére.

Foglalkozik a vonatkozó sugárvédelmi előírásokkal, melyeket a különféle laboratóriumok építkezésénél be kell tartani mind a helyiségek, mind a berendezési tárgyak, bútorok, eszközök stb. szempontjából.

Ismerteti a különféle sugárfajták esetén alkalmazandó leghatásosabb sugárvédelmi eszközöket, valamint a rádióaktív szennyező anyagok eltávolításának módjait és lehetőségeit, az izotópok helyes szállításának feltételeit, a laboratóriumokban e szempontokból alkalmazandó munkafegyelmi kérdéseket, védőruházatot és annak szennyezettségtől való tisztítási lehetőségeit.

Végül a laboratóriumban előírással munka- és egészségvédelem szempontjából fontos helyiségek ismertetését adják a Szerzők.

Réti Pál

Dr. Terplán Zénő

#### MECHANIZMUSOK

Tankönyvkiadó, Budapest 1959, 292 o.

A szóban forgó könyv összefoglaló jellegű *tankönyv*, mely korszerű tárgyalásmódban tárja az olvasó elé a tárgykör alapjait képező ismereteket. Anyagát, szerkezetét és előadásmódját tekintve elsősorban a magyar műszaki felsőoktatás igényeit tartja szem előtt, de használni forgathatja minden mérnök, aki a mechanizmusok tudományában tájékozódni kíván, vagy egyes részletkérdések iránt érdeklődik.

Magyarországon a „mechanizmusok” összefoglaló jellegű, minden részletkérdésben egységes szemléletű oktatása a közelmúltig hiányzott. A szerző kezét a könyv megírásánál tehát nem kötötték hagyományok, hanem helyett saját hősiesség oktatói tapasztalatait és mindvégig következetes tudományos felfogását érvényesíthette. A mechanizmusok klasszikus ismeretanyaga mellett felhasználta saját tudományos eredményeit, valamint az utóbbi évek magyarországi tudományos kutatásának eredményeit is. A mű egyéni hangja — véleményem szerint — értékének egyik biztosítója s már ezért is feltétlenül érdeklődésre tart számot.

Anyagát tekintve a könyv a Bevezetésen felül két fő témakörre bontható. Az első, lényegesen bővebb témakör azokat a módszereket és eljárásokat ismerteti, amelyeknek segítségével a fő méretei tekintetében adott mechanizmus mechanikai tulajdonságai (egyes pontok pályagörbéi, sebesség- és gyorsulásiállapot, erőjáték stb.) meghatározhatók.

Ezekben a vizsgálatokban a fő helyet az általános szokásnak megfelelően a síkbeli mechanizmusok foglalják el. Az e csoportba tartozó mechanizmusok mechanikai vizsgálatának ismertetése úgyszólván teljesnek mondható. A hatalmas anyag fölött a szerző egy a mechanizmusok rendszerezését tárgyaló fejezet segítségével nyújt áttekintést.

Külön fejezet foglalkozik a térbeli mechanizmusoknak néhány könnyebben kezelhető típusával. A válogatott anyag egyúttal a fejlődés várható irányvonalának útmutatója is.

Az anyag második fő témakörét, a mechanizmusok tervezésének módszereit, szempontjait egyetlen fejezet tárgyalja. A szerző itt gondosan összeválogatta azokat az alapvető eljárásokat, melyek a mechanizmusok tervezésére ma ismeretesek.

A szerző moudanivalóját a korszerű matematikai és mechanikai fejtegetésre támaszkodva adja elő az egyetemi oktatás színvonalán.

A könyv szerkezete és szövegezése tömör, helyenként talán túlságosan is tömör. Sok nehézséggel átszeli azonban a szerző szemléletességre való törekvése, a szerkesztő eljárások fokozott alkalmazása, a számos, rendkívül gondosan elkészített ábra és a bőséges példaanyag.

Külön értéke a könyvnek a bőséges irodalmi útmutató.

ifj. Sályi István



## A NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM KÖZLEMÉNYEI III. KÖTET

Miskolc, 1959. 480. o.

A Nehézipari Műszaki Egyetem tízéves jubileumára elkészült kötet az ünnepség céljainak megfelelően olyan gyűjtést tartalmaz, amelyben az egyetem Kohó- és Gépészmérnöki Karának professzorai, docensei és adjunktusai tudományos fokozatuk szintjének megfelelő és nagyrészt az elmúlt tíz évben írt dolgozataik (akadémiai székfoglalók, a műszaki tudományok doktori, a műszaki vagy matematikai tudományok kandidátusi és egyetemi doktorátusi értekezései) jelentek meg teljes, vagy kivonatos terjedelemmel. E dolgozatok egy része már más magyar vagy idegen nyelvű kiadványban is megjelent, ahol viszont nem domborodott ki az a tény, hogy a szerző a Nehézipari Műszaki Egyetem tagja.

Sorrendben először dr. VERŐ József okl. kohómérnök, akadémikus, a NME metallográfiai tanszékének tszv. egyetemi tanára, 1949. május 23-án elhangzott, és az MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei I. k. 2. sz.-ban már megjelent „Rácsmaradványok fémolvadékokban és hatásuk a szövetekre” c. akadémiai székfoglalója olvasható. Ezt követi dr. GELEJI Sándor okl. kohómérnök, akadémikus, a NME kohóéptani és képlékeny alakítástani tanszékének tszv. egyetemi tanára két dolgozata: „A drót- és rúd húzás több problémájának elméleti és kísérleti adatokkal való megvilágítása” című akadémiai levelező tagsági székfoglaló, amely 1951. szeptember 25-én hangzott el, és az MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei II. k. 2—3. sz.-ban is megjelent, továbbá „A nagy alakváltozásokat létrehozó képlékeny fémalakítás mechanikájának továbbfejlesztése” című akadémiai székfoglaló, amely 1955. május 25-én hangzott el és az MTA Műsz. Tud. Oszt. Közleményei XVII. kötetében jelent meg.

Dr. NAGY Elemér okl. gépészmérnök, a NME fizikai tanszékének volt tszv. egyetemi tanára „Elektrolumineszcens jelenségek” című értekezésével 1956. ápr. 6-án kapta a fizikai tudományok doktora tudományos fokozatot; dr. SZENICZEI Lajos okl. gépészmérnök, a NME gépelemek tanszékének meghívott előadója pedig „Kúpkerék hajtások szilárdsági méretezése” című értekezésével 1957. október 31-én kapta a műszaki tudományok doktora tudományos fokozatot. Mindkét dolgozat magyar nyelven először jelent meg az egyetem közleményeiben.

A műszaki tudományok kandidátusa cím elnyeréséért FEKETE László okl. kohómérnök, a NME fémkohászattani tanszékének volt adjunktusa „Salakszámítás új módszerei a fémkohászatban” (megvédés: 1955. október 31); HUSZÁR István okl. gépészmérnök, a NME mechanikai tanszékének docense „Hajlításra terhelt rúdak szimmetrikus megerősítése” (megvédés: 1954. október 20); KÁLDOR Mihály okl. kohómérnök, a NME metallográfiai tanszékének docense „Módszer a rúdsajtolás jelenségeinek kísérleti vizsgálatára” (megvédés: 1957. március 21); ifj. SÁLYI István okl. gépészmérnök, a NME szállítóberendezések tanszékének docense „Mechanizmusok kinematikai vizsgálata” (megvédés: 1955. szeptember 27); SZECHEGYI Árpád okl. kohómérnök, a NME elektrotechnikai tanszékének féléllású adjunktusa „Ilgner hajtások elektrotechnikai és technológiai vonatkozásai” (megvédés: 1957. szeptember 19) és SZOMBATHY Emil okl. gépészmérnök, a NME gépelemek tanszékének volt tudományos munkatársa „Munkadarabok megmunkálás közbeni méretellenőrzése pneumatikus módszerrel körköszőrülésnél” (megvédés: 1957. november 26) c. értekezései olvashatók kivonatokban, tekintettel az eredeti dolgozatok sokkal hosszabb terjedelmére.

A matematikai tudományok kandidátusa cím elnyeréséért dr. HOSSZU Miklós okl. középiskolai tanár, a NME matematikai tanszékének adjunktusa „A disztributívitás függvényegyenletének általánosításai” (megvédés: 1957. március 8) c. értekezés olvasható ugyancsak kivonatosan.

Az egyetemi doktori fokozatért benyújtott dolgozatok közül dr. HAJTÓ Nándor okl. kohómérnök, a NME metallográfiai tanszékének volt docense „Az izzítás időtartamának hatása az acél austenit-szemnagyságára” (elfogadás: 1948. november 8) c. dolgozata olvasható kivonatban, amely megjelent a Magyar Technika 1949. évi kötetében; dr. HOSSZU Miklós okl. középiskolai tanár, a NME matematikai tanszékének adjunktusa „Nemszimmetrikus középértékek” (elfogadás: 1958. május 19) c. értekezésének főbb tételei jelentek meg a közleményekben; nagyobb terjedelemben jelent meg dr. HORVÁTH Zoltán okl. kohómérnök, a NME fémkohászattani tanszékének tszv. egyetemi tanára 1948. november 8-án elfogadott „Manganoszulfátos oldatok előállítása szegény mangánerekből” c. értekezése, továbbá kivonatosan dr. TERPILÁN Zénó okl. gépészmérnök, a NME gépelemek tanszékének tszv. egyetemi tanára által írt „Újfajta vízemelő-kos üzemi- és szelep-kísérletei” (elfogadás: 1950. március 10) c. értekezése. Időközben mind a négyen megkapták a kandidátusi fokozatot.

A cikkek elején — az akadémiai székfoglalókat kivéve — a közleményekben látható.

az értekezések bírálói, továbbá a vizsgabizottságok tagjai. Az értekezések végén pedig négy-nyelvű összefoglaló áll rendelkezésre a külföldi tájékozódni kívánók számára.

E kötet másik gyűjtemény része a Nehézipari Műszaki Egyetem miskolci oktatói testülete által a felszabadulás óta (zömmel tehát az utóbbi tíz évben) írt tudományos, tan-, illetve szakkönyvekről szóló ismertetések közzététele. A 21 *kohómérnökkarbeli* (szerzők: COTEL E., DIÓSZEGHY D., GELEJI S., HAJTÓ N., HORVÁTH Z., KISS E., MIKA J., ROMWALTER A., SCHEY J., SIMON S., SZÉKI J., VERŐ J., ZSÁK V.) és 17 *gépészmérnökkarbeli* (szerzők: BÁLINT L., GYÁNI K., HUSZÁR I., KAZÁR L., KISMARTY L., LUDVIG L., OBADOVICS J. GY., PETRICH G., SÁLYI I., SUSÁNSZKY J., SZENICZEI L., TERPLÁN Z. és ZORKÓCZY B.) megjelent könyv egész műszaki szakirodalmunk értéke. Az ismertetéseket e közlemények III. kötete vagy szaklapokból vette át (több helyen idegen nyelven is), vagy pedig az egyetem professzorai és docensei külön e célra írtak recenziót.

A kiadvány e kötetét az 1958/59. tanévben forgalomba hozott egyetemi jegyzetek felsorolása zárja, mivel közülük több már szakkönyv jelleggel is bír, amelyet tudományos, kutató és ipari szakemberek állandó érdeklődése bizonyít.

A rövid szöveg nem ment túl az egyszerű ismertetés szokásos keretén, hiszen a felsorolt dolgozatok értékelését — az akadémiai székfoglalókat kivéve — az arra illetékes szakemberek akár opponensi, akár vizsgabizottsági szerepben már elvégezték. A Nehézipari Műszaki Egyetem vezetőségét e gyűjtés elkészítésében a bevezetőben említett célon kívül az is vezette, hogy az oktatói testület fiatalabb, tudományos fokozatért törekvő tagjai példát is meríthessenek a tapasztaltabbak munkáiból. A következő feladat e gyűjtést a Bányamérnöki Karra is kiterjeszteni, majd pedig az újabb munkákat hasonlóképpen közzétenni.

A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei III. kötete az előző kötetekre jellemző szép kivitelben készült, könnyen áttekinthető képletszedéssel, jól olvasható ábrákkal, amely elsősorban a Borsod Megyei Nyomdaipari Vállalat dolgozóit dicséri.

*Dr. Terplán Zénó*

*Dr. Palotás László*

## ÉPÍTŐANYAGOK. I. KÖTET: ÁLTALÁNOS ANYAGISMERET. A FA, A FÉMEK

Akadémiai Kiadó 1959. 463 oldal, 359 ábrával és 58 táblázattal. Ára 110.— Ft.

A két kötetre tervezett könyvnek ez idő szerint csak az első kötete jelent meg. Ez az építőanyagtan három fontos fejezetét öleli fel.

A könyv *első fejezete* az építőanyagokra vonatkozó általános ismereteket foglalja össze. A tárgyalást az építőanyagok fejlődéstörténetének ismertetése nyitja meg. Ez a bevezető rész felette érdekfeszítő módon tárja elénk az anyagtan ismeretek fejlődését az ősidőktől napjainkig, és meggyőző módon adja elő, miként befolyásolták ezek az ismeretek az építészet fejlődését.

Ezután a könyv az építőanyagok szerkezetére, vegyi és fizikai tulajdonságaira vonatkozó általános ismereteket foglalja össze, részletesen ismertetvén az egyes anyagtulajdonságok vizsgálatára szolgáló módszereket és berendezéseket.

A kémiai és fizikai tulajdonságok ismertetését követően a könyv az építőanyagok szilárdsági tulajdonságainak tárgyalására tér át. Az alapfogalmak bevezetése után a szerkezeti anyagokat rugalmas viselkedésük szempontjából négy csoportba osztja. Az első csoportba a *rugalmas* anyagokat, vagyis azokat sorolja, melyek nem szenvednek maradandó alakváltozást. A második csoportot a *rugalmas-képlékeny* anyagok alkotják. Ezek a rugalmas határ-feszültség elérése után jelentős képlékeny alakváltozásra, majd szívós alakváltozásra képesek. A harmadik csoport a *rugalmas-önzilárduló* anyagok csoportja. Az ide tartozó anyagok annyiban különböznek a második csoportbeliektől, hogy a rugalmas alakváltozási állapotot közvetlenül a szívós alakváltozási állapot követi. Végül a negyedik csoportba a *rugalmas-rizikózs anyagok* tartoznak. Ezek alakváltozása jelentős mértékben az időtényezőnek is függvénye. A fenti újszerű osztályozás nagy mértékben rendezi az egyébként nehezen összefoglalható jelenségeket és mint ilyen, a későbbiek során is nagyon szerencsésnek bizonyult.

Behatóan foglalkozik a könyv az anyagvizsgálatok során szokásos statikai vizsgálatokkal, a kúszás és ernyedés jelenségével, nemkülönbön a fáziszító és a dinamikai vizsgálatokkal. Ezekkel kapcsolatban kerülnek ismertetésre a különféle alakváltozásmérő berendezések: a mérőórák, deformátérek, tükrös készülékek, és a hosszváltozások mérésére szolgáló modern elektromos berendezések. Nagyon örvendetes, hogy a könyv az általános szokástól eltérően, az utóbbiak működési elveit is részletesen leírja.

Természetes, nem volna a tárgyalás teljes, ha a könyv nem foglalkoznék behatóan azzal a kérdéssel is, miként lehet az elvégzett kísérletek alapján az építőanyagokat megfelelőképpen minősíteni. Ezért igen részletesen — mintegy 60 oldal terjedelemben — tárgyalja a mérési eredmények matematikai értékelését. Ehhez kapcsolódóan, talán kissé túl részletesen is, azt a kérdést is taglalja, miként lehet valamely mérési sorozat eredményeit egyszerű matematikai formulákkal kifejezni.

A könyv második fejezete a fának, mint építőanyagoknak tulajdonságait ismerteti. Részletesen foglalkozik a faanyag szerkezetével, vegyi összetételével, fizikai tulajdonságaival, így többek közt a nedvességtartalom kérdésével is, és bemutatja, miként befolyásolja a nedvességtartalom a fa különféle anyagi tulajdonságait. Ezután a fa szilárdságtani tulajdonságainak ismertetése, majd a különféle fahibák és betegségek tárgyalásával foglalkozó rész következik. Utóbbi, véleményünk szerint, kissé szűkreszabott.

A könyv harmadik fejezete a fémekre vonatkozó anyagani ismereteket foglalja össze. Ennek kapcsán számos oly kérdéssel ismerteti meg az olvasót, mely az építőipar részéről eddig nem talált kellő értékelésre. Igen érdekes és a gyakorlatban tevékenykedő mérnök számára sok új ismeretanyagot hoz pl. a fémek korrozójával foglalkozó rész, nemkülönben az acél hőkezelésével, felületi kezelésével, valamint a hegesztés kérdéseivel foglalkozó cikkely is.

A vasanyagra vonatkozó ismeretek részletes tárgyalásához képest — legalábbis a magasépítéset szempontjából — aránylag szűkreszabottnak tűnik a könyvnek az a része, mely az építő gyakorlatban előforduló egyéb fémek (pl. ón, horgany) tulajdonságait ismerteti.

A könyv az egyes fejezetek végén felsorolja azokat a szakmunkákat, melyek a tárgyalt problémákra nézve részletesebb felvilágosítást nyújthatnak. Ez az összeállítás azonban zömben csak a magyar és német szakmunkák címeit tartalmazza, de még a magyar rész sem teljes (pl. nincs a felsorolásban MÖLLER KÁROLY Építőanyagok című két kötetes könyve). Kívánatos lenne a könyv második kötetében az építőanyagokra vonatkozó hazai és külföldi irodalom kimerítőbb bemutatása.

Végezetül meg kell állapítanunk, hogy PALOTÁS LÁSZLÓ könyve a fenti észrevételek ellenére kitűnő szakkönyv, melyet a magyar mérnökök bizounyal szeretettel fognak forgatni. A könyv az építőanyagokkal kapcsolatos tudománykör igen széles területeire vezet el az olvasót. E hatalmas anyagának rendszeres, közérthető módon történő előadása komoly feladatot hárított a szerzőre máresak azért is, mert a tárgyalás számos új fogalom bevezetését és megfelelő nomenklatura kialakítását tette szükségessé. Nehézzé tette szerző helyzetét az is, hogy az anyag jelentős része a gyakorló mérnök részéről kevésbé ismert szakterületre esik. Szerző azonban mindezeket a nehézségeket szerencsésen küzdötte le, s olyan művet alkotott, mely az építőszakma számos terén, de főként a mélyépítés területén hézgapótló feladatot tölthet be.

Külön is megemlítendő, hogy a könyv gondolatfűzése tiszta, világos, tárgyalásmódja mértéktartó, tartalma könnyen áttekinthető. Az ábraanyag szép és tanulmányos, a nyomdai kiállítás példaszzerű. Ebből a szempontból ez a mű a leggazdagabb külföldi szakkönyvekkel is méltán felveheti a versenyt.

*Dr. Csonka Pál*





TARTALOMJEGYZÉK

<i>Csanádi György</i> : A közlekedéstudomány, a közlekedéspolitikai és a gyakorlati közlekedés összefüggései a szocialista és a tőkés társadalmi-gazdasági rendszerben (Székfoglaló előadás) .....	3
<i>Liska József</i> : A szinkronizált indukciós motor gerjesztése (Székfoglaló előadás) .....	27
<i>Winter Ernő</i> : Nagy élettartamú oxidkatódok wolframagfémekkel (Székfoglaló előadás) .....	39
<i>Vidéky Emil</i> : A goniometria kiterjesztése és projektív relativitások az involút geometriában .....	69
<i>Csonka Pál</i> : Egyetlen lépcsőhorony mentén terhelt gyámoltott lépcsők fokainak hajlító igénybevétele (Kivonat) .....	83
<i>Csonka Pál</i> : Pelikán J. kifejtési tételének mértani igazolása (Kivonat) .....	85
<i>Szidarovszky János</i> : Függőhidak újabb elmélete a lehajlás figyelembevételével.....	89
<i>Csonka Pál</i> : Szerkesztő eljárás a külpontos igénybevétel feszültségképletében előforduló állandók meghatározására (Kivonat) .....	141
<i>Vastagh Gábor</i> : A szokolyahutai vasgyártás története.....	145
<i>Balogh Arthur</i> : A torzióslengés determinánsegyenletének alkalmazása az önlengésszámok kiszámítására .....	175
<i>Borbély Samu</i> : Hengerszimmetrikus bugák felhevítéséről. IV. Hengerszimmetrikus hőátadási folyamat vizsgálata hőmérséklettől függő termikus paraméterekkel .....	185
<i>Muschek Tivadar</i> : Hengerszimmetrikus bugák felhevítéséről. V. Hengerszimmetrikus testek hevítése változó hőmérsékletű kemencében .....	197
<i>Barkász Emil</i> : Kepler egyenletének iteráció nélküli algebrai megoldása.....	227
<i>Sükei György</i> : A forgattyúház relatív térfogatának hatása a szívási folyamatra.....	239
<i>Sükei György</i> : Karburátoros motorok égésfolyamatai.....	247
<i>Sükei György</i> : Az égés lefolyása Diesel-motorban.....	279
<i>Vác István</i> : Különböző adalékokkal gyártott wolframdrótok kilépési munkái.....	311
<i>Csonka Pál</i> : Csonka János élete és munkássága.....	343
<i>Fáy Csaba, Kisbocskói László és Bérczi Sándor</i> : Fordulatszámbeállító és elektronikus rendszerű mérőberendezések vízgépvizsgálatokhoz .....	385

Könyvszemle

<i>Vendel Miklós</i> : A közetmeghatározás módszertana, Pantó Gábortól.....	397
<i>P. I. Djatschenko</i> : Kopásvizsgálatok radioaktív izotópokkal, Réti Páltól.....	398
<i>Dr. Terplán Zénó</i> : Mechanizmusok, ifj. Sályi Istvántól.....	401
A Nehézipari Műszaki Egyetem Közleményei III. k., Dr. Terplán Zénótól.....	402
<i>Dr. Palotás László</i> : Építőanyagok I. k., Dr. Csonka Páltól.....	403