A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI

HEVESI GYULA

XXI. KÖTET 1—4. SZÁM

AKADÉMIAI KIADÓ BUDAPEST

1957

VI. OSZT. KÖZL.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK
KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI
HEVESI GYULA

XXI. KÖTET 1—4. SZÁM

SZERKESZTŐSÉG: BUDAPEST V. SZÉCHENYI RAKPART 3.
KIADÓHIVATAL: BUDAPEST V. ALKOTMÁNY UTCA 21.

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

Kéziratok a következő címre küldendők:

Magyar Tudományos Akadémia
Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei
Budapest V. Széchenyi rakpart 3.

Ugyanerre a címre küldendő minden szerkesztőségi levelezés.

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

A Közlemények előfizetési ára kötetenként belföldi címre 40 forint, külföldi címre 60 forint. Belföldi megrendelések az Akadémiai Kiadó (Budapest V. Alkotmány u. 21. Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 05-915-111-44), külföldi megrendelések a „Kultúra" Könyv- és Hírlap Külkereskedelmi Vállalat (Budapest VI. Magyar Ifjúság útja 21., Magyar Nemzeti Bank egyszámlaszám: 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 orosz, német, angol vagy francia nyelven jelennek meg, lehetőleg a szerző kívánsága szerint, összefoglaló pedig a cikk nyelvén és azonkívül a másik három nyelven. Cikkeket magyar, vagy a szerző választotta idegen nyelven a következő címre kell beküldeni:

Acta Technica szerkesztősége, Budapest V. Széchenyi rakpart 3.

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA

MŰSZAKI TUDOMÁNYOK OSZTÁLYÁNAK

KÖZLEMÉNYEI

SZERKESZTI

HEVESI GYULA

XXI. KÖTET

AKADÉMIAI KIADÓ BUDAPEST

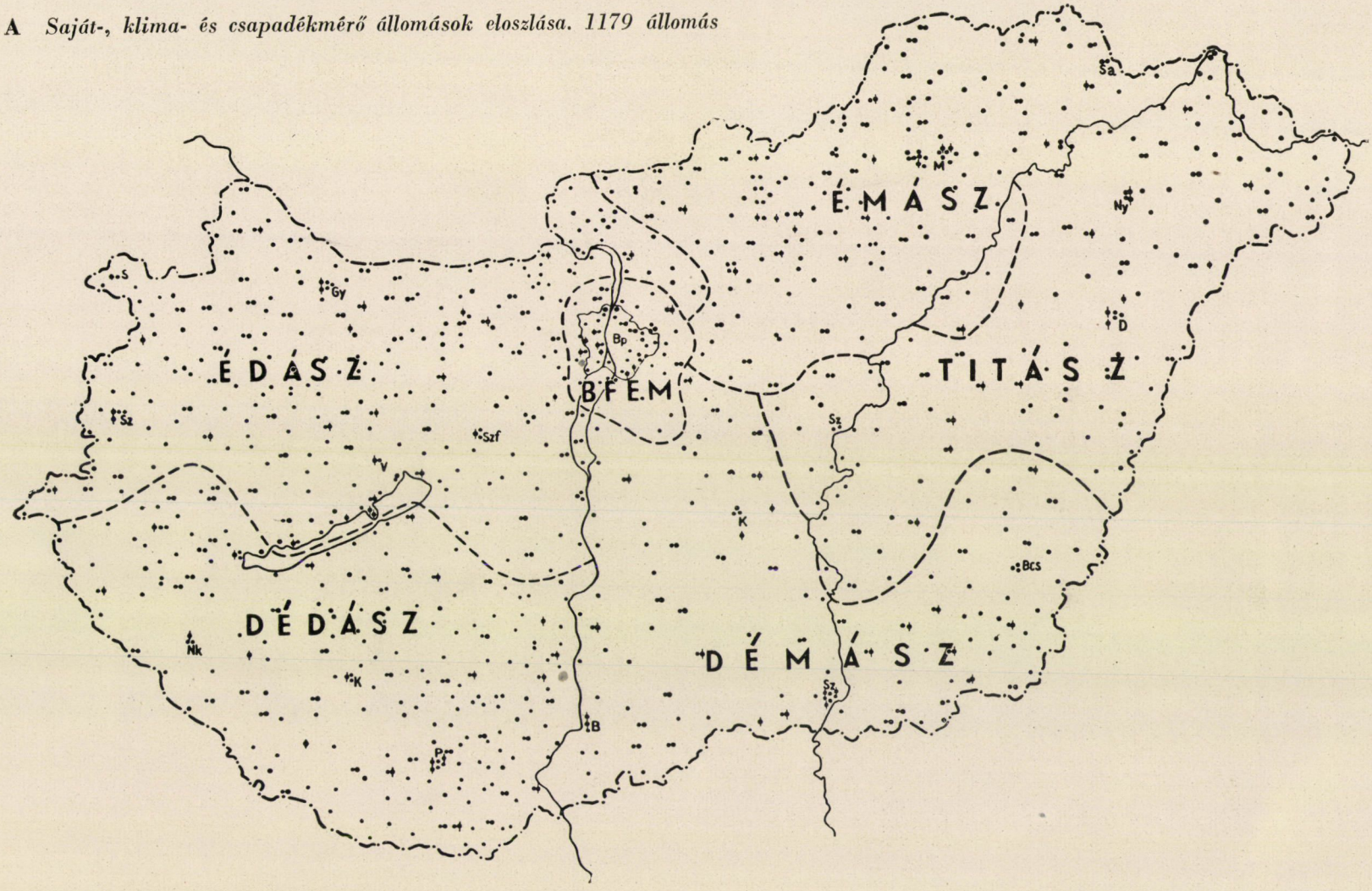
1957

OLVASÓINKHOZ

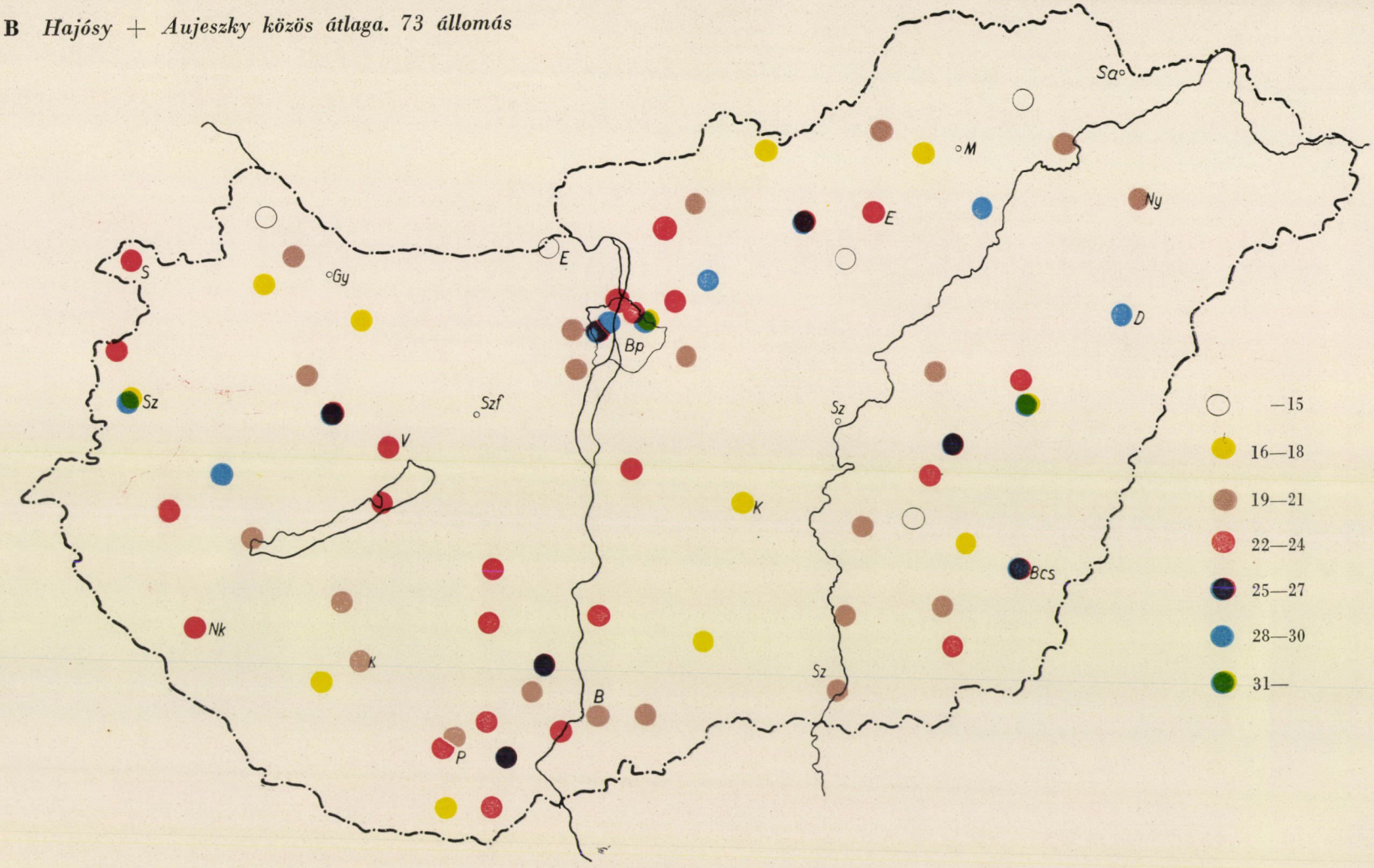
Folyóiratunk XX. kötetének 3—4. füzete technikai okokból csak később jelenik meg.

A szerkesztőség

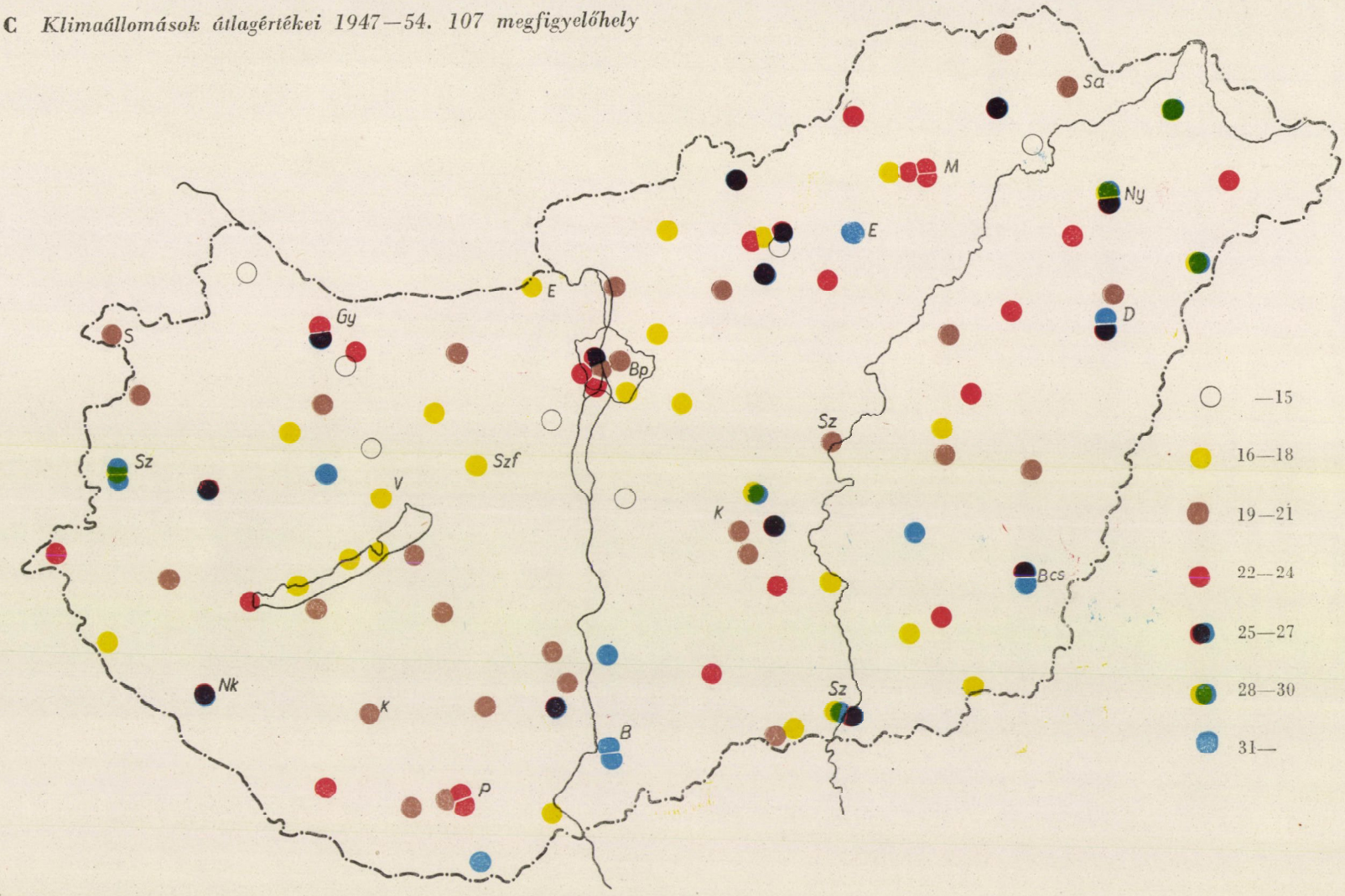
A *Saját-, klima- és csapadékmérő állomások eloszlása. 1179 állomás*



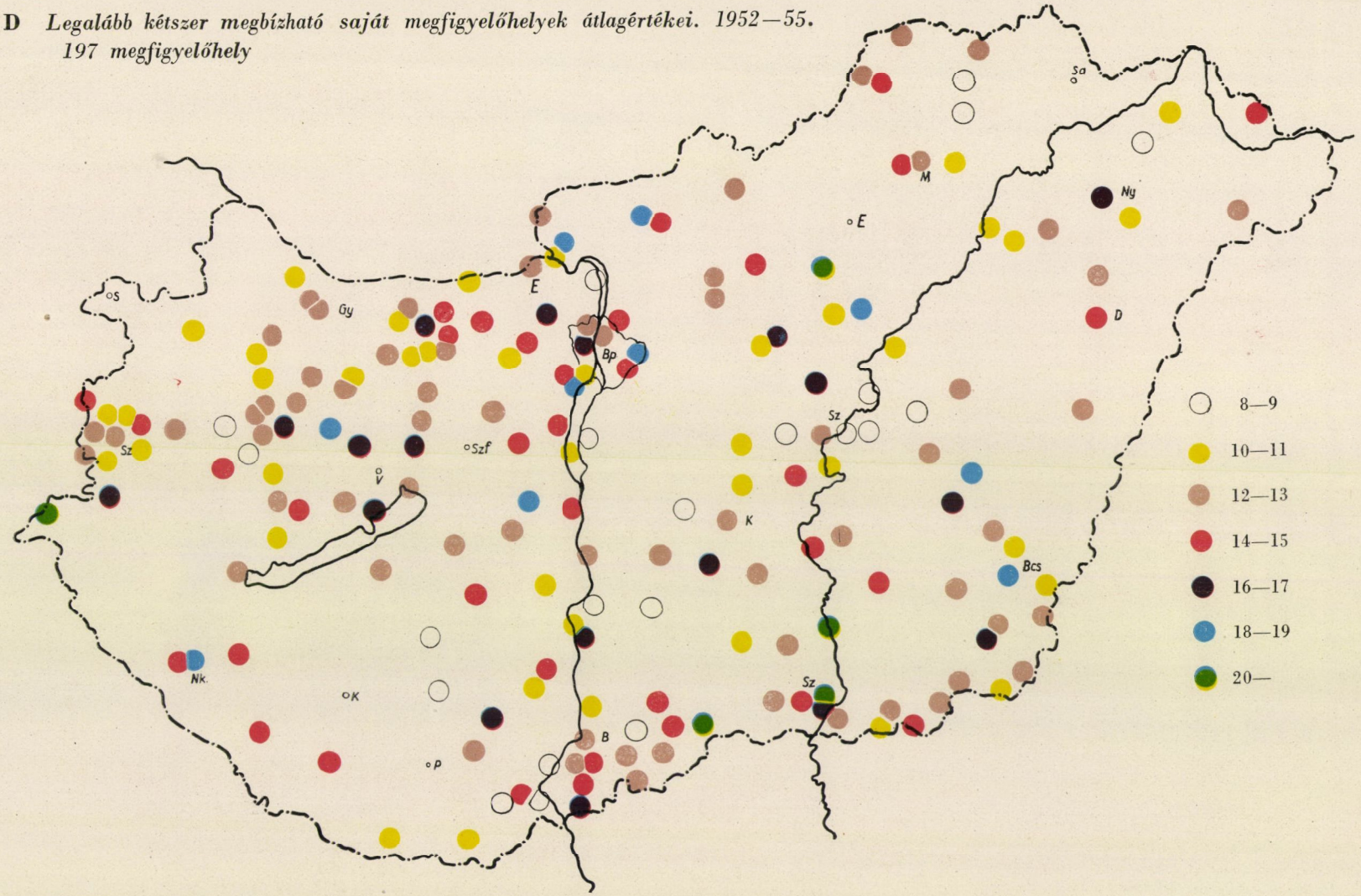
B *Hajósy + Aujeszky közös átlaga. 73 állomás*



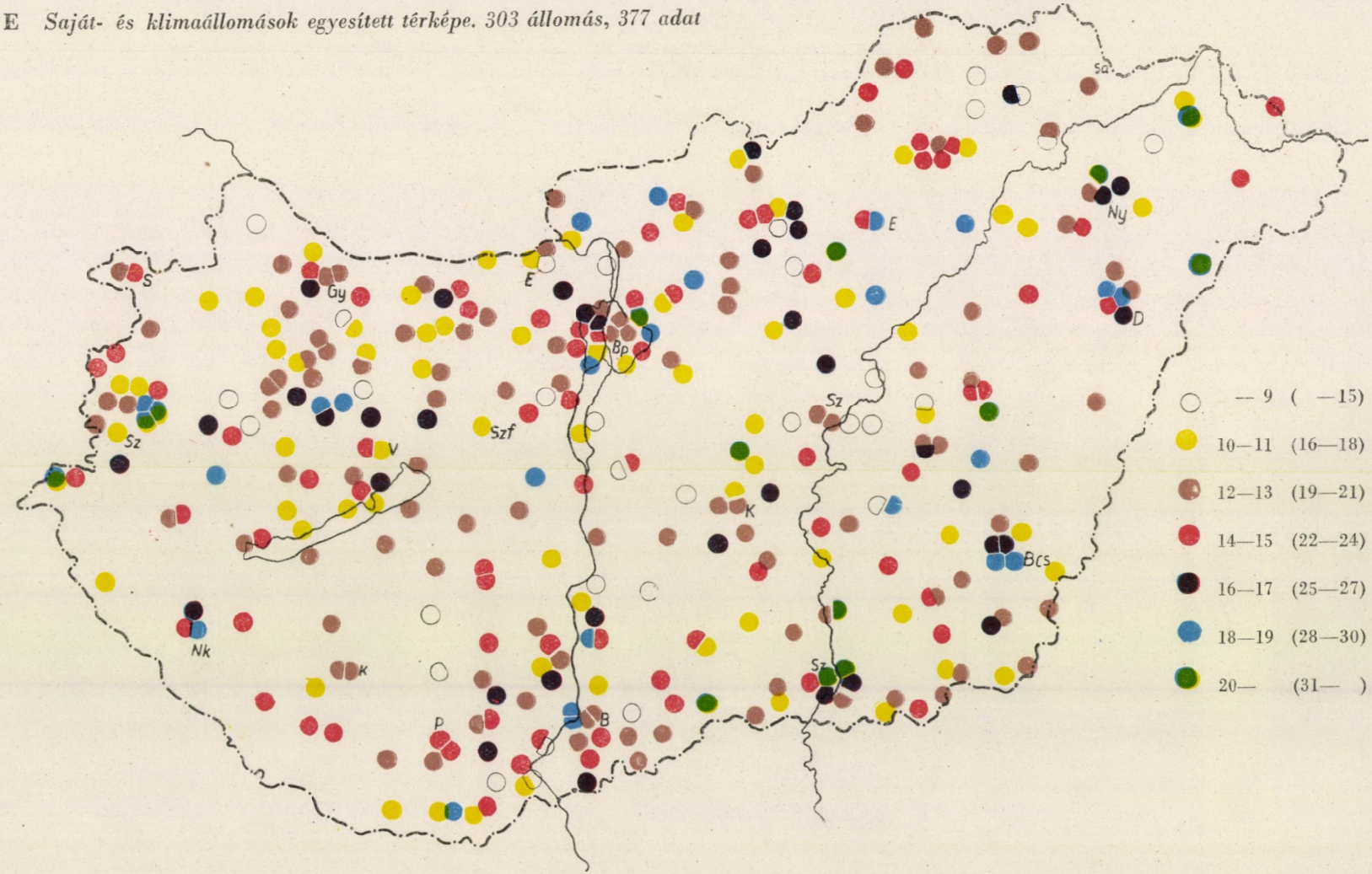
C *Klimaállomások átlagértékei 1947—54. 107 megfigyelőhely*



D *Legalább kétszer megbízható saját megfigyelőhelyek átlagértékei. 1952—55.*
197 megfigyelőhely



E *Saját- és klimaállomások egyesített térképe. 303 állomás, 377 adat*



A KAPCSOLÓSZÁM BEFOLYÁSA EGYENESFOGÚ HOMLOKKEREKEKNÉL*

VIDÉKY EMIL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett: 1954. március 16-án]

BETŰRENDES JELTÁR

(Geometriai méretek a modulegységre: $M_w = 1$-re vonatkoznak.)

ϵ = a kapcsolóhossz egyik szakaszfele
i = kapcsolásszám
p = vonalnyomás
r = sugár
s = fogvastagság
w = vágómélység
z = fogszám
α = kapcsolószög
ε = kapcsolóhossz veszteség
$\varkappa$ = egyoldali foghízás
μ = χ-nak megfelelő késelállítás
χ = központi szög az 1. ábrában értelmezve
ϑ = alaposztás

A = áttevés
B = kerékszélesség
C = centrális (főpont)
E = kapcsolóhossz határpont
F = értelmezve a 3. ábrában
G = az evolvens gyökpontja
K = a profil fejpontja
M = modulus
O = középpont
P = kerületi erő
U = alámetszéspont (utolsó aktív profilpont)
X = evolvenspont
Y = X-hez tartozó lefejléspont (1. ábra.)
Δ = különbözet
Σ = összeg
Θ = tengelytáv
Φ = méretváltó tényező

Indexek, alul jobbra:

m = középérték
max = legnagyobb érték
p = vágókerékre vonatkozik
u = az utolsó aktív profilpontra vonatkozó
w = az elemi (Willis) osztókörre vonatkozó
α = a futó kapcsolószögre vonatkozó
G = az alapkörre vonatkozó
K = a fejkörre vonatkozó
L = a lábkörre vonatkozó
1 és 2 = a kis-, és a nagykerékre vonatkozó

Indexek, felül jobbra:

imax = a legnagyobb i-hez tartozó
tot = totális
id = ideális
* = korrepondáló érték
' illetve " = a kis- illetve a nagykerékhez tartozó

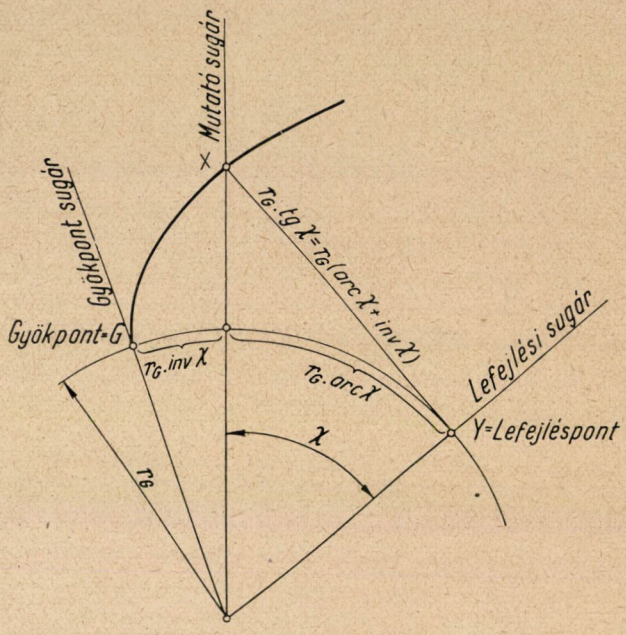
Ékezetek a betű felett:

$\wedge$ = fogkihegyeződésre vonatkozó
$-$ = egyenes
$\frown$ = ív

Zárójelbe () tett betű = a kapcsolás helye.
Zárójelbe [] tett szám = irodalmi hivatkozás

* Angol nyelven megjelent az Acta Technica **11** (1955) kötetének 99/119. lapján.

Fogaskerekek optimális működése végeredményben a tökéletes folyadéksurlódás megvalósításán múlik. A kapcsoló fogak között állandóan megszakítatlanul maradó hidrodinamikai olajfilm biztosításának bonyolult problémája ugyan még nincsen véglegesen felderítve, annyi azonban bizonyos, hogy a Hertz-feszültségek lehető csökkentése itt a legfontosabb feladat. E törekvés már régi keletű. Az első óvintézkedés az evolvensprofil gyökpont zónájának a kapcsolásból való kirekesztése volt, amit kétféle módon lehetett elérni:



1. ábra. Az inv. számítás alapvető jelölései

a) egyszerű profileltolással (elemi WILLIS-tengelytávnál), vagy korrigálásnál (megnövelt tengelytávnál) — vagy nagyobb szerszámszög alkalmazásával — vagy mindezeknek valamilyen kombinációjával;

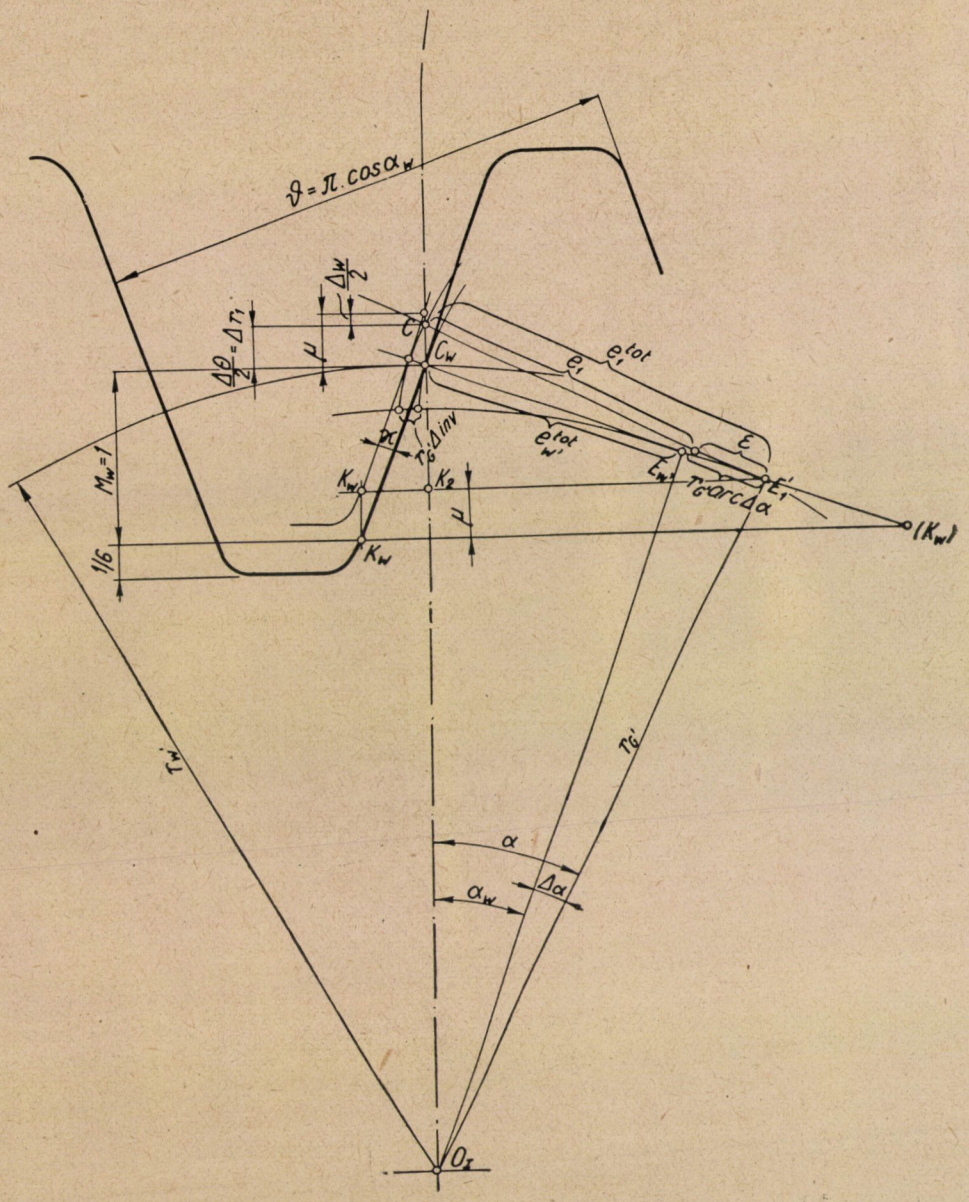
b) némi kis alámetszés megengedésével. Ez utóbbi megoldást általában helytelennek ítélték, mert az alámetszés gyengíti a foglábat.

Ezért csak az *a)* alatti módokkal foglalkoztak, behatóan vizsgálták és megvilágították azok körülményeit, de e módok gyenge pontját: a kapcsolószám csökkenését, általában elhanyagolhatónak ítélték.

A kérdés alapos elemzése azonban e felfogást módosítani fogja. Bizonyára igaz, hogy — például fogaskerekes olajszivattyúknál, ahol a terhelés minimális, — az is elegendő, ha a kapcsolószám csak éppen valamivel nagyobb 1-nél; azonban súlyosabb terhelésnél és nagy kapcsolósebességnél a helyzet lényegesen változik.

A kapcsolószám: i függ az alkalmazott μ késelállításoktól. Az összefüggés teljes analízise az irodalomban sehol sem található, általában csupán kezdetlegesen közelítő számításokkal találkozunk. A kérdés nem is olyan egyszerű.

A jeltárban megadott jelölésekkel (1. és 2. ábra.):



2. *ábra.* Korrigálásnál használatos jelölések

$r_w = \frac{z}{2}$ = a gyártási (elemi, WILLIS) osztókör sugár, melyhez a C_w gyártási főpont, — az α_w szerszámszög, az $E_{w'}$ és $E_{w''}$ kapcsolási határpontok tartoznak. A teljes (lehetséges) gyártási kapcsolóhossz egyik szakaszfele : $C_w E_{w'}$, $= e_{w'}^{tot} = r_{w'} \cdot \sin \alpha_w$ másik fele : $C_w E_{w''}$ függ a szerszámtól, mely ha fésűkés vagy csigamaró, akkor végtelen, mivel $E_{w''}$ a végtelenben van. Ha azonban vágókerék, akkor $C_w E_{w''} = \frac{z_p}{2} \cdot \sin \alpha_w$ (ahol z_p = a vágókerék fogszáma) Üzemben futó kerékpár tengelytávja = Θ,

a) Egyszerű profileltolásnál vagy elemi késbeállításnál ($\Sigma\mu = 0$) ez a tengelytáv $\Theta = \frac{z_1 + z_2}{2} = z_m = \Theta_w$; rendesen gyártási elemi vagy Willis-tengelytávnak nevezik, amelynél a futó főpont : $C = C_w$ és a futó kapcsolószög $\alpha = \alpha_w$ változatlanok maradnak.

b) Korrigálásnál ($\Sigma\mu > 0$) a futó tengelytáv megnövekedett : $\Theta = \Phi \cdot \Theta_w$; ahol: $\Phi = \frac{\cos \alpha_w}{\cos \alpha}$ = a méretváltó tényező.

Az *a)* esetben a teljes kapcsolóhosszt alkotó két szakaszfél :

$$e_1^{tot} = \overline{C_w E_{w'}} = e_{w'}^{tot} = \frac{z_1}{2} \cdot \sin \alpha_w = r_{G'} \cdot \operatorname{tg} \alpha_w$$

$$e_2^{tot} = \overline{C_w E_{w''}} = e_{w''}^{tot} = \frac{z_2}{2} \cdot \sin \alpha_w = r_{G''} \cdot \operatorname{tg} \alpha_w ,$$

ahol : $r_{G'}$ és $r_{G''}$ az alapkör sugarak. Eszerint a teljes kapcsolóhossz :

$$E_{w'} C_w E_{w''} = \Sigma e_w^{tot} = \Sigma r_G \cdot \operatorname{tg} \alpha_w .$$

A *b)* esetben a két szakaszfél :

$$e_1^{tot} = \overline{CE_1} = r_{G'} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

$$e_2^{tot} = \overline{CE_2} = r_{G''} \cdot \operatorname{tg} \alpha .$$

A teljes kapcsolóhossz : $E_1 C E_2 = \Sigma\, e^{tot} = \Sigma r_G \cdot \operatorname{tg} \alpha$.

E teljes kapcsolóhosszat a fejköröknek a kapcsolóvonalba való bemetszése vagy az esetleges alámetszés megrövidíti. A két veszteségfajta közül a nagyobbik a döntő. A kapcsolóhossz veszteségeket a két szakaszfélben ε_1 és ε_2-vel jelölve, a ténylegesen működő kapcsolóhossz két összetevő szakaszfele így :

$$e_1 = e_1^{tot} - \varepsilon_1 \qquad \text{és:} \qquad e_2 = e_2^{tot} - \varepsilon_2 .$$

Az aktív kapcsolóhossz tehát : $\Sigma e = \Sigma r_G \cdot \operatorname{tg} \alpha - \Sigma \varepsilon$.

Az alaposztás : $\vartheta = \pi \cdot \cos \alpha_w$ lévén, a kapcsolószám :

$$i = \frac{\Sigma e}{\vartheta} . \tag{1}$$

Hogy $i_{\max}$ értékét meghatározhassuk, ismernünk kell Σe-nek μ_1 és μ_2-vel való összefüggését, amiből azután $\mu_1^{\max}$ és $\mu_2^{\max}$, vagyis az optimális késelállítások megállapíthatók lesznek.

Elsőként csak azon kapcsolóhossz veszteséget vizsgáljuk, amely a szabványos fésűkés vagy csigamaró szerszámtól a gyártásnál keletkezik, ahol az áttevés $A_w = \infty$. A vizsgálat elég bonyolult, de döntő $i_{\max}$-ra. Néhány különleges jelölés alkalmazása könnyíti meg a tárgyalást : Hogy a két különböző fajta veszteséget egymástól megkülönböztessük, jelöljük a fejkörbemetszéstől eredőt ε_K-val, az alámetszéstől eredőt pedig ε_w-vel ; jelöljük továbbá a szerszám egyenes vágóélének utolsó K_w pontján (közvetlen a legömbölyítés előtt) átmenő, a fejéllel párhuzamos egyenest $\bar{K}_w$-vel és nevezzük azt fejvonalnak. Ha ez a K_w fejvonal pontosan E_w' határponton megy át, akkor a fogprofil az evolvens G gyökpontjáig vágatik. Ezt nevezzük el totális korrekciónak és a hozzá tartozó késelállítást μ^{tot}-nak, mert ekkor $\varepsilon_w = 0$, alámetszési veszteség nincsen. Ha a $\bar{K}_w$ fejvonal E_w' határponton belül halad, akkor a profilt a szerszám nem vágja egészen végig a gyökpontig ; ekkor az ε_K a fejkörbemetszés okozta veszteség lép érvénybe az üzemi kapcsoláskor. Ezt az esetet hipertotális korrigálásnak nevezhetjük. Ha azonban a K_w fejvonal E_w' határponton túl metszi a kapcsoló vonal meghosszabbítását (K_w) pontban (3 ábra), akkor alámetszés keletkezik. Ezt szubtotális korrekciónak nevezzük.

Az E_w' (K_w) vonaldarabnak megfelelően a fogprofilból a GU rész (mely már generálódott) az alámetszéstől elvágatik. A profilnak megmaradt utolsó U pontja (U)-ban jut kapcsolásba, következésképp a veszendőbe ment kapcsolóhossz darab $\varepsilon_w = \overline{E_w U}$. ($U$).

Nyilvánvalóan $\overline{E_w' U}$ (U) jóval kisebb, mint az $\overline{E_w' K_w}$ túlkapcsoló darab. Az U pont felkeresését rajzban úgy kellene megejteni, hogy a K_w fejpont relatív pályagörbéjével (trochoid) belemetszünk az evolvens profilba ; ez azonban a hegyes metsződés miatt pontosan nem rajzolható meg. Élesebb kijelölésmódot kellett keresni U vagy (U) számára. Ehhez a következő meggondolás vezet. A (K_w) túlkapcsolási pontnak elméletileg megfelelő ellenprofilpont U^{id} az evolvens irreális ágán fekszik, mely a G gyökpontból tükörképben újra emelkedik. A K_w szerszámfejpont relatív pályája ehhez az U^{id} ponthoz vezet érintőlegesen simulva az irreális evolvenshez és útközben alámetszi (elvágja) U-ban a reális ágat. E kinematikai törvényszerűség [1] alapján H. HOFER [2] levezette a szerszám-fejvonalnak a gyártási osztókörtől számított beállítási mélysége és egy megadott alámetszési pont sugara közötti matematikailag exakt összefüggését és ezzel indirekte a kapcsolóhossz veszteséget is, mely az alámetszéstől

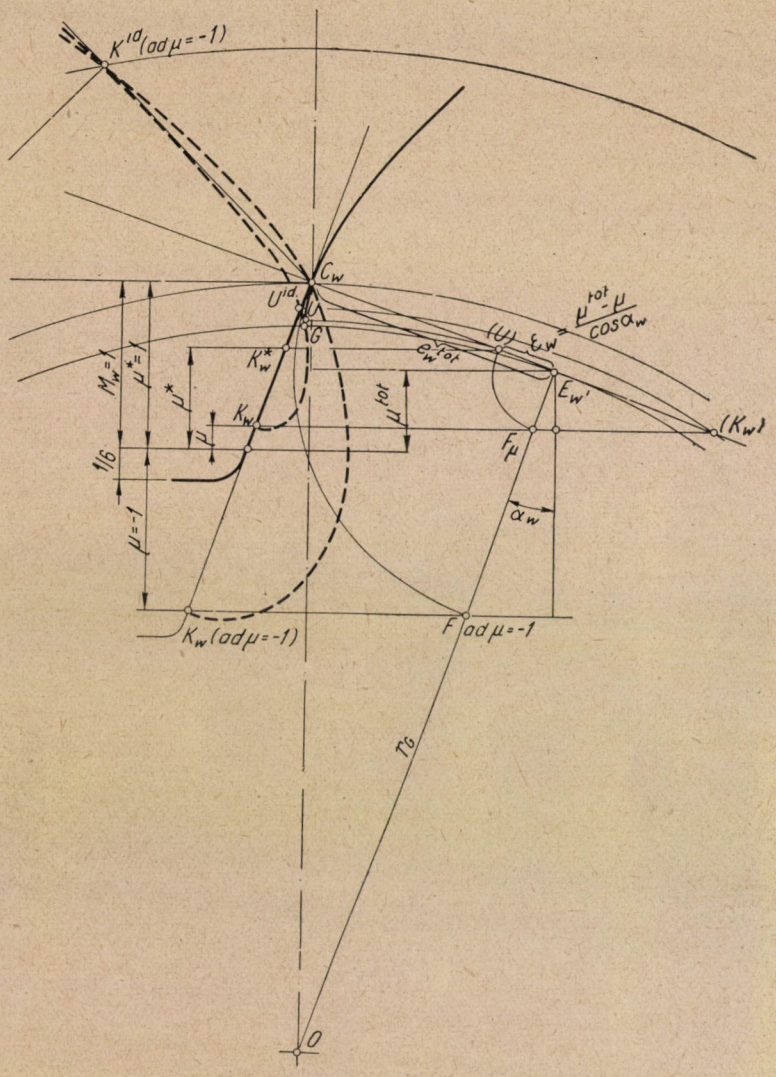
származik. Igen szellemes levezetésén alapuló számítása, amelyhez külön kidolgozott táblázat szükséges, azonban a gyakorlat számára — így jelen célunkra is — nemigen alkalmas. Az irodalomban található más közelítő formulák 100%-tól 150%-ig terjedő hibás eredményeket adnak. Az alább ismertetett közelítő grafikus szerkesztés és az azon alapuló egyszerű számítás gyakorlatilag teljesen elegendően pontos. Pontosságfokát H. HOFER módszerével ellenőrizve, az $\alpha_w = 15°$-os szerszámszögnél a keresett kapcsolószámra való vonatkozásban gyakorlatilag semmi eltérést — az $\alpha_w = 20°$-os szerszámnál is csak jóval 0,1-en aluli eltérést mutat. Mivel a gyártási pontatlanság, a fejéltompítás, valamint az olajozás minősége ennél sokkal nagyobb bizonytalanságot rejt magában a Hertz-feszültség alakulását illetően (aminek lehető csökkenését szolgáló tervezés kutatása jelen vizsgálat végcélja), az alábbi módszert bőven elegendő pontosnak vehetjük. Exakt meghatározást alig lehet képzelni, mert a fejkörbemetszési veszteség is bizonnyára nő a szükséges fogjáték-köz, valamint a fejéltompítás folytán (mindkettő szintén függvénye a gyártási tűréseknek) — másfelől valószínűleg csökken a hidrodinamikai olajozás behatásától. Az eredő hiba a kapcsolószámot illetően nem halad meg néhány százalékot és azonfelül a hiba a biztonsági oldalon van. Tökéletes folyadéksúrlódás a cél, fél folyadéksúrlódás nem elegendő, mert csak néhány ångströmnyi filmréteg nem óv meg a fémi felszínek kisebb-nagyobb mértékű atomikus koptatásától. A tökéletes folyadéksúrlódás viszont elsősorban a Hertz-feszültség kellő csökkentésén múlik. Karcolások, pittingek stb. semmiképp sem tekinthetők atomikus anyagleválásnak. Az ilyenek kiküszöbölése a felszíni finomságtól függ csupán, ami jelen analízisünktől független kérdés. Rátérve a fentebb említett grafikus szerkesztési mód ismertetésére (3. ábra): Az $\overline{E_w,O}$ sugár adja az (U) és ezzel U, valamint ε_w meghatározására vezető módot. A $\overline{K_w}$ fejvonal az $\overline{E_w,O}$ sugarat F pontban metszi. Ha E_w, pontból, mint középpontból $\overline{E_w,F}$ sugárral körívet rajzolva bemetszünk a kapcsolóvonalba, akkor a metszéspont lesz a keresett (U) pont, és így:

$$\varepsilon_w = \overline{E_w, F} = \overline{E_w, (U)} = \frac{\mu^{tot} - \mu}{\cos \alpha_w}, \qquad (2)$$

ahol $\mu =$ az aktuális szubtotál késelállítás.

Mint már hangsúlyoztuk, e módszer matematikailag nem exakt, de azért teljesen megbízható, amit megítélhetünk a 3. ábránkban látható azon határesetből, mikor a K_w pont relatív pályája oly mélyen jár, hogy a teljes e_1^{tot} kapcsolóhossz-szakaszfelet megsemmísíti, aminek $\mu = r_G \cdot \sin \alpha_w - \mu^{tot} = -1$ szubtotális késelállítás felelne meg. Ugyanily hatás következnék be $\mu^* = 1$ hipertotális késelállításnál, mikor is a fejkör C_w ponton, megy át, és hasonlóképp megsemmisíti a teljes e_1^{tot} kapcsolószakasz-felet, mint az előbb az alámetszés trochoidja.

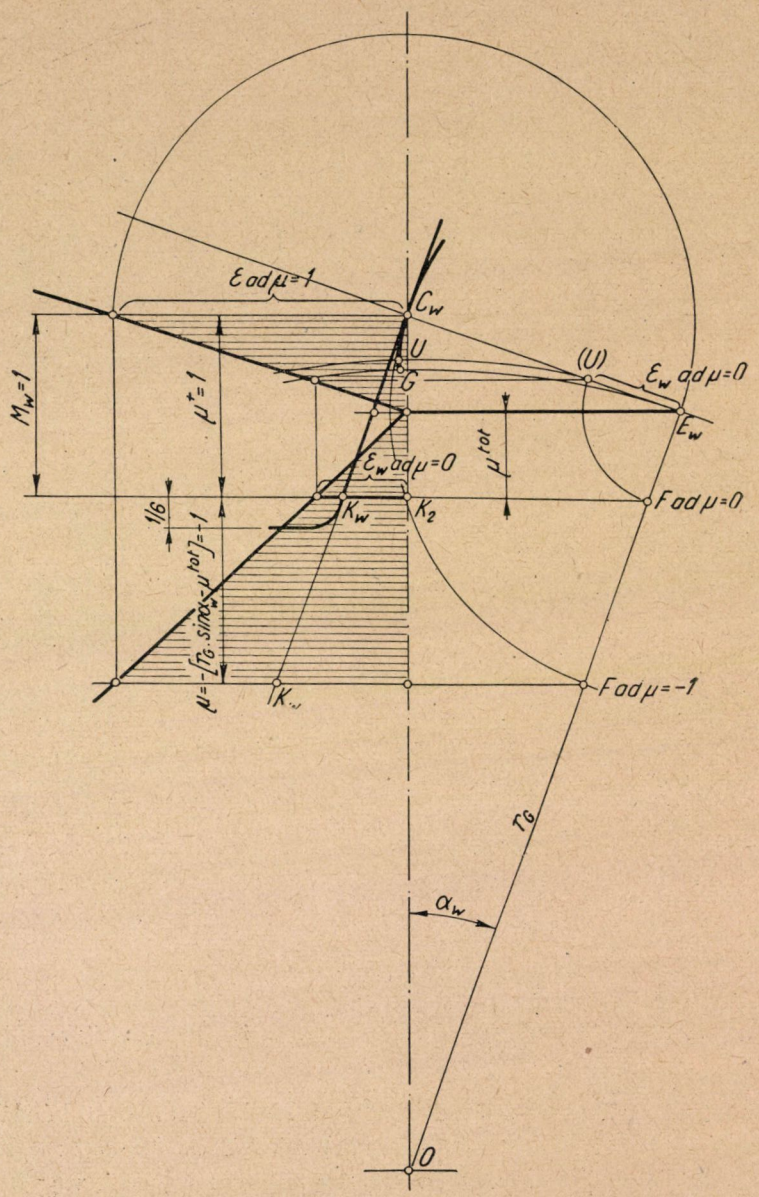
Az alámetszés okozta veszteség növekedő μ-vel folytonosan csökken egészen μ^{tot}-ig, mikor is a szerszám fejvonala éppen átmegy E_w, ponton; ekkor $\varepsilon_w = 0$. Innen tovább növelve μ-t, a veszteség újra növekszik, bár alá-



3. ábra. Közelítő szerkesztés az alámetszési veszteség: E_w-re

metszés már nincsen. Eszerint minden μ^{tot}-nál kisebb (szubtotál) késelállításnak megfelel egy μ^{tot}-nál nagyobb (hipertotális) késelállítás (melyet megkülönböztetésül μ^*-gal jelölünk), amelynél a veszteség azonos nagyságú, vagyis az aktív kapcsoló szakaszfél ugyanoly nagy. A szerszám fejvonalától származó veszteség,

akár alámetszéstől, akár fejkörbemetszéstől származik, megmarad az üzemben futásnál is változatlanul, bármily nagyobb kapcsolószögnél is, mert azt az U utolsó profilpont határozza meg ; ugyanis (U) az U pont körpályáján fekszik, bármily futó kapcsolóvonal esetében. Az alámetszés okozta veszteségek diagramját 4. ábránk mutatja, ahol ε_w a μ függvényében van feltüntetve.



4. ábra. Alámetszési veszteség : E_w

Rátérünk most a futó kerékpárnál keletkező kapcsolóhossz veszteségekre : ε_K-ra, mely az ellenkerék fejkör bemetszésétől származik. Ez már nemcsak μ-től, hanem az A áttételtől is függ. Adott kiskerék fogszámnál az ε_K az $A = 1$ áttételnél a legnagyobb. Egyelőre kizárólag az $A = 1$ áttevés esetének vizsgálatára szorítkozunk, mely alapon a nagyobb áttételek is megítélhetőkké válnak. $A = 1$ áttevésnél a két kapcsolószakasz-fél : $e_1 = e_2$ egyenlő hosszúak, így hát csak az egyikkel kell foglalkoznunk. Minden μ-nek más tengelytáv : Θ, más főpont : C és futó kapcsolószög : α, más kapcsoló vonal, más vágómélység és fejkör felel meg. Említettük, hogy az ε_K veszteség csak akkor érvényesül, ha nagyobb, mint ε_w ; ellenkező esetben ε_w az érvényes.

ε_K rendszerint a nagyobbik érték, mert alámetszés csak kismértékű szokott lenni. Mint látni fogjuk, ε_K növekedő μ-vel folyton növekszik, tehát ellenkezően változik, mint ε_w, mely μ^{tot}-nál éri el minimumát, a nullát, előtte pedig μ-vel csökken.

Az 5. ábrában ilyen $A = 1$ áttevésű kerékpár egyik kerekének fogazásánál követhetjük a viszonyokat. Láthatjuk a futó kapcsolószög és az E határpont meghatározás módját.

Alap egyenleteinkből [4] kiindulva :

$$\varkappa = \mu \cdot \sin \alpha_w \; ; \; \Delta \text{inv.} = \frac{\Sigma \varkappa}{\Sigma r_G} .$$

Adott μ-nél Δ inv. értékéhez a táblázatból kivesszük cos α értékét, mellyel a tengelytáv : $\Theta = \dfrac{\Sigma r_G}{\cos \alpha}$. Esetünkben $A = 1$ lévén, a két kerék alakilag is egybevágó.

Az alapkör sugár : $r_G = \dfrac{z}{2} \cdot \cos \alpha_w$

A lábkör sugár : $r_L = \dfrac{z}{2} - 1\dfrac{1}{6} + \mu$.

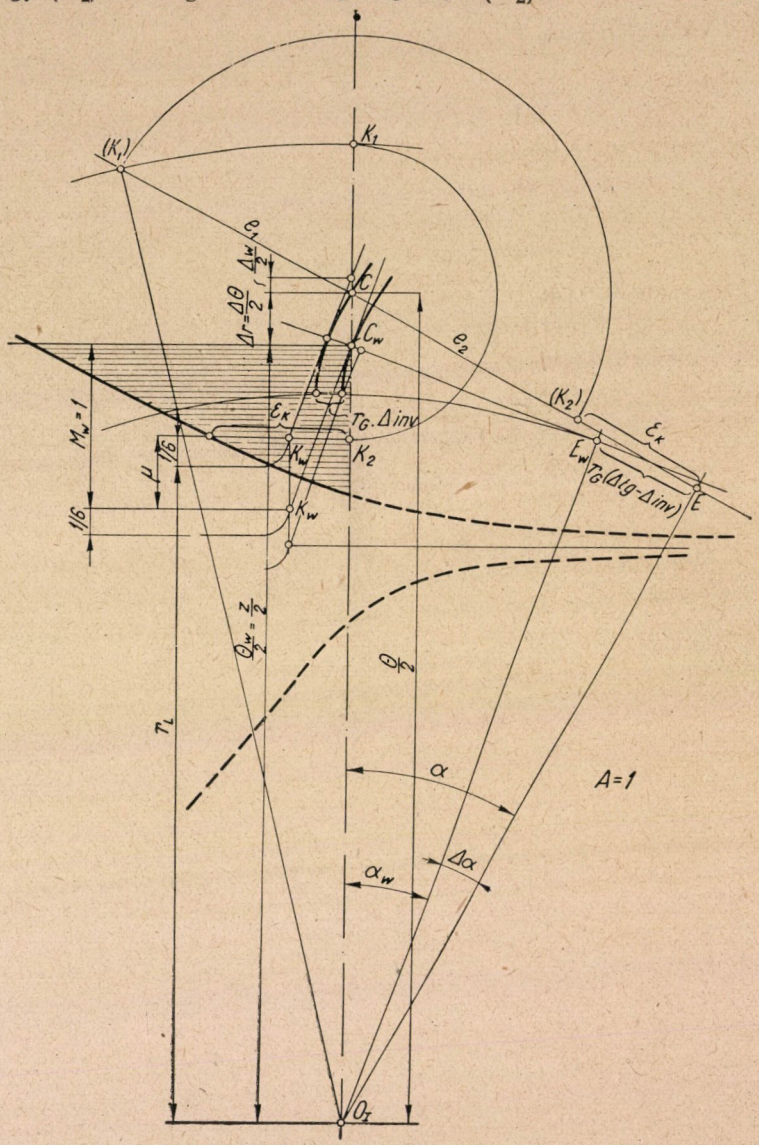
A futó főpont a futó tengelytáv felező pontja. A fejkör rajzban egyszerűen megállapítható az ellenkerék középpontjának felrajzolása nélkül, azon meggondolásból, hogy az ellenkerék fejköre a lábkörtől $\dfrac{1}{6}$ távolságban (fej-láb köz) halad és átmegy a K_2 fejponton, miáltal K_2 meg van határozva és ezzel a fogak fejmagossága is :

$$\overline{CK_2} = \frac{\Theta}{2} - r_L - \frac{1}{6} = \frac{\Theta}{2} - \left(\frac{z}{2} - 1\frac{1}{6} + \mu\right) - \frac{1}{6} = \frac{\Theta - z}{2} + 1 - \mu = \overline{CK_1} .$$

Ezzel a futó fejkör sugara : r_K :

$$r_K = \overline{O_1 K_1} = \overline{O_1 C_w} + \overline{CK_1} = \frac{\Theta}{2} + 1 - \mu = \overline{O_{11} K_2} .$$

A futó fejkör bemetszéspontja a kapcsolóvonalba megadja a (K_1) utolsó kapcsolópontot és ezzel: $\overline{(K_1)C} = e_1 =$ az aktív kapcsolóhossz egyik szakaszfele. Mivel $e_1 = e_2$, így (K_2) is megvan, ezzel pedig $\varepsilon_K = \overline{(K_2)E}$. Mindez az 5. ábrában



5. ábra. Fejkör bemetszési veszteség: E_K ($A = 1$-re)

követhető módon, a megfelelő méreteknek a C főpont körüli egyszerű átforgatása útján, történik. Számítással (2. és 5. ábra):

$$\widehat{E_w E} = r_G \cdot (\text{arc}\,\alpha - \text{arc}\,\alpha_w) = r_G \cdot \Delta\,\text{arc}\,.$$

Mivel $\Delta \text{arc} = (\text{tg}\,\alpha - \text{tg}\,\alpha_w) - \Delta \text{inv}.$ Így:

$$\widehat{E_w E} = r_G \cdot (\Delta \text{tg} - \Delta \text{inv}); \quad \text{vagy:}$$

$$\overline{CC}_w = r - r_w = \frac{\Theta}{2} - \frac{\Theta_w}{2} = \frac{\Delta\Theta}{2} = \frac{\Delta \cos}{\cos\alpha \cdot \cos\alpha_w} .$$

5. ábránk ε_K-nak μ-vel való növekedését is mutatja. A diagram szaggatott vonallal rajzolt része (folytatása) már nem juthat érvényre, mert ott ε_w már mindenkor a nagyobb érték.

Ha a fejkör az E ponton túl metsz a futó kapcsolóvonalba, akkor a fogfejen inaktív zónadarab keletkezik, amely még ütközés nélkül bír áthaladni az alámetszéstől szabadra vágott szűk téren. Hasonló okból inaktív zóna keletkezhetik a fogprofil gyökénél is, ha $\varepsilon_w < \varepsilon_K$. Mindkét fajta inaktív zónát az (U) és a K_2 pontnak a profilra való visszaforgatásával ki is jelölhetjük, mint az a 6. és 7. ábrában megfigyelhető. (Megjegyzendő, hogy ha $A = 1$ áttevésnél vágókerék szerszámmal dolgozunk és annak fogszáma kisebb a vágandó fogszámnál, akkor kis μ késeltoláskor megtörténhetik, hogy az alámetszés nem nyit elegendő tág teret az ellenkerék fogfejének és ütközés lesz. Ily abnormális esetekre kitérni azonban túllépné keretünket.)

Világosan látható, hogy maximális kapcsolóhosszt akkor kapunk, ha $\varepsilon_w = \varepsilon_K$, vagyis, ha (U) összeesik (K_2)-vel; más szóval: ha inaktív zóna nem keletkezik. Az ehhez szükséges μ^{imax} késelállítás (a kapcsolószám szempontjából optimális érték) az ε_w és az ε_K diagramok egymásra rajzolásából adódik. A diagramok átmetszéspontjához tartozó késelállítás lesz μ^{imax}. A szerkesztés a 8. ábrában látható. Ez a μ^{imax} érték a μ^{tot} és az $\frac{1}{2}\,\mu^{tot}$ értékek között van, közelebb a féltotál-hoz, kivált a nagyobb fogszámoknál.

Felrajzolás helyett következőképpen számíthatunk:
ε_w értékét már megadtuk a (2) egyenlettel,
ε_K értékét a $(K_1)\,EO_1$ derékszögű háromszögből kapjuk:

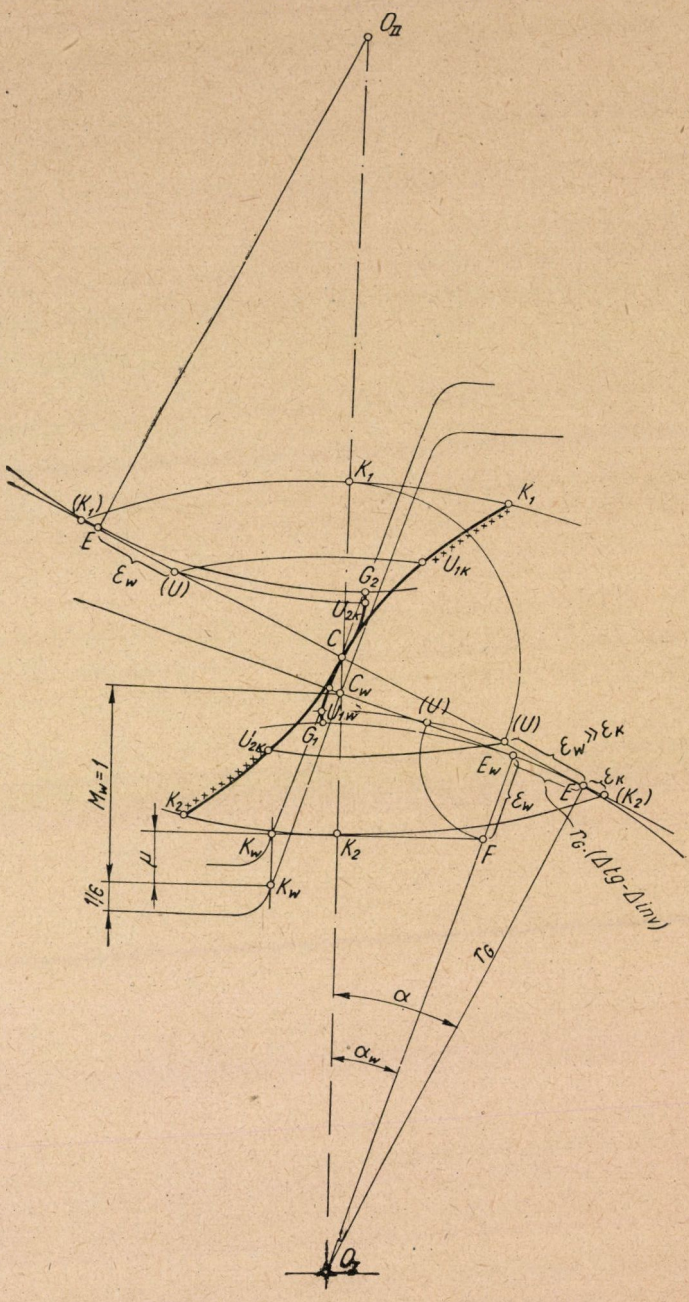
$$\varepsilon_K = r_G \cdot \text{tg}\,\alpha - e_1 .$$

Mivel $e_1 + r_G \cdot \text{tg}\,\alpha = \sqrt{r_K^2 - r_G^2}$; továbbá:

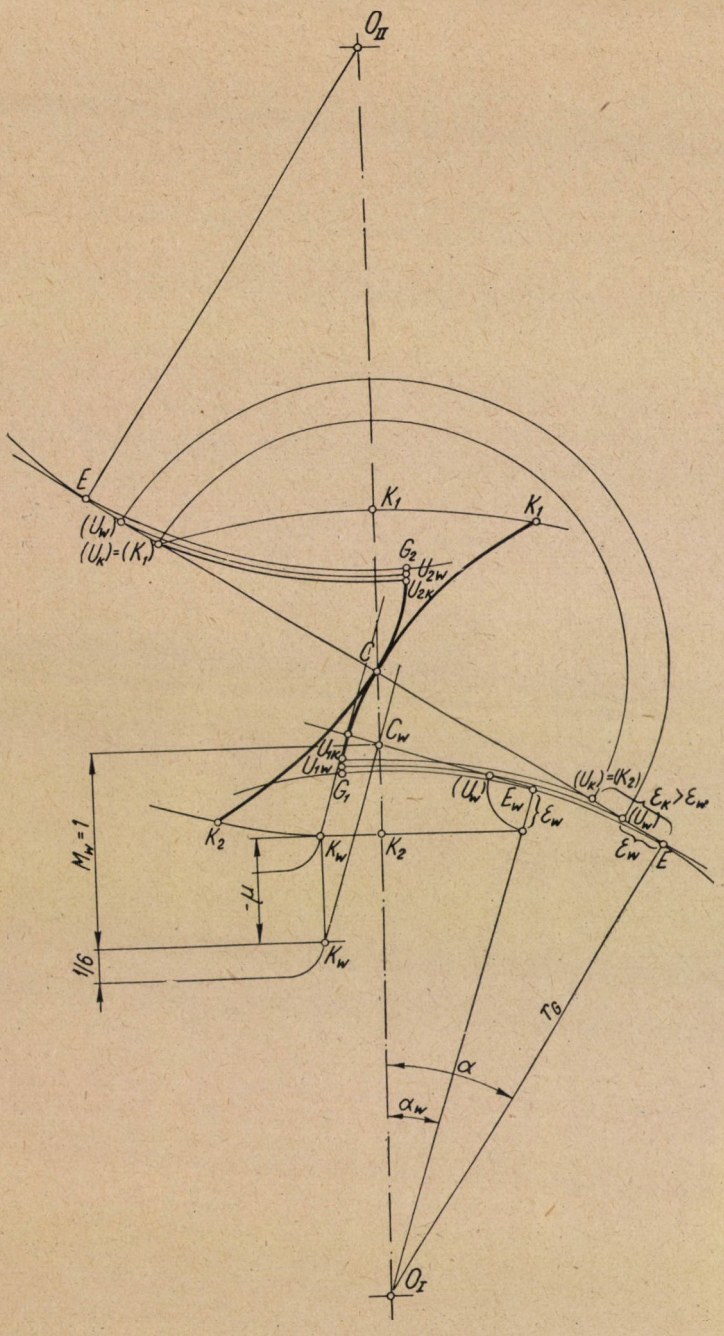
$$r_K = \Theta - r_L - \frac{1}{6}; \quad \text{ahol:} \quad \Theta = \frac{2 \cdot r_G}{\cos\alpha}; \quad \text{és:}$$

$$r_L = \frac{r_G}{\cos\alpha_w} - 1\frac{1}{6} + \mu$$

$$r_K = 1 - \mu + r_G \cdot \left(\frac{2}{\cos\alpha} - \frac{1}{\cos\alpha_w}\right) .$$



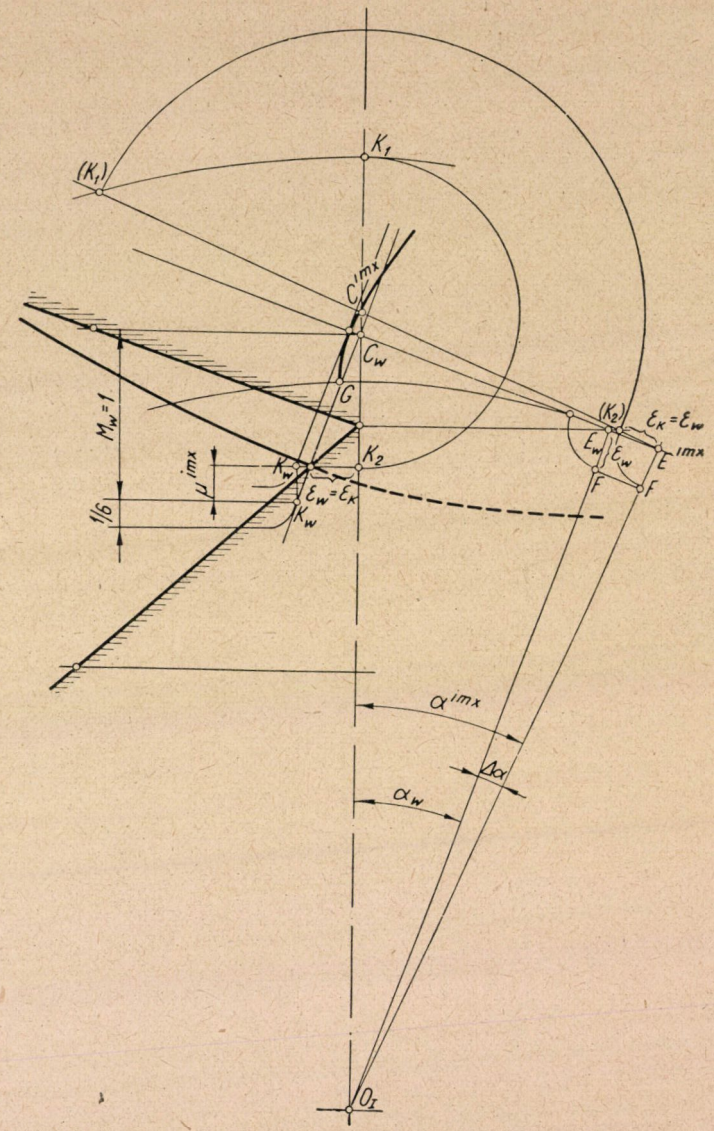
6. ábra. Inaktív zóna a fogfejen



7. ábra. Inaktív zóna a fog lábán

Így:

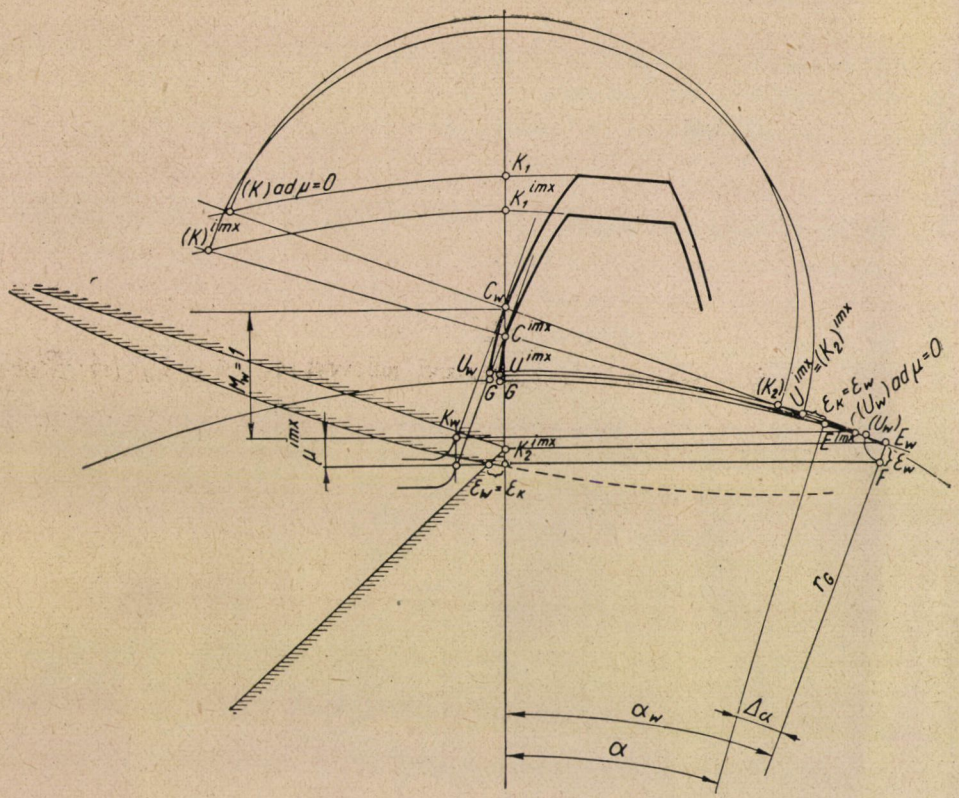
$$\varepsilon_K = 2 \cdot r_G \cdot \operatorname{tg} \alpha - \sqrt{r_K^2 - r_G^2} \ . \tag{3}$$



8. ábra. ε_w és ε_K együttes diagramjából nyert optimális késelállítás: μ^{imax} (A = 1-re)

A számítás nehézkes, de ellenőrzésül szolgálhat μ^{imax} grafikus meghatározásának, amennyiben ε_w és ε_K egyenlőnek kell adódnia. Növekvő μ és r_K-val a teljes lehető kapcsolóhossz ugyan növekszik, de ε_K egyidejű növekménye gyorsan fogyasztja annak aktív részét. Ha bármi okból nem μ^{imax} kerül alkal-

mazásra, akkor helyesebb, ha a mindenképp keletkező inaktív profilzónát a fogprofil gyökére hárítjuk μ^{imax}-nál nagyobb, de még μ^{tot}-nál kisebb késelállítás választásával. Mint már említettük, μ^{imax} kis fogszámnál nagyobb, mint nagy fogszámnál. Nagyobb α_w szerszámszöggel az alámetszés okozta veszteség gyorsan fogy, de az egyidejüleg keletkező fejkörbemetszés okozta veszteség annál gyorsabban növekszik.



9. ábra. Nagyobb fogszámoknál negatív késelállítás csökkentheti a kapcsolóhossz veszteséget

Nagy fogszámnál (vagyis $\alpha_w = 15°$ esetén $z > 30$; $\alpha_w = 20°$ esetén $z >$ 18-nál) a szerszám fejvonala $\overline{K_w}$ már $\mu = 0$-nál is az E ponton belül halad, vagyis nem okoz alámetszést; ilyenkor a kapcsolóhosszban a veszteséget egyedül a fejkörbemetszés okozza, amit bizonyos mértékig negatív késelállítással lehet csökkenteni, mint azt példában $z = 18$ és $\alpha_w = 20°$, $A = 1$ esetében a 9. ábra mutatja. A fog alakja — $\alpha_w = 15°$-nál $z = 24$-ig, $\alpha_w = 20°$-nál $z = 14$-ig — késelállítás nélkül ($\mu = 0$), bár alámetszett, de még nem túl kedvezőtlen. Nagyobb fogszámoknál negatív késelállítással a kapcsolás aktív hossza növelhető. Mivel az alámetszés a fogat hajlító szilárdságában gyengíti,

az általános vélemény szerint negatív késelállítás csak az alámetszés határáig lenne megengedhető. Számos érv szól mégis némi alámetszés megengedése mellett, különösen olyankor, amikor a fogak rugalmas behajlása inkább kívánatos, mint ártalmas. A kapcsolás aktív hosszának növelése nem jelentéktelen előny a Hertz-feszültségek csökkentése szempontjából és így a tökéletes folyadéksúrlódáshoz minimálisan szükséges olajfilm alakulása tekintetében is.

A profil utolsó pontjánál az alámetszésből kétségkívül él keletkezik, melyet általában veszedelmesnek tartanak, mert ott a profil görbületi sugara elméletileg = 0. Azonban meggondolandó, hogy ez az él a gyökpont közvetlen közelében képződik, ahol az evolvens görbületi sugara is már közel = 0 és az alámetszés trochoid görbéje igen hegyes szög alatt metszi az evolvenst, a két görbe majdnem összefolyik. A keletkező él relatív elmozdulása oly értelmű, hogy rugalmas elhajlása inkább csökkenti a Hertz-feszültséget [5] és az olajfilm e kedvező elmozdulás-értelem következtében nem fog megsérülni.

Röviden összefoglalva: μ^{imax} kis fogszámnál nagyobb értékű. Nagyobb α_w szerszámszögnél ε_w ugyan csökken, de ε_K annak fejében rohamosan növekszik. Aktív kapcsolóhossz szempontjából $\alpha_w = 15°$ előnyösebb, mint $\alpha_w = 20°$.

Az $A = 1$, valamint a gyártási $A = \infty$ áttevéshez 15° és 20° szerszámszögre áttekinthető diagramokat ad 11. és 12. ábránk.

Megelőzőleg azonban még meg kell állapítani a $\hat{\mu}$ határértékeket a fogak kihegyeződése tekintetében (10. ábra).

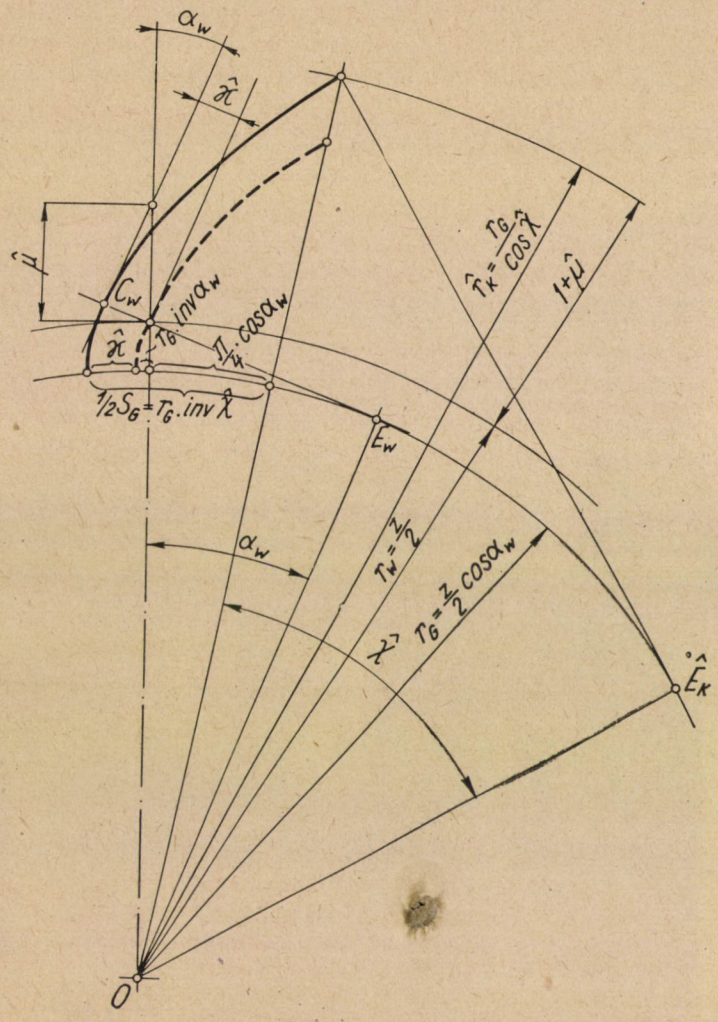
A fogvastagság az alapkörön:

$$s_G = \frac{\pi}{2} \cdot \cos \alpha_w + 2 \cdot r_G \cdot \operatorname{inv} \alpha_w + 2 \cdot \mu \cdot \sin \alpha_w .$$ Adott μ-nél: $\operatorname{inv} \hat{\chi} = \frac{s_G}{2 \cdot r_G}$ kiszámítható.

A fog fejvastagsága az r_K sugarú fejkörön: $s_K = 2 \cdot r_K \cdot (\operatorname{inv} \hat{\chi} - \operatorname{inv} \chi_K)$. Kihegyeződésnél $s_K = 0$, ami akkor következik be, ha: $\operatorname{inv} \hat{\chi} = \operatorname{inv} \chi_K$. Az inv χ_K meghatározására: $\cos \chi_K = \frac{r_G}{r_K}$ ahol: (a rendes $2 \frac{1}{6}$ vágómélységgel számítva) $r_K = \frac{z}{2} + 1 + \mu$. Ezzel $\cos \chi_K$ ismert és a táblázatból hozzá inv χ_K értéke kivehető.

Fokozatosan növelt μ értékeknek megfelelően tehát az s_G, inv $\hat{\chi}$, r_K és inv χ_K értékek sorozatának kiszámítása útján elérkezünk addig, míg inv $\hat{\chi} =$ = inv χ_K és az ekkor előforduló μ lesz a keresett $\hat{\mu}$ késelállítás, melynél a fog kihegyeződik. (Meg kell jegyezni, hogy az alapul vett $2 \frac{1}{6}$ vágómélység a ténylegesnél valamelyest nagyobb, de ez a különbözet: $\Delta_w = z \cdot \left(\frac{\Delta \operatorname{inv}}{\operatorname{tg} \alpha_w} - \frac{\cos \alpha_w}{\cos \alpha} + 1 \right)$ csekély [4], csak annyit jelent, hogy a számított $\hat{\mu}$ késkihúzásnál a fogak ugyan még nem lesznek teljesen élesek, de határértéknek a kihegyeződésre ez már elfogadható.

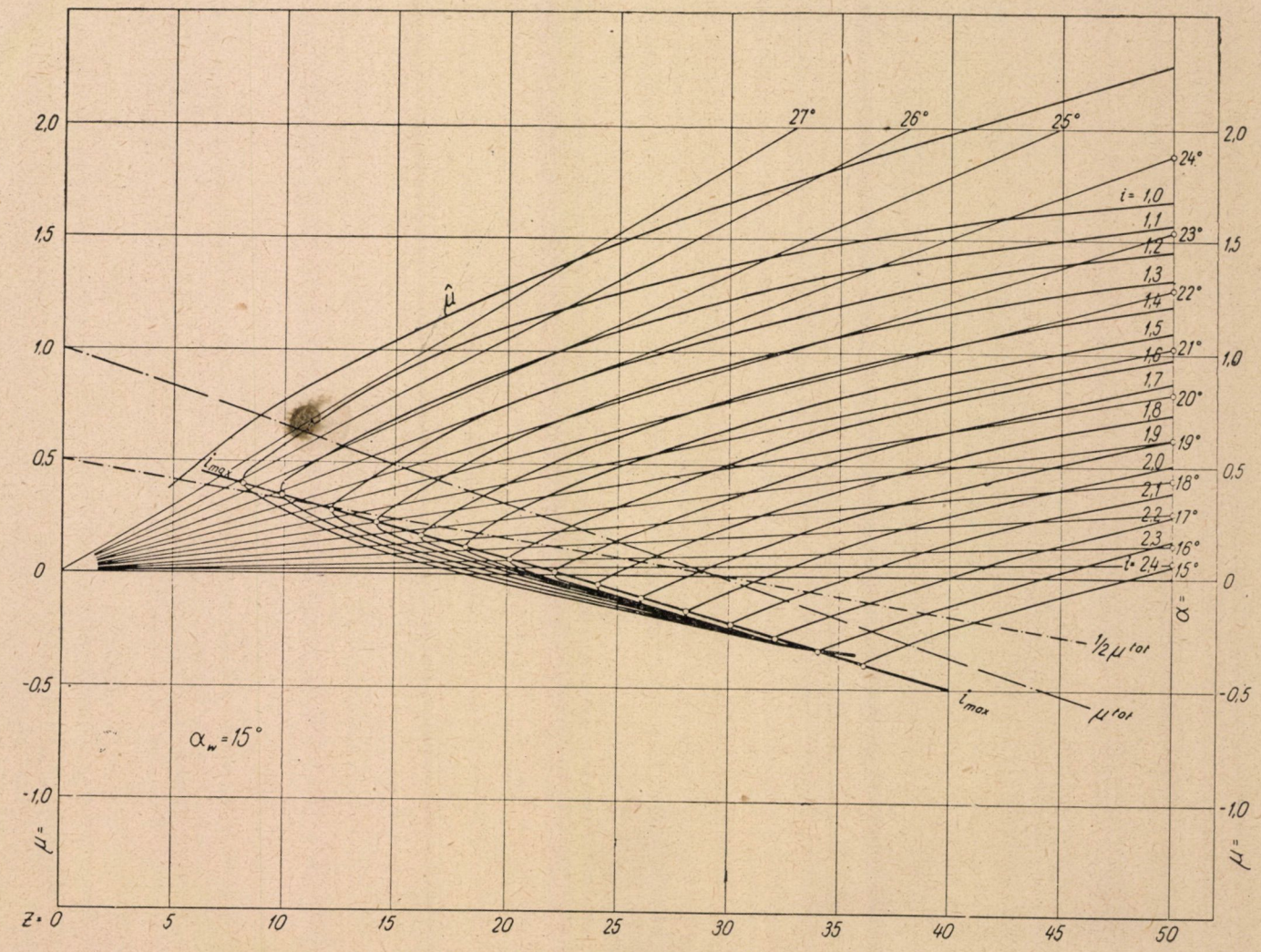
A 11. és 12. ábrában $\hat{\mu}$ görbéjén kívül a μ^{tot} és az $\frac{1}{2} \cdot \mu^{tot}$ értékek vonala is be van rajzolva a : $\mu^{tot} = 1 - \frac{1}{2} \cdot \sin^2 \alpha_w$ összefüggés alapján. Fel vannak



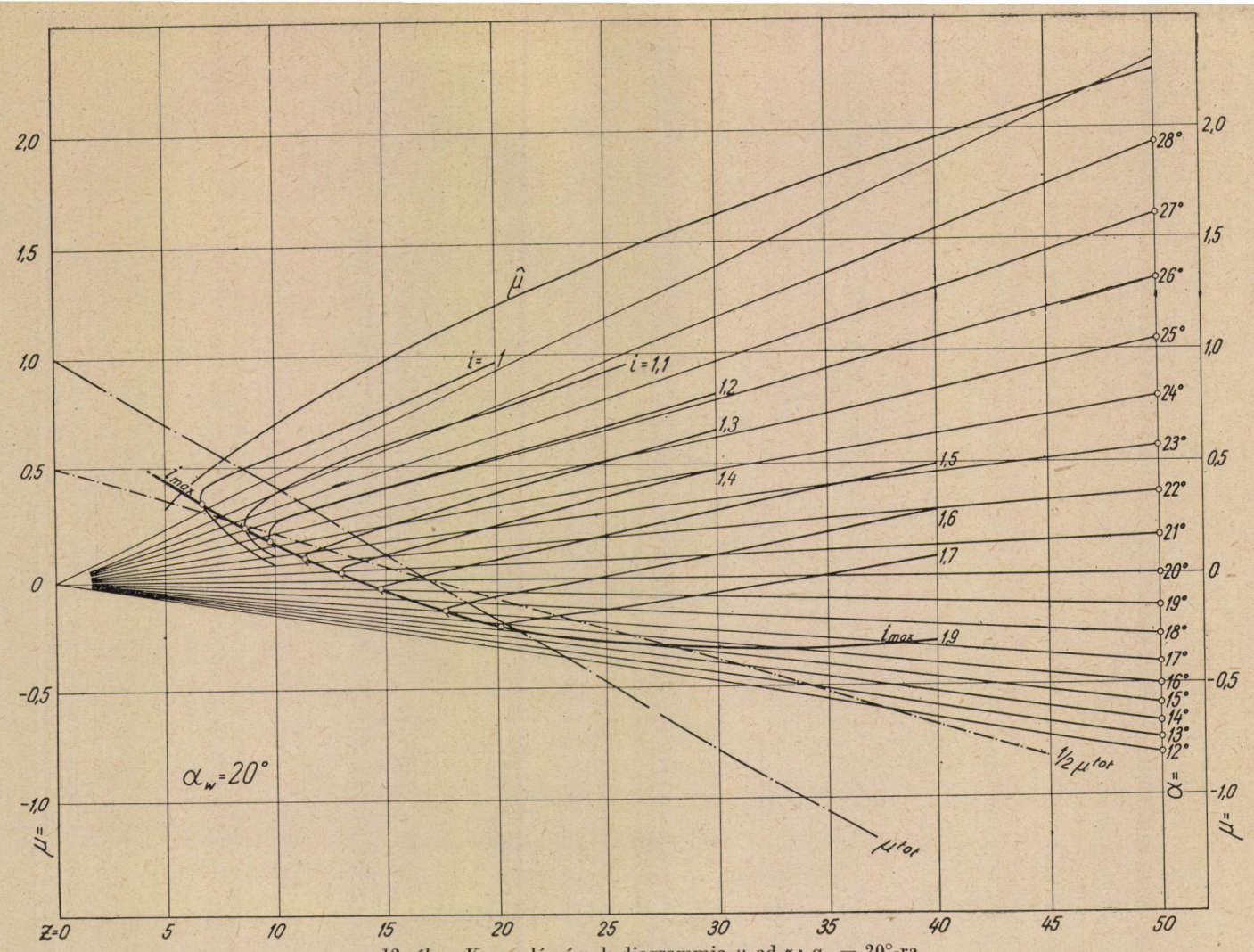
10. ábra. A kés elállításának fogkihegyeződési határa

továbbá tüntetve az egyes α futó kapcsolószögekhez tartozó μ értékek sugárirányú vonalai is, melyek a fogszámmal lineárisan affinek.

Valamely α-hoz tartozó μ_a késelállításra : $\mu_a \cdot \sin \alpha_w = r_G \cdot \Delta$ inv összefüggésből számítható [4] és $r_G = \frac{z}{2} \cdot \cos \alpha_w$ alapon fogszámonként



11. ábra. Kapcsolószámok diagramja (μ ad z) $\alpha_w = 15°$-ra



12. ábra. Kapcsolószámok diagrammja μ ad z: $\alpha_w = 20°$-ra

$\alpha_w = 14°$-tól $27°$-ig van megállapítva. (A számítást csak egy fogszámra kell elvégezni, mert az egyes α szögekhez tartozó μ értékek fogszám szerint lineárisan affinek.)

A 11. és 12. ábrában a μ és z koordináta hálózaton az i kapcsolószám görbéi — közöttük az i_{max} görbe — foglalnak helyet. A diagramok kiszámítása körülményes és fáradságos. Valójában csak az $A = 1$ áttevésre vonatkoznak. Az i_{max} görbe azonban elegendő közelítéssel más áttevésnél is megfelel, ha μ_1^{imax}-ot z_1-hez, μ_2^{imax}-ot a z_2-hez választjuk és i_{max} értékét a : $z = \sqrt{z_1 \cdot z_2}$-hez keressük ki.

Jelen analízis célja a fogazás kenésproblémájának megoldásához való hozzájárulás. Az olajfilm a jelenkori acélötvözeteknél megengedhető magas Hertz-igénybevételeket nem bírja el, bármily hidrodinamikai segítséggel sem. Olajozás szempontjából az effektív p_{max} vonalnyomás megengedhető értéke mértékadó. Lineáris interpolációval : $p = \dfrac{P}{B \cdot i \cdot \cos \alpha}$, ahol :

P = a kifejtendő kerületi erő az osztókörön kg-ban és

B = a kerékszélesség cm-ben.

A p vonalnyomás csökkentése i növelése és α csökkentése útján lényegesen számottevő mértékben lehetséges és jelen analízis erre kíván rámutatni.

IRODALOM

1. E. VIDÉKY : The Rationalisation of Gear Cutting. Press of the Roy. Hung. University. 1933.
2. H. HOFER : Ing. Forsch. V. D. I. Ztschr. Bd. 83. No. 37/38. 20. Sept. 1941.
3. NARUSÉ, M. Technol. Rep. Tohoku Imp. University Bd. 12. 1931. No. 2. S. 133 (referred to by H. Hofer).
4. E. VIDÉKY : Kinematic and Geometrical Calculations on Involute Spur Gears.-Acta Tech. of the Hung. Acad. of Sc. 1953. Tom VI. Fasc. 3—4.
5. E. VIDÉKY : Tip Relief on Spur Gear Teeth. Acta Tech. of the Hung. Acad of Sc. 1954. Tom. X. Fasc. 1—2.
6. E. VIDÉKY : Beiträge z. Berechnung d. Zahnräder Z. d. V. Östr. Ing. u. Arch. 1908. No. 36.
7. E. VIDÉKY : Beitrag z. Berechnungsweise d. Zahnräder. V. D. I. Maschinenbau 1926. Heft No. 8.

ÖSSZEFOGLALÁS

A jelenkor követelményeinek megfelelő fogaskerék tervezés feladata a tökéletes folyadéksúrlódás létesítése. A minimálisan szükséges megszakítatlanul maradó olajfilm-vastagság megvalósíthatósága elsősorban a Herz-feszültségek kellő csökkentésén múlik.

A kapcsolószám növelése némi alámetszés megengedése útján, valamint a futó kapcsolószög lehető csökkentése, e tekintetben lényeges segítség. A kérdés részletes elemzése.

KANDÓ KÁLMÁN*

VEREBÉLY LÁSZLÓ
LEV. TAG

Ha megengedhető az a közelítés, hogy egy új tudományág kifejlődésének kezdetét valamely jelentősebb esemény bekövetkezésével hozzuk összefüggésbe, akkor bátran állíthatjuk, hogy a DAVY által az angol Royal Institution előtt 1810-ben felvillantott ívfény volt az a hajnalcsillag, amely az elektrotechnika Napjának felkeltét jelezte.

A XIX. század első felében egymást követik az alapvető felfedezések, amelyek elsősorban VOLTA, OERSTED, AMPÈRE és FARADAY nevéhez fűződnek, s amelyeket MAXWELL zseniális elmélete kapcsol az erősáramú technikának a század második felében meginduló diadalmenetéhez.

Egymástól függetlenül 1867-ben mutatja be SIEMENS és WHEATSTONE az első soros, illetőleg sönt dinamógépet, amelyben JEDLIK hat évvel előbb felismert öngerjesztési elve jut ipari sikerre.

A berlini iparkiállítás kisvasútján 1879-ben megjelenik az első villamos mozdony és az 1881.-i párisi világkiállítás alkalmával először gyulladnak fel Európában EDISON izzólámpái.

1882-ben MILLER kezdeményezésére DEPREZ elgondolása szerint elkészül a világ első kísérleti egyenáramú erőátviteli berendezése Miesbach és München között, amelyet 1884-ben a torinói kiállítás világítását ellátó első váltakozóáramú átvitel követ, GAULARD és GIBBS ún. szekunder generátoraival.

1885 elején szabadalmazták a híres ZIPERNOVSZKY—DÉRI—BLÁTHY triász azóta is egyeduralkodó transzformátoros erőátviteli és elosztó rendszerét, s ugyanekkor találja fel FERRARIS a forgó mágnesmezőt, amelynek alapján TESLA 1888-ban kidolgozza a többfázisú indukciós motorok elvét. A háromfázisú rendszer 1891-ben aratja első sikerét, amidőn DOLIVO-DOBROVOLSZKIJ és BROWN tervei szerint megépül Lauffen és Frankfurt között az első 20 kV feszültségű ún. forgóáramú erőátvitel.

Végül 1892. július hó 4-én helyezik üzembe a világ első nagyszabású vizerőművét Tivoliban, amelynek energiáját a Ganz-gyár 42 periódusú transzformá-

* A Magyar Tudományos Akadémia műszaki tudománytörténeti, energetikai, és közlekedési főbizottságainak 1956. évi január 12-én Kandó Kálmán halálának 25. évfordulóján tartott ülésen elhangzott emlékbeszéd.

toros rendszerével viszik át Rómába és osztják szét az Örök-Város villamos kábelhálózatán.

Az elektrotechnika e forrongó fejlődésének korszakára esnek az 1869. július hó 10-én Budapesten született KANDÓ KÁLMÁN serdülő évei, amelyek alatt már a gimnáziumban nagy érdeklődést és tehetséget tanúsított a mennyiségtan és a természettan iránt, és — saját elbeszélése szerint — mérésekre is alkalmas laboratóriumi berendezésről álmodozott. Különösen nagy benyomást tett rá az 1883. évi bécsi villamossági kiállítás, amelyet atyja kíséretében látogatott meg, ahol a Ganz-gyár akkori időkben óriásinak minősülő, 150 LE-s gőzgéppel egybeépített váltakozóáramú generátora figyelmét az akkor kibontakozni kezdő magyar elektrotechnikai ipar felé irányította.

Az 1888/89 tanévben a budapesti Műegyetem gépészmérnöki osztályára iratkozott be, ahol minden szigorlatát kitűnő eredménnyel tette le. IV. éves korában egy elektrotechnikai tárgyú pályázaton 100 aranyforintos első díjat nyert, és tanulmányait 1892-ben kitűnő minősítésű oklevéllel fejezte be. Szigorlati terve villamos hajtású futódaru volt, amely messze meghaladta az ilyen tervek szokásos színvonalát.

Katonai kötelezettségének a haditengerészetnél eleget téve, az akkori szokásnak megfelelően, tapasztalatszerzés céljából először külföldre, jelesül Franciaországba ment, ahol a Compagnie de Fives-Lille vállalat tervező irodájában — a sors sajátságos rendelése szerint — indukciós motorok tervezésével bízták meg, amely feladat teljesítésére eredeti új számítási módszert dolgozott ki.

Egy év múlva, 1894-ben, MECHWARTnak a Ganz-gyár akkori széleslátókörű vezérigazgatójának meghívására már a Ganz & Tsa elektrotechnikai osztályán dolgozik, és francia tapasztalatainak felhasználásával bevezeti az indukciós motorok gyártását.

A lángész megsejtésével felismeri azokat a sajátságokat, amelyek ezt a motortípust a vasuti vontatás céljára is kiválóan alkalmassá teszik, s ezért kezdeményezésére és vezetése alatt a Ganz-gyár már 1895-ben foglalkozni kezdett a háromfázisú villamos vasúti vontatás kérdésével, majd 1896 őszén egy méter nyomtávú próbapályát létesített, amelyen indukciós motor hajtotta kis kocsival megkezdődtek azok a kísérletek,amelyek KANDÓ szellemét a nagyvasutak villamosításának feladatával élete végéig eljegyezték.

Egy rövid külföldi tanulmányút meggyőzte őt arról, hogy sem az Amerikai Egyesült Államokban a Baltimore & Ohio vasút baltimorei alagútszakaszán alkalmazott 600 voltos egyenáram, sem a svájci Burgdorf—Thun-i helyközi vasút villamosítására használt 750 voltos háromfázisú áram, a munkavezeték kis feszültsége miatt, nem elégítheti ki a nagyvasúti járművek teljesítményszükséglete támasztotta igényeket. Ezért amidőn 1898-ban két felső-olaszországi vasúttársaság nemzetközi pályázatot hirdetett a Varesina és a Valtellina vasút villamosítására, a Ganz-gyár KANDÓ tervei szerint, a külföldi szakértők sze-

mében hihetetlenül merésznek látszó 3000 volt feszültségű háromfázisú rendszerrel lépett elő.

KANDÓ a Magyar Mérnök és Építész Egylet 1900. november 10-én tartott egyetemes szakülésén „Az elektromos vontatás nagyvasutakon nagyfeszültségű váltóárammal" című előadásában igen világosan megindokolta, hogy miért választotta éppen ezt a feszültséget. Szerinte, amíg „a transzformátor alállomásokat tápláló áramfejlesztő telep feszültsége általában lehetőleg nagyra választandó", addig a „kontaktus vezeték feszültségének" két körülmény szab határt. Az egyik az ívhúzásmentes áramszedés, amit kb. 300 amperig biztosítottnak látott, s amely 3000 volttal 90% hatásfok és $\cos \varphi = 0{,}85$ feltételezésével a mozdonyok számára az üzem akkori követelményeinek bőségesen megfelelő 1500—1600 LE teljesítőképességet biztosított. A másik az, hogy erre a feszültségre „a motorok és a készülékek a praxis kívánalmainak megfelelő biztonsággal készíthetők", míg nagyobb feszültség már transzformátor alkalmazását tenné szükségessé, márpedig „a transzformátor-alállomásnak a vonatra való helyezése nemcsak megokolatlan, hanem nagymértékben hátrányos is, mert a villamos vontatás egy nagy előnyét, az elektromos vonatok motorikus berendezésének könnyűségét adja föl és a vonat meddő súlyát sok tonnával növeli". „A kontaktus drót elektromos feszültségét ilyen áron növelni célszerűtlen".

Az úttörő nagy feszültség természetesen nemcsak a közvetlenül táplált hajtómotorok szerkezeti nehézségeinek legyőzését követelte, hanem a rendszer újszerűsége magával hozta, hogy számos egyéb alkatrészt is előzmény nélkül fel kellett találni, hogy az egész rendszer üzemképes szerves egészet alkothasson. Így meg kellett szerkeszteni az újszerű futóművet, a hajtóművet — a híres KANDÓ-féle háromszöget —, a kapcsoló és a szabályozó berendezést, a folyadékindítót, az áramszedőt, sőt az egész kettős munkavezeték szerkezetét is, kényes légváltóival — hogy csak a legfontosabbakat említsem.

Csak a 29 éves lángész optimizmusa, saját alkotóképességébe vetett bizalma, és akadályt nem ismerő tettrekészsége magyarázhatja meg azt a merész lendületet, amellyel KANDÓ a sokoldalú feladat megoldásának a töretlen úton nekivágott, és az eléje tornyosuló nehézségeket — lelkes munkatársaktól támogatva — teljes sikerrel legyőzte.

A Valtellina nehéz vonalán 1902. szeptember hó 4-én ünnepélyes keretek között megnyílt villamos üzem minden ízében újszerű, gondosan kidolgozott és teljesen kiforrott rendszert tárt a világ elé, olyan korban, amelyben másutt még alig jutottak a tapogatózó kísérleteken túl. Az elért eredményt ARNO professzor hivatalos szakvéleménye „valóban csodálatra méltó haladás"-nak minősítette, és két évi üzem után 1904-ben az Olasz Elektrotechnikai Egyesület bolognai kongresszusán megállapították, hogy „a nagyfeszültségű háromfázisú árammal szemben hangoztatott pesszimisztikus előítéletek alaptalanoknak mutatkoztak", hogy „a háromfázisú rendszer nagy diadalt aratott", hogy „nemcsak nem áll a (Varesinán alkalmazott) 600 voltos egyenáramú rendszer

mögött, hanem azt teljesítőképesség tekintetében felül is múlja", ezért „a gőzvontatással, mint egyenrangú fél veheti fel a versenyt", és „a villamos mozdonyokkal a legnagyobb teljesítőképességű gőzmozdonyok mind a személy-, mind a teherforgalomban minden tekintetben helyettesíthetők".

A nagy, nemcsak a műszaki, hanem a gazdasági téren is elért siker arra indította az olasz kormányt, hogy a vasutaknak 1905. július 1-én történt állami tulajdonba való vétele után, haladéktalanul nagyszabású tervet dolgoztasson ki a legnehezebb és legnagyobb forgalmú vonalak villamosítására, alapul véve KANDÓ háromfázisú rendszerét, azt a rendszert, amelyet az olaszok büszkén vallottak „sistema italiano"-nak, s amelynek valóban Itália adott hazát, de amelynek megalkotása és további kifejlesztése is, kizárólagosan magyar mérnökök és természetesen elsősorban vezérük: KANDÓ Kálmán hervadhatatlan érdeme.

Minthogy a mozdonyoknak Olaszországban kellett készülniök, KANDÓ kivált a Ganz-gyár kötelékéből és hű munkatársaitól kísérve Olaszországba költözött, ahol a világhírű feltaláló és nagyiparos, a villamos vontatás lelkes pártolója, WESTINGHOUSE George a genuai öbölben fekvő Vado Ligure-ban Soc. Italiana Westinghouse néven jól felszerelt gyárat létesített, kizárólagosan KANDÓ tervei szerint készülő háromfázisú villamos mozdonyok gyártására.

Itt készültek sorozatokban a nehéz hegyi vonalak igényeinek megfelelő E-jellegű, 2000 LE-s ötcsatlós, „cinquanta", híres Giovi-típusú mozdonyok és a sík pályákra szánt 2780 LE-s, 1C1-jellegű, háromcsatlós „trenta" mozdonyok, amelyek korukban a legegyszerűbb, legüzembiztosabb, legnagyobb fajlagos teljesítőképességű és legszebb alakú gépek voltak, és amelyekből — kisebb-nagyobb módosításokkal — közel 700 készült és 1954-ben még 540 teljesített szolgálatot az olasz államvasutak kereken 1500 km kiterjedésű háromfázissal villamosított fővonali hálózatán.

E helyen, mielőtt tovább követnők KANDÓ életének folyását, röviden ki kell térni KANDÓnak Olaszországba való távozására, amely még napjainkban is elhangzó téves magyarázatra adott okot. A század fordulóján, a Valtellina idejében, a vízerőkben bővelkedő Olaszországon és Svájcon kívül még sehol sem gondoltak Európában — így Magyarországon sem — fontos nagyvasúti vonalak villamosítására. Ezért érthető, hogy KANDÓ, amidőn rendszerének kifejlesztésére Olaszországban páratlan alkalom nyílt, de az a mozdonyoknak olasz földön való gyártásához volt kötve, saját érdekében elhagyta addigi működésének színhelyét. Magyarországon, úgy mint Európa-szerte, a nagyvasutak villamosítására irányuló mozgalom csak 1910 körül indult meg és az Államvasút akkori hálózatán négy fővonal villamosítása jött szóba, úm. a Cameralmoravica—Fiume, Galánta—Zsolna, Salgótarján—Ruttka és a Piski—Petrozsény vonalé. Minthogy az első kettő ellen a volt cs. és kir. hadügyminisztérium vétót emelt, csak az utóbbi kettő volt tárgyalható, de azzal, az átalakítás gazdaságosságát nagyon megnehezítő feltétellel, hogy a gőzüzem esetleges újrafelvételéhez szükséges összes berendezési tárgyaknak és készleteknek

továbbra is üzemképes állapotban kell maradniok. Az Államvasút igen alapos és ezért sokáig elhúzódó tanulmány és megfontolás után a villamosítás első lépéséül az Őrváralja és Petrozsény közötti vonalszakaszt jelölte ki, és a külföldi eredetű ajánlatok ellenében a Kandó-féle háromfázisú rendszer és a Giovitípusú mozdonyok alkalmazása mellett döntött. Sajnos, az előmunkálatoknál nem jutottak tovább, mert kitört az I. Világháború. Amint ebből látható, minden alapot nélkülöz az az állítás, hogy KANDÓt kortársainak meg nem értő magatartása késztette a külföldre. Ellenkezőleg! KANDÓ úttörő munkásságát a hazai szakkörök mindig teljesen elismerték, amit megcáfolhatatlanul bizonyít az a tény, hogy mihelyt arra a magyar helyzet megérett, határozottan az ő rendszere mellett foglaltak állást.

Amidőn Olaszországnak a világháborúba való belépése már küszöbön állott, KANDÓ visszatért hazájába, ahol 1916-ban mint népfelkelő tisztet a Központi Szállításvezetőséghez osztották be, a vasutak szénellátásának intézésére. E munkakörben megrendülve látta a rohamosan fokozódó, kiküszöbölhetetlen nehézségeket és kortársait ismét messze megelőzve, még a Monarchia összeomlása előtt világosan felismerte, hogy a jövő gazdasági életének — bármiképpen alakuljon is az — egészséges alapját csak a rendelkezésre álló, korlátolt mennyiségű ősenergiákkal való takarékos gazdálkodás képezheti, amelynek keretében a legnagyobb szénpazarlóknak, a gőzüzemű vasutaknak villamos üzemre való átalakítását országos méretekben, s ezért az addig szokásostól eltérő elvek szerint kell mielőbb végrehajtani.

1917-ben az Államvasutak javaslatára felmentették a katonai szolgálat alól és a már előbb is szóba került Budapest—Hatvan—Salgótarján—Ruttka vonal villamosításának tanulmányozásával bízták meg. E munka közben érlelődött meg KANDÓban az a meggyőződés, hogy mind az energiaszolgáltatás gazdaságossága, mind a villamosítás tőkeszükségletének csökkentése, s az üzem hatásfokának és biztonságának fokozása végett a vasutak nagyobb szabású villamosítását racionálisan csakis az országos energiagazdálkodás adottságaihoz alkalmazkodva lehet helyesen megoldani. Mégpedig olyan rendszerrel, amely különleges áramnem fejlesztését és átvitelét, tehát külön vasúti erőművek, átalakító alállomások és távvezetékek építését nem teszi szükségessé, hanem a vontatásra a közhasználatú erőművek együttműködő rendszerében fejlesztett és szétosztott, egységesen szabványos 50 periódusú váltakozóáramot használja fel.

Ilyen megoldás azonban abban az időben nem állt rendelkezésre. KANDÓ olaszországi 3000 voltos háromfázisú rendszerét túlhaladottá tette a fejlődés, amely a kívánt megnövekedett teljesítmények miatt a munkavezeték feszültségének számottevő megnövelését tette volna szükségessé; ámde ez a munkavezeték kettőssége miatt — amint azt egy olaszországi kísérleti vonal mutatta — legyőzhetetlen nehézségbe ütközött. Ezenfelül különleges — $16\ ^2/_3$ — volt a periódusszáma is, éppen úgy, mint az akkor Európa germán országaiban

már jól kifejlesztett egyfázisú villamosítási rendszeré, amely ezenfelül a kényes kommutátoros soros motorokkal dolgozik, amelyeket csak egy emberöltővel később sikerült 50 periódusra is használhatókká tenni. Végül nem jöhetett szóba az Amerikai Egyesült Államokban a háború alatt kifejlesztett 3000 voltos egyenáramú rendszer sem, mert noha ez az országos hálózatból táplálható, de aránylag kis feszültsége miatt sűrűn elhelyezett és áramátalakítókkal felszerelt, vagyis költséges alállomásokat és felsővezeték berendezést kíván.

Új rendszer kifejlesztésére volt tehát szükség.

A cél világos felismerése után agyának páratlan alkotó készsége azonnal munkába kezdett és 1917/18-ban kitermelte életének második nagy úttörő alkotását: az 50 periodusú fázisváltós rendszert, amely először valósította meg tökéletesen a ma már külföldön is értékelt nagy szintézist: a villamosított vasútnak mint nagyfogyasztónak az országos villamos energiagazdálkodás általános szervezetébe való közvetlen beiktatását.

A rendszer lényege — amint ma már köztudomású — KANDónak kétségtelenül legzseniálisabb alkotása: a mozdonyon elhelyezett aszinkron fázisváltó, amely kettős tekercsrendszerével szinkron motor, transzformátor és generátor egyetlen tömör gépegységbe összefoglalva. Ezt közvetlenül hajtja a 16 kV feszültségű munkavezetékről egységnyi fázistényezővel vett 50 periódusú egyfázisú áram, s amely új elméleti meggondolás szerint dolgozó önműködő szabályozó hatása alatt, az indukciós hajtómotort a terheléstől függően változó és így állandó legnagyobb hatásfokot biztosító háromfázisú feszültséggel táplálja.

A tervezés 1918-ban kezdődött, és minthogy a Ganz-gyár 1920-ban egy fővonali próbamozdony gyártásának költségeit magára vállalta, az Államvasutak kebelében létesített Vonalvillamosítási Iroda haladéktalanul megtette a szükséges előkészületeket a próbák céljára kijelölt alagi vonal felszerelésére és energiával való táplálására.

A próbamozdony 1923. október 31-én futott végig először a Rákos-rendező pu. és Dunakeszi—Alag között létesített próbapályán, 77 esztendővel az első magyar gőzmozdony után. Így lett a budapest—váci vonal hazánkban nemcsak a gőzüzemű, hanem a villamos üzemű nagyvasúti vontatás bölcsője is.

Az új rendszer életképességét már a próbaüzem első néhány hónapjában szerzett tapasztalatok igazolták, úgyhogy az 1924. évi londoni Első Energia-Világkonferencián már nyilvánosságra hozható sikerről számolhattam be. Minthogy még felszólalásom előtt a világ minden tájékáról összesereglett legkiválóbb szakértők ama véleményüknek adtak kifejezést, hogy a vasutak nagyarányú villamosítása elsőrendű nemzetgazdasági érdek, de előnyeinek teljes kihasználása csakis olyan rendszertől várható, amelyben a villamos vasúti üzem az országos energiagazdálkodás rendszeréhez lehetőleg közvetlenül csatlakozik, érthető, hogy ama bejelentésem, hogy e követelményt kielégítő megoldást Magyarországon már gyakorlatilag próbálják, nagy feltűnést keltett. Ennek folyamányaképpen a szerény alagi próbaüzem az érdeklődés

középpontjába került. A legkiválóbb szakértők, külföldi vasutak és gyárak kiküldöttei, számosan keresték fel és tanulmányozták az új rendszert, amellyel KANDÓ lángelméjének fáklyája, a villamos vontatás megoldásának, kezdetben nehezen érvényesülő, de ma már világszerte helyesnek elismert és több helyen követett, új irányára világított rá.

Három évig tartó, fáradságos és sok türelmet kívánó kísérleti időszak után, a szerzett bő tapasztalat alapján, és az időközben végrehajtott számos módosítás figyelembevételével KANDÓ a próbagépet, az alapelvek változatlan fenntartásával részleteiben újra szerkesztette és olyan berendezéssel egészítette ki, amely már sorozatos gyártás előkészítésére volt alkalmas.

Az átalakított mozdony 1928. augusztus 3-án került ki ismét a vonalra, ahol a legváltozatosabb üzemi viszonyok között még egy évig kipróbálva, teljes bizonyságot tett a fő szerkezeti elemek véglegesnek elfogadható helyes megoldásáról. Ennek következtében a kormány, amelynek tagjai között a műegyetemnek akkori két tanára: HERRMANN Miksa és BUD János foglalt helyet, a szakértők véleménye alapján, haladéktalanul elrendelte a hegyeshalomi fővonal villamosítását, amire a MÁV összesen 32, mégpedig 29 1D1 jellegű,100 km/ó legnagyobb sebességű, egyetemes típusú, és 3 F jellegű, 67 km/ó sebességgel nehéz tehervonati szolgálatra szánt, egyaránt 2500 LE egyórás teljesítőképességű fázisváltós mozdonyt rendelt meg.

KANDÓ nagy lelkesedéssel fogott a munkához. Páratlan tudása és évtizedes tapasztalata minden fegyverének felhasználásával olyan remekművet akart alkotni, amely nemcsak a szorosan vett célt szolgálja, hanem szárnyra veszi a magyar nevet, és a műszaki alkotáson keresztül felkelti az érdeklődést Magyarország iránt. Ezért végtelenül bántotta az az aknamunka, amellyel az új rendszerre féltékeny egyes külföldi cégek a megvalósulás útjába nehézségeket gördíteni igyekeztek. A kormány azonban szilárdan kitartott elhatározása mellett és a munka megindítását még késleltetni sem sikerült.

Sajnos, a nagy alkotás befejezését KANDÓ már nem érte meg. A tervezés zömét még elvégezte, de megrendült egészségének erejét a megfeszített munka felőrölte és egy ártatlannak látszó betegség 1931. január 13-án, élete 62. évében elragadta őt az élők sorából, mielőtt még megvalósulva láthatta volna nemes törekvésének eredményét.

Lángesze posthumus alkotásának első példányát, a nevével díszített és munkatársai koszorújával ékesített 40001. sorszámú mozdonyt másfél évvel később, 1932. június 16-án indítottam útnak Bánhidáról, meghatottan idézve Mesterünk szellemét, amidőn rákapcsoltam.

Azóta közel egynegyed évszázad telt el és KANDÓ eredeti 1D1 jellegű gépei valóban mindenféle vontatási szolgálatra alkalmas egyetemes mozdonyoknak bizonyultak, amelyek teljesítőképessége a támasztott követelményeknek ma is megfelel, üzeme megbízható és kezelése egyszerű. A szerkezeti részeken, a több mint két évtizedes, gyakran nehéz viszonyok között folyó üzem során,

nem mutatkoztak elvi jelentőségűnek nevezhető hibák, s ezért — jelentéktelen módosításoktól eltekintve — a mozdonyok ma is olyanok, aminőknek őket KANDÓ zsenialitása megalkotta. Ők a legmeggyőzőbb bizonyítékai KANDÓ páratlan alkotó szellemének.

KANDÓ csodálatosan sokoldalú tehetség volt. Elméleti tudása széleskörű és — mint az elektrotechnika hőskorát végigélőké általában — mindig eredeti, egyéni elgondolásokon alapuló. Elektrotechnikai és gépészeti problémák megoldása terén nem ismert nehézségeket. A köztudatban általában elektrotechnikusnak tekintik, pedig a régebbi villamos mozdonyok százain kitűnően bevált kulisszás Kandó-háromszög és ezt az újabb mozdonyokon felváltó csuklós Kandó-keret, úgyszintén mozdonyainak gyakran egészen különleges megoldású, tisztán gépszerkezeti részei arról tanúskodnak, hogy KANDÓ kitűnő elméleti képzettségű, lángeszű gépszerkesztő is volt.

Valóban nem lehet eldönteni, vajon inkább gépészmérnöknek vagy inkább villamosmérnöknek valljuk-e őt. Ez a nagyszerű kettős tehetség tette lehetővé azt, ami eddig sehol másnak nem sikerült, ti., hogy mozdonyait az áramszedőtől a futóműig, a villamos berendezéstől a hajtóműig, minden részletében a maga eredeti elgondolása szerint, maga tervezze meg.

Ha valamely feladat újszerűsége folytán pozitív ismereteink gazdag tárházából nem meríthetett, kisegítette és mindenkor helyes útra vezette lángelméjének bámulatosan gyorsan működő, intuitív felismerő, kapcsoló és elbíráló képessége.

Fölényesen uralkodott az anyag fölött. Szinte ösztönösen érezte, lelki szemeivel szinte látta azokat a belső erőket, amelyek az anyag igénybevételekor és alakváltozásakor keletkeznek. Így történhetett, hogy ha gyors munka közben valamely szerkezet méreteit érzék szerint vázolta fel, azok helyességét az utóbb elvégzett elméleti számítás mindig igazolta. Ez a képesség nagyban növelte alkotó termékenységét és óriási munkaképességét.

Páratlanul eredeti, termékeny elme volt. Mindig egyéni utakon járt, mindenre volt új gondolata, azonnal többféle megoldása is. Nem szívesen bíbelődött módosításra szoruló részletekkel, inkább újat, tökéletesebbet talált fel. Ha egy gondolat megragadta szellemét, nem ismert pihenést. Éjt napallá téve, egészsége rovására hajszolta önmagát; gyakran legodaadóbb munkatársai is alig győzték az iramot.

Rendkívül sajnálatos, hogy tudásának és fáradhatatlan alkotó munkája tapasztalatainak felbecsülhetetlen kincseiből írásban alig maradt néhány töredék. Ezek között a két legkimagaslóbb: az 1923-ban a Paris—Orléans-i vasút szakértője, az őt nagyrabecsülő Parodi számára a Ganz-gyár által szállított két gyorsvonati villamos mozdonnyal kapcsolatban készült, a hajtóművek rezgéséről írt tanulmánya, és a „Villamos mozdonyok dinamikus igénybevétele kerékcsúszás következtében" című, akadémiai székfoglalónak szánt értekezése, amely azonban csak halála után, 1937-ben jelent meg a M. T. Akadémia Mate-

matikai és Természettudományi Értesítőjének LVI. kötetében. KANDÓ nem kicsinyelte az ismeretek közlésének jelentőségét, de mert nyugodni nem tudó szelleme lázas sietséggel mindig csak töretlen utakra vágyott, nem tudott magának időt szakítani gondolatainak és tanulmányainak rendszeres feldolgozására. Ezért is hárította el magától — bár nagyra értékelte — a Műegyetem egyhangú meghívását ZIPERNOVSZKYnak 1924. év végén bekövetkezett nyugalombavonulásával megüresedett elektrotechnikai tanszékre.

KANDÓ azonban nemcsak mint szakmájának világviszonylatban is elismert kiváló művelője magaslott ki, hanem mint egyéniség is a kivételesen nagyok közé tartozott. Széles látókörű, nagy műveltségű, nemesen gondolkodó ember volt. Fiatalabb éveiben lelkesedéssel űzte a különféle sportokat, és idősebb korában karcsú balatoni vitorlásán, a Glórián töltött órákat tekintette legnagyobb örömének. Németen kívül — ami az egykori Monarchiában természetes volt — kitűnően beszélt franciául, olaszul és angolul, ami nagyban hozzájárult ahhoz, hogy külföldön is elismert szaktekintély és szívesen látott tárgyalófél legyen.

Bár a nyilvános szereplést nem szerette, nagy elfoglaltsága ellenére minden tiszteleti állást és munkát elvállalt, ha úgy vélte, hogy közreműködésével az ügynek és az országnak hasznára lehet. Elhatározásait soha egyéni érdek nem irányította, mindig a köz érdekeit tartotta szem előtt és minden felett.

Bár igen önérzetes volt és ismerte egyénisége súlyát, mindig készségesen elismerte mások képességét és érdemeit is. Sikerei, világhíre és kitüntetései sohasem szédítették el. Eszméiért síkra szállt, ha szükségesnek látta, de szellemi fölényét nem éreztette senkivel soha. Nem volt könnyen melegedő természetű, de jó modor és lekötelező udvariasság jellemezte. Nemcsak barátai és mérnök kartársai, hanem a munkások is mindig vezért tiszteltek benne, akinek hivatottságához nem fér kétség.

Élete boldogságának fonalát kétszer szakította el kegyetlenül a Sors. Fiatalon, még vadói tartózkodása idején, 1913-ban veszítette el sokat szenvedett feleségét, egyedül maradva két serdülő gyermekével a messze idegenben. És élete tavaszán távozott el tőle 1921-ben egyetlen fia, mint a háborús kedély-összeroppanás tragikus áldozata. Magába fojtott lelki szenvedései ellen a pihenést nem ismerő munka fáradalmaiban keresett enyhülést.

A magyar társadalom nem volt mostoha KANDÓ Kálmán iránt. Felismerte és elismerte őt, mint egyik legkiválóbb fiát, mint egyikét ama nagy magyar értékeknek, akiknek személye az ország határain túl is ismertté és megbecsültté, teszik a magyar nevet, s a magyar munkát. A hivatalos körök és a társadalmi szervek elhalmozták őt elismerésük megnyilatkozásaival. A M. T. Akadémia 1921-ben a Wahrmann-díjjal tüntette ki, majd 1927-ben levelező tagjává választotta. 1922-ben a Műegyetem tiszteletbeli doktorrá avatta. 1924-ben mint első foglalta el az egész mérnöki kar legfőbb önkormányzati szervének, az Országos Mérnöki Tanácsnak elnöki székét. 1927-ben az Országos Középítési Tanács alelnökévé nevezték ki, s ugyanezen évben a Budapesti Mérnöki Kamara, mint

képviselőjét az országgyűlés felsőházába küldötte, amelynek közgazdasági bizottságában a tárgyalás alatt álló villamos energiatörvény-javaslat közérdektől áthatott előadója lett. 1930-ban a Magyar Mérnökök és Építészek Nemzeti Szövetsége tiszteleti tagjává avatta és ugyanezen év októberében, a magyar műszaki tudomány fejlesztése terén kifejtett korszakalkotó tevékenysége elismeréséül, mint egyetlen mérnök, elnyerte az akkori idők legnagyobb tudományi kitüntetését a Corvin-koszorút.

A tárgyilagos külföld is mindig értékelte KANDÓ úttörő munkásságát és kivételes képességét. Olaszország a Koronarend Commendatore fokozat adományozásával fejezte ki elismerését, és az évek folyamán számos külföldi vállalat vette őt igénybe, mint tanácsadót. Az olasz Romeo—Cemsa gyár számára a huszas évek elején háromfázisú, majd fázisváltós mozdonyt tervezett. A bécsi AEG-Unióval létrejött kapcsolatok folytán az Osztrák Szövetségi Vasutak számára a floridsdorfi gyárban két fázisváltós mozdony készült az ő tervei szerint. Sajnos, e két idegenbe szakadt és túl korán, még a magyar próbaüzem ki nem forrott idejében, vállalt gépet nem kísérte siker. A Paris—Orléans-i vasút számára 1921-ben szállított két egyenáramú gyorsvonati Ganz-mozdony elsősorban KANDÓ gépszerkezeti remekművével érdemelte ki az elismerést. Végül az amerikai Westinghouse-gyár több évre műszaki tanácsadójaként vette igénybe, amely minőségben 1927-ben több hónapot töltött az Amerikai Egyesült Államokban olyan különleges mozdony-szerkezeti kérdések megvitatása végett, amelyek megoldását az amerikai mérnökök az ő véleményétől tették függővé.

De külföldön is elismert nagyságának legszebb bizonyítékát ARMAND, a francia államvasutak elnöke szolgáltatta, amidőn az 1951. évi Annecy-i konferencián — amelyen külföldi szakértők jelenlétében kimondották, hogy a francia vasutak villamosítását az addig alkalmazott nagyfeszültségű egyenáram helyett, a magyar példa nyomán, 50 Hz egyfázisú rendszerrel folytatják — megnyitó beszédének záró szavaiban a fázisváltós, vagy ahogyan ők nevezik a monotrifázisú rendszerről megállapította, hogy azt „KANDÓnak, a nagy magyar mérnöknek, az 50 periódusú ipari árammal való villamosítás úttörője kimagasló munkájának köszönhetjük. Lehet, hogy ez a mozdonytípus fogja megvalósítani a mérnök és a felhasználó álmát, portól védett felszerelésével halmozva a kilométereket anélkül, hogy mást követelne, mint áramot és az elkopott kerékabroncsok cseréjét. Ez az a szép távlat, amelyet a vasút KANDÓnak köszönhet".

Ezen elismerő szavak, amelyek húsz esztendővel KANDÓ halála után, nagy jelentőségű nemzetközi konferencián, előkelő idegen ajkáról hangzottak el, azt tanúsítják, hogy Mesterünk elfoglalta megérdemelt helyét a halhatatlan mérnök-kiválóságok sorában. Alkotásainak híre messze szállt és túléli azt, ami benne múlandó volt. Neve elválaszthatatlanul összeforrt a nagyvasúti villamos vontatás fejlődésének történetével, amelynek két fejezetét is az ő ragyogó szellemének úttörő munkássága tölti ki.

E munkásság emlékét ébren tartani és követendő példaképpen az utókor elé állítani, nekünk, akik kortársai és munkatársai voltunk, hazafias kötelességünk, mert műszaki képességeinknek és iparunknak a múlt örökségeként reánk szállott jó hírneve csakis akkor lesz fenntartható és továbbfejleszthető, ha minél nagyobb számmal lesznek olyan mérnökeink, akik tehetségüket éppen olyan lelkesedéssel és fáradságot nem ismerő szorgalommal állítják koruk nagy feladatai megoldásának szolgálatába, amint azt KANDÓ Kálmán egész munkás életén át tette.

HÁROM ÁLTALÁNOS HELYZETŰ KITÉRŐ VÁGATOT A LEHETŐ LEGRÖVIDEBB ÚTON ÖSSZEKÖTŐ EGYENES VÁGAT TENGELYÉNEK MEGHATÁROZÁSA

PETROV MILCSO

BÁNYÁSZATI FŐISKOLA, SZÓFIA

[Beérkezett 1954. november 2-án]

A bányászati gyakorlatban gazdasági meggondolásokból kiindulva néha szükséges akár a föld alatti vágatokban a forgalom és szállítás megkönnyítésére, akár szellőzési gurító vagy lejtős vágat kihajtására három általános helyzetű kitérő vágatot a lehető legrövidebb úton egyenes összekötő vágattal összekötni.

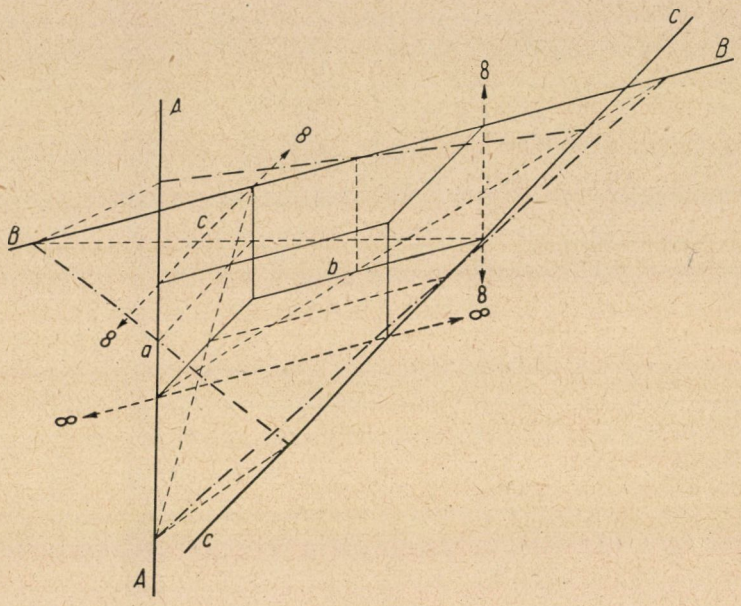
A fent megnevezett problémának a magyar irodalomban számos megoldását találjuk. A problémát először TÁRCZY-HORNOCH Antal vetette fel [1]. Ez a magyarázata annak, hogy WILSKI könyvének első kötetében [2] a három vízszintes folyosóra vonatkozó megoldását a „Hornoch-féle feladatok" közé sorolja. Három általános fekvésű folyosóra vonatkozó több megoldást WALEK Károly adott [3, 4, 5]. Ezekhez csatlakozik KISS Ignác megoldása [6], míg PETRIK Géza az ábrázoló geometria segítségével adott grafikus megoldást [7].

E sorok írója az alábbiakban ezektől különböző grafikus és számítási eljárást közöl. A STASNEY Albert útmutatása nyomán szerkesztett 1. ábra együtt szemlélteti a lehetséges megoldásokat. A további ábrák ennek részleteit

1. A feladat grafikus megoldása

A feladat grafikus megoldásához az ábrázoló geometria legegyszerűbb ismert eszközeit használjuk. Kiindulási adatként a három kitérő általános helyzetű vágat mindegyikének tengelyén fekvő két-két pont koordinátáit használjuk fel. A vágatok tengelyeit egyszerűség kedvéért továbbiakban egyeneseknek fogjuk nevezni. Az adott pontok X, Y és Z koordinátái alapján megkeressük e pontok vetületeit az első és második képsíkon, majd a megszerkesztett vetületek összekötése útján megkapjuk az A, B és C három kitérő egyenes vetületeit (ortogonális-Monge-féle vetületben). A három egyenes egyikén, például a C egyenesen átfektetjük a harmadik képsíkot az első képsíkra merőlegesen, ezen a harmadik képsíkon megkeressük az A, B és C vetületét. E képsíkon a C egyenes ef szakaszának vetülete eredeti nagyságban jelenik meg.

Ezután a C egyenesre merőlegesen negyedik képsíkot fektetünk, ebben a képsíkban a C egyenes vetülete a C^{IV} pontként jelenik meg. Megkeressük továbbá az A és B egyenesek vetületét a negyedik képsíkban. Most már a negyedik képsíkban könnyen megkereshetjük a három egyenest összekötő egyenes vonalat, mert az összes összekötő egyenes vonalak negyedik vetülete a C^{IV} ponton megy keresztül (2. ábra). Az ábrából látható, hogy az összekötés végtelen hosszúságú a következő esetekben : 1. ha az összekötés vetülete az A^{IV} egye-



1. ábra

nessel párhuzamos ; 2. amikor az összekötés a B^{IV} egyenessel párhuzamos és 3. amikor az összekötés vetülete egybeesik az A^{IV} és B^{IV} egyenesek E^{IV} kereszteződési pontjával. Mindegyik két végtelen érték között az összekötés hosszának minimuma van. Ezek szerint az összekötő vonalszakaszok három csoportra oszthatók, e csoportok határai a következők : a) az első csoport a N^{IV} pontnál kezdődik, ez a pont az A^{IV} és B_1^{IV} vonalak metszési pontja (ebben az esetben B_1^{IV} a C^{IV} ponton megy át és B^{IV} egyenessel párhuzamos) és folytatódik az A_1^{IV} vonalig, amely a C^{IV} ponton megy át és az A^{IV} vonallal párhuzamos ; b) a második csoport az M^{IV} pontnál kezdődik, ez a B^{IV} és az A_1^{IV} egyenes metszés pontja, s egészen a C^{IV} E^{IV} egyenesig terjed és c) a harmadik csoport, amely a C^{IV} E^{IV} és C^{IV} N^{IV} egyenesek között fekszik. A három csoport mindegyikében meghatározzuk a legrövidebb összekötő vonalat, majd e három összekötés hosszának összehasonlítása útján meghatározzuk a keresett legrövidebb összekötő vonalat. Az első csoportba tartozó legrövidebb összekötő vonal megkeresésére az egyik egyenesen, pl. az A^{IV} egyenesen egyenlő

távolságban négy vagy öt pontot választunk (az A^{IV} egyenesnek az első csoportba eső részén) ezeket a pontokat a C^{IV} ponttal kötjük össze és az összekötő vonalakat mindaddig meghosszabbítjuk, míg azok a B^{IV} vonalat metszik. Megkeressük a harmadik képsíkban az A^{IV} vonalon felvett pontoknak és e pontokon átfektetett összekötő vonalaknak B^{IV} egyenessel való metszéspontjainak vetületét, ezután már könnyű megállapítani az összekötő vonalszakaszok hosszát, amelyeknek szélső pontjai az A^{IV} és B^{IV} egyeneseken fekszenek. A negyedik képsíkban (vagy a harmadik képsíkban) az összekötő vonalnak az egyik egyenesen például a B^{IV} (vagy B^{III}) fekvő végpontjaiból ez utóbbi egyenesre merőleges vonalakat húzunk és ezekre felmérjük az összekötés megszerkesztett tényleges hosszát. Az ily módon húzott merőleges segédvonalakon kapott végpontokat összekötve hiperbolához hasonló szabályos görbét kapunk, ehhez a görbéhez a B^{IV} vonallal párhuzamosan érintőt húzunk és az érintési pontot a B^{IV} vonalra merőlegesen visszavetítjük. Ez utóbbi vetítővonal tényleges hossza az első csoportban keresett legrövidebb összekötő egyenes, viszont a vetítővonal metszéspontja a B^{IV} egyenessel az összekötő vonal egyik végpontja (a negyedik képsíkban). A keresett legrövidebb összekötő vonal ily módon meghatározott S^{IV} végpontját összekötjük a C^{IV} ponttal és az összekötő vonalat az A^{IV} vonallal való metszésig meghosszabbítjuk, a kapott r^{IV} metszéspont az ily módon az első csoportban meghatározott legrövidebb összekötő vonal második végpontja.*

Hasonló módon meghatározhatjuk a második és harmadik csoportban a legrövidebb összekötő vonalat. A három csoportban megállapított legrövidebb összekötő vonalak tényleges hosszait összehasonlítjuk, a legrövidebb összekötő vonal a három adott általános fekvésű kitérő egyenest a lehető legrövidebb úton összekötő keresett vonal lesz.**

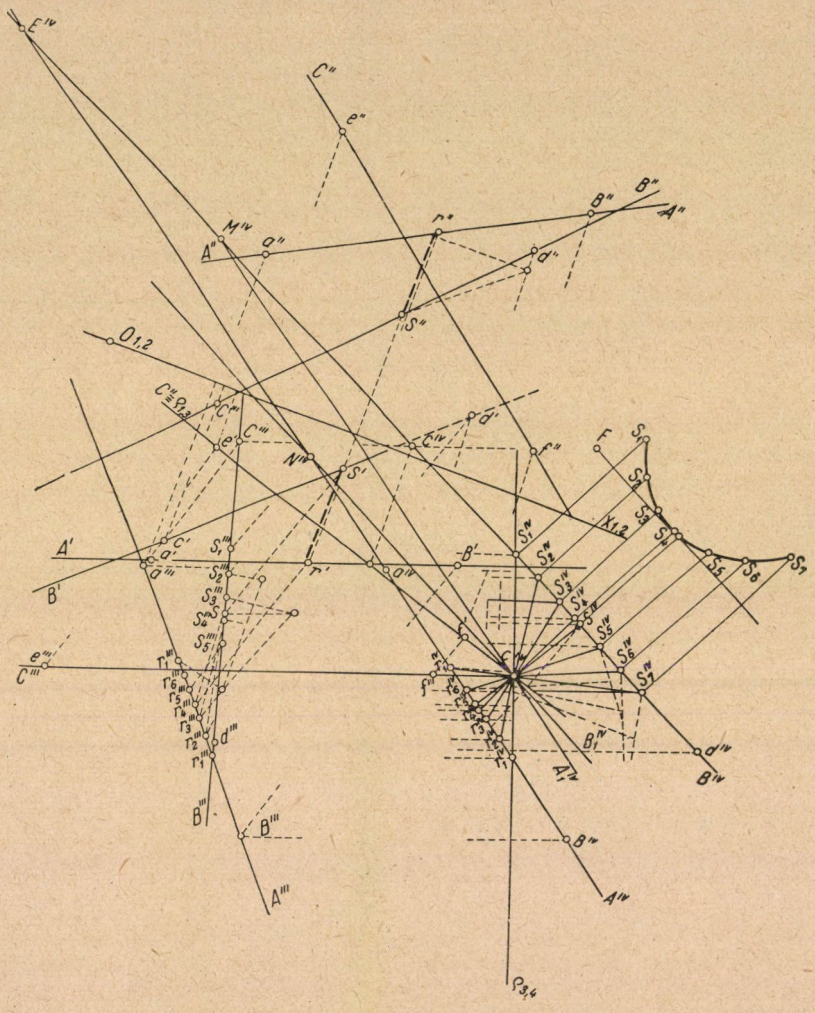
* Az ábrán csak az első csoporthoz tartozó legrövidebb összekötő vonal szerkesztése látható, ez a vonal az adott esetben a három csoportban megállapítható összekötő vonalak között a legrövidebb, ezért ebben az esetben felesleges a másik két csoportban is megkeresni a legrövidebb összekötő vonalakat, mert az ábrára való első rápillantással látható, hogy a másik két csoporthoz tartozó összes összekötő vonalak vetülete (így tehát a legrövidebb összekötő vonal vetülete is) a negyedik képsíkban sokkal hosszabb, mint az első csoportban meghatározott legrövidebb összekötő vonal valóságos hossza. Ha viszont a második és harmadik csoporthoz tartozó legrövidebb összekötő vonalak vetületei az első csoporthoz tartozó legrövidebb összekötő vonal valóságos hosszánál hosszabbak, akkor világos, hogy valóságos hosszuk ugyancsak nagyobb lesz, mint az első csoportban meghatározott legrövidebb összekötő vonal hossza. Esetünkben a második és harmadik csoporthoz tartozó legrövidebb összekötő vonal a rajzlap határain kívül esik, és ezért azt nem határoztuk meg.

** A fentiek szerint megállapított legrövidebb összekötő vonal végpontjainak vetületeit az első és második képsíkon visszafelé megkeressük. Léptékes vonalzóval lemérjük az összekötő vonal végpontjainak és középső pontjainak koordinátáit, ezek alapján kiszámítjuk az összekötő vonal vetületének irányszögét, továbbá az egyeneseken választott pontok koordinátái alapján kiszámítjuk ezek vetületének hajlásszögét, ezután egyszerű kivonás vagy összeadás útján meghatározhatjuk a legrövidebb összekötő vágat tengelyének kitűzési szögeit. Az adott pontok koordinátái alapján viszont meghatározhatjuk az A, B és C egyenesek irányában e pontok és az összekötő vonal végpontjai közötti távolságot, továbbá az összekötő vonal hajlását. Ezeket az adatokat ismerve a helyszínen ki lehet tűzni az előzők szerint meghatározott legrövidebb összekötő vonal tengelyét.

A 2. ábrán a megoldás szerkesztése az alábbi számadatok alapján történt:
Az A egyenest az a, b pontok alábbi koordinátái határozzák meg:

$$X_a = + 37{,}0 \text{ m} ; \quad Y_a = + 61{,}5 \text{ m és } Z_a = + 44{,}5 \text{ m}$$

$$X_b = + 131{,}0 \text{ m} ; \quad Y_b = + 28{,}0 \text{ m és } Z_b = + 94{,}0 \text{ m}.$$



2. ábra

A B egyenest a c, d pontok koordinátái határozzák meg:

$$X_c = + 40{,}3 \text{ m} ; \quad Y_c = + 54{,}0 \text{ m és } Z_c = - 6{,}3 \text{ m}$$

$$X_d = + 118{,}2 \text{ m} ; \quad Y_d = - 19{,}2 \text{ m és } Z_d = + 76{,}6 \text{ m}.$$

A C egyenest az e, f pontok alábbi koordinátái határozzák meg:

$$X_e = +\ 45{,}2 \text{ m}\ ;\ Y_e = +\ 20{,}0 \text{ m és } Z_e = +\ 90{,}4 \text{ m}$$
$$X_f = +\ 141{,}4 \text{ m}\ ;\ Y_f = +\ 49{,}3 \text{ m és } Z_f = +\ 15{,}6 \text{ m}.$$

A feladat grafikus megoldása után léptékes vonalzóval az összekötő vonal végpontjainak alábbi koordinátáit olvashatjuk le:

Az r pont koordinátái:

$$X_r = +\ 84{,}3 \text{ m}\ ;\ Y_r = +\ 44{,}5 \text{ m és } Z_r = +\ 70{,}0 \text{ m}.$$

A t pont koordinátái:

$$X_t = +\ 85{,}0 \text{ m}\ ;\ Y_t = +\ 32{,}0 \text{ m és } Z_t = +\ 60{,}0 \text{ m}.$$

Az s pont koordinátái:

$$X_s = +\ 85{,}7 \text{ m}\ ;\ Y_s = +\ 11{,}4 \text{ m és } Z_s = +\ 42{,}0 \text{ m}.$$

A fenti koordináták alapján a korábban közölt módon kiszámítjuk az összekötő vonal és az adott egyenesek (az adott koordináták alapján) irányszögeit, valamint az összekötő vonal hajlását, ezután a helyszínen kitűzzük a meghatározott legrövidebb összekötő vágat tengelyét.

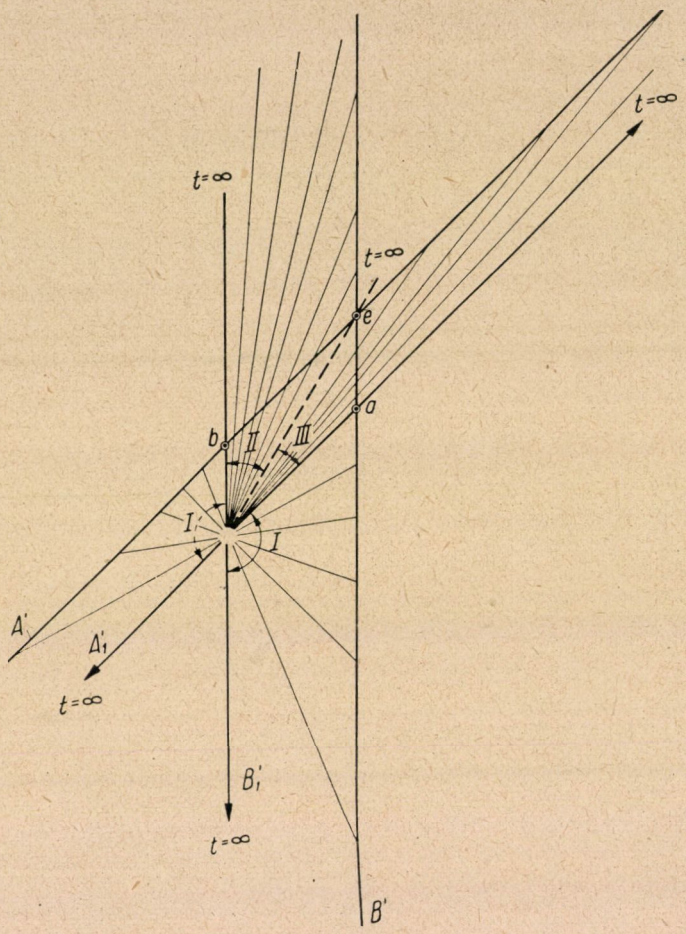
2. *Három általános helyzetű kitérő vágatot összekötő legrövidebb egyenes vágat meghatározására szolgáló analitikai módszer*

A két-két pontjuk koordinátáival meghatározott adott három A, B és C kitérő egyenest összekötő legrövidebb vonalszakaszt analitikai módszerrel is meghatározhatjuk. E célból az adott pontok koordinátáit olyan felvett koordináta-rendszerbe transzformáljuk, amelynek O' Z' applikáta-tengelye egybeesik az adott egyenesek egyikével, például a C egyenessel és a koordináta kezdőpontja egybeesik az adott esetben ugyancsak a C egyenesnek az első képsíkkal való döféspontjával. Erre a célra az alábbi transzformációs képleteket használjuk:

$$x' = (x-a)\cos\varphi + (y-b)\sin\varphi,$$
$$y' = (y-b)\cos\varphi\cos\vartheta - (x-a)\sin\varphi\cos\vartheta + z\sin\vartheta,$$
$$z' = (x-a)\sin\varphi\sin\vartheta - (y-b)\cos\varphi\sin\vartheta + z\cos\vartheta.$$

A három adott kitérő egyenes és az összekötő egyenes szakasz vetületeinek helyzetét a felvett koordináta-rendszer első képsíkjában az ide mellékelt vázlat mutatja (3. ábra).

Az ábrából látható, hogy az összes összekötő vonalszakaszok vetületei a koordináta-rendszer kezdőpontján és ennek következtében a C' ponton haladnak át, azonkívül az is látható, hogy ezek a vonalszakaszok három csoportra oszlanak: a) az első csoport a B_1' egyenestől, amely a B' egyenessel párhuzamos,



3. ábra

kezdődik. Ezen az egyenesen fekvő összekötő vonalszakasz végtelen hosszú. A csoportot az $A_1' \parallel A'$ egyenes zárja le, s az ezzel egybeeső összekötő vonalszakasz hossza ugyancsak végtelen. Ugyanez a csoport folytatódik a B_1' egyenes másik oldalán (az egyenes folytatásában) és az $A_1' \parallel A'$ egyenesig terjed. Ebben a csoportban az összekötő vonalszakasznak minimuma van ; b) a második csoport a $B_1' \parallel B'$ egyenestől kezdődik, ahol az összekötő vonalszakasz hossza végtelen, a csoport a $C'E'$ egyenesnél fejeződik be, ezen az egyenesen fekvő összekötő vonal hossza ugyancsak végtelen. Ebben a csoportban az összekötő

vonalszakasz hosszának ugyancsak egy minimális értéke van és c) a harmadik csoport, amely a $C'E'$ egyenesnél kezdődik és az $A_1' \parallel A'$ egyenessel fejeződik be, ezeken az egyeneseken fekvő összekötő vonal hossza végtelen. E csoportban az összekötő vonalszakasz hosszának ugyancsak egy minimális értéke van.

A lehető legrövidebb összekötő egyenes vonal meghatározásához meg kell állapítani a fent jelzett három csoport mindegyikében a minimális hosszúságú összekötő vonalszakaszokat.

A most tárgyalt mód mellett az összekötő vonalszakasz hosszának függvényét a vonal és az adott kereszteződő egyenesek metszőpontjainak koordinátáival fejezzük ki. A metszéspontok koordinátáit az A és B egyenesek parametrikus egyenleteiből kapjuk meg:

1. az A egyenesre:

$$\frac{x-x_a}{x_b-x_a}=\frac{y-y_a}{y_b-y_a}=\frac{z-z_a}{z_b-z_a} \quad \text{vagy}$$

$$\frac{x-x_a}{m_1}=\frac{y-y_a}{n_1}=\frac{z-z_a}{l_1}=\varrho_1;$$

2. a B egyenesre:

$$\frac{x-x_c}{x_d-x_c}=\frac{y-y_c}{y_d-y_c}=\frac{z-z_c}{z_d-z_c} \quad \text{vagy} \quad \frac{x-x_c}{m_2}=\frac{y-y_c}{n_2}=\frac{z-z_c}{l_2}=\varrho_2;$$

ahol: $x_b-x_a=m_1$; $y_b-y_a=n_1$; $z_b-z_a=l_1$; $x_d-x_c=m_2$; $y_d-y_c=n_2$ és $z_d-z_c=l_2$.

A fenti egyenletekből az A egyenesre a következő adódik: $x=m_1\varrho_1+x_a$ és $y=n_1\varrho_1+y_a$.

Az összekötő vonalszakasz egyenlete:

$$y=x\,\mathrm{tg}\,\alpha=xk.$$

Az alábbi egyenlet-rendszerből:

$$\left.\begin{aligned} y&=n_1\varrho_1+y_a\\ y&=kx\end{aligned}\right\} \text{ kapjuk } \varrho_1=\frac{kx-y_a}{n_1},$$

hasonló módon pedig $\varrho_2=\dfrac{kx-y_c}{n_2}$.

A fenti egyenletek alapján:

$$x=\varrho_1 m_1+x_a=\frac{kx-y_a}{n_1}m_1+x_a=\frac{n_1\cdot x_a-m_1\cdot y_a}{n_1-m_1\cdot k}=\frac{a_1}{n_1-m_1\cdot k},$$

és

$$y = kx = \frac{a_1 k}{n_1 - m_1 k}$$

$$z = \varrho_1 l_1 + z_a = \frac{l_1 kx - l_1 y_a}{n_1} + z_a = \frac{l_1 kx - l_1 y_a + x_a n_1}{n_1} =$$

$$= \frac{\frac{l_1 k n_1 x_a - l_1 k m_1 y_a}{n_1 - m_1 k} - l_1 y_a + z_a n_1}{n_1} = \frac{k(l_1 x_a - z_a m_1) + n_1 z_a - l_1 y_a}{n_1 - m_1 k}$$

és az összekötő vonalszakasz és az A egyenes metszéspontjainak koordinátái:

$$x_r = \frac{x_a n_1 - m_1 y_a}{n_1 - m_1 k} = \frac{a_1}{n_1 - m_1 k} \; ; \quad y_r = \frac{k(x_a n_1 - y_a m_1)}{n_1 - m_1 k} = \frac{k \cdot a_1}{n_1 - m_1 k} \; ;$$

$$z_r = \frac{k(l_1 x_a - z_a m_1) + z_a n_1 - l_1 y_a}{n_1 - m_1 k} = \frac{k \cdot b_1 + c_1}{n_1 - m_1 k} \; .$$

Hasonló módon az összekötő vonalszakasz és a B egyenes metszéspontjának koordinátái:

$$x_s = \frac{x_c n_2 - y_c m_2}{n_2 - m_2 k} = \frac{a_2}{n_2 - m_2 k} \; ; \quad y_s = \frac{k(x_c n_2 - m_2 y_c)}{n_2 - m_2 k} = \frac{k \cdot a_2}{n_2 - m_2 k} \; ;$$

$$x_s = \frac{k(l_2 x_c - z_c m_2) + z_c n_2 - l_2 y_c}{n_2 - m_2 k} = \frac{k \cdot b_2 + c_2}{n_2 - m_2 k} \; .$$

Az első csoportban az A és B egyeneseken fekvő r és s végpontú összekötő vonalszakasz hosszát a következő képletből lehet meghatározni:

$$t = \sqrt{(x_s - x_r)^2 + (y_s - y_r)^2 + (z_s - z_r)^2} =$$

$$= \left\{ \left(\frac{a_2}{n_2 - m_2 k} - \frac{a_1}{n_1 - m_1 k} \right)^2 + \left(\frac{k \cdot a_2}{n_2 - m_2 k} - \frac{k \cdot a_1}{n_1 - m_1 k} \right)^2 + \right.$$

$$\left. + \left(\frac{k \cdot b_2 + c_2}{n_2 - m_2 k} - \frac{k \cdot b_1 + c_1}{n_1 - m_1 k} \right)^2 \right\}^{1/2} = \left\{ \left\{ \left[k(a_1 m_2 - a_2 m_1) + a_2 n_1 - a_1 n_2 \right]^2 + \right. \right.$$

$$+ \left[k^2(a_1 m_2 - a_2 m_1) + k(a_2 n_1 - a_1 n_2) \right]^2 + \left[k^2(m_2 b_1 - m_1 b_2) + k(b_2 n_1 - b_1 n_2 + \right.$$

$$\left. \left. + c_1 m_2 - c_2 m_1) + c_2 n_1 - c_1 n_2 \right]^2 \right\}^{1/2} \Big\} : \left[m_1 m_2 k^2 - (m_1 n_2 + n_1 m_2) k + n_1 n_2 \right] =$$

$$= \frac{\sqrt{(Ak + B)^2 + (Ak^2 + Bk)^2 + (Ck^2 + Dk + E)^2}}{Fk^2 - Gk + H}$$

vagy

$$t = \frac{\sqrt{(A^2+C^2)k^4+2(AB+CD)k^3+(A^2+B^2+D^2+2CE)k^2+(AB+DE)k+B^2+E^2}}{Fk^2-Gk+H},$$

ahol: $A = a_1 m_2 - a_2 m_1$; $B = a_2 n_1 - a_1 n_2$; $C = b_1 m_2 - b_2 m_1$;
$D = b_2 n_1 - b_1 n_2 + c_1 m_2 - c_2 m_1$; $E = c_2 n_1 - c_1 n_2$; $F = m_1 m_2$;
$G = m_1 n_2 + m_2 n_1$ és $H = n_1 n_2$.

A k olyan értékénél, amikor a tört nevezője 0-vá válik, az összekötő vonalszakasz hossza végtelen, vagyis $t_{max} = \infty$ akkor következik be, ha $k^2F - kG + H = 0$, vagyis ha:

$$k_1 = \frac{G + \sqrt{G^2-4HF}}{2F} \quad \text{és} \quad k_2 = \frac{G - \sqrt{G^2-4HF}}{2F}.$$

Az első csoportban az az összekötő-vonalszakasz lesz a legrövidebb, amelyre a fenti függvénynek minimuma van (az első differenciál hányadosa 0-val egyenlő és a második differenciál hányadosa pozitív érték). A fenti függvény minimumának meghatározásához első differenciál hányadosát képezzük és azt 0-val tesszük egyenlővé. Tekintve, hogy a függvény $t = \frac{u}{v}$ alakú tört, amelynek mind számlálójában, mind nevezőjében előfordul a változó érték, az első differenciál hányados következő alakú lesz:

$$\frac{dt}{dk} = \frac{\frac{du}{dk} v - \frac{dv}{dk} u}{v^2}, \text{ esetünkre vonatkoztatva:}$$

$$F'(k) = \frac{dt}{dk} = \left\{ \left\{ \frac{1}{2} \cdot [4(A^2+C^2)k^3+6(AB+CD)k^2+2(A^2+B^2+D^2+2CE)k+ \right.\right.$$

$$\left. + 2(AB+DE)] \cdot [Fk^2-Gk+H] \right\} : \left\{ [(A^2+C^2)k^4+2(AB+CD)k^3+ \right.$$

$$\left.\left. + (A^2+B^2+D^2+2CE)k^2+2(AB+DE)k+B^2+E^2]^{1/2} \right\} : (Fk^2-Gk+H)^2 \right\} -$$

$$\{(2Fk-G)[(A^2+C^2)k^4+2(AB+CD)k^3+(A^2+B^2+D^2+2CE)k^2+$$

$$+ 2(AB+DE)k+B^2+E^2]^{1/2}\} : (Fk^2-Gk+H)^2 = \{[2(A^2+C^2)k^3+$$

$$+ 3(AB+CD)k^2+(A^2+B^2+D^2+2CE)k+(AB+DE)] \cdot (Fk^2-Gk+H)\} :$$

$$: \{(Fk^2-Gk+H)^2[(A^2+C^2)k^4+2(AB+CD)k^3+(A^2+B^2+D^2+2CE)k^2+$$

$$+ 2(AB+DE)k+B^2+E^2]^{1/2}\} - \{[(A^2+C^2)k^4+2(AB+CD)k^3+$$

$$+(A^2+B^2+D^2+2CE)k^2+2(AB+DE)k+B^2+E^2](2Fk-G)\}:$$
$$:\{(Fk^2-Gk+H)^2[(A^2+C^2)k^4+2(AB+CD)k^3+(A^2+B^2+D^2+2CE)k^2+$$
$$+2(AB+DE)k+B^2+E^2]^{1/2}\}=0.$$

A fenti tört alakú kifejezés 0-val válik egyenlővé, ha a számláló 0-val egyenlő. Ha elvégezzük a számlálóban a kijelölt algebrai műveleteket, a megfelelő rövidítések és a számlálónak 0-val való egyenlővé tétele után a következő kifejezést kapjuk:

$$[-G(A^2+C^2)-F(AB+CD)]k^4+[-F(A^2+B^2+D^2+2CE)-G(AB+CD)+$$
$$+2H(A^2+C^2)]k^3+[3H(AB+CD)-3F(AB+DE)]k^2+$$
$$+[H(A^2+B^2+D^2+2CE)-2F(B^2+E^2)+G(AB+DE)]k+$$
$$+H(AB+DE)+G(B^2+E^2)=0.$$

A k^4, k^3, k^2, k együtthatóit és a szabad tagot M, N, P, Q és R betűkkel jelölve egyenletünk a következő alakú lesz:

$$Mk^4+Nk^3+Pk^2+Qk+R=0.$$

Az előzőkben láttuk, hogy az összekötő vonalszakasz hossza végtelen naggyá válik, ha:

$$k_1=\frac{G+\sqrt{G^2-4HF}}{2F} \quad \text{és} \quad k_2=\frac{G-\sqrt{G^2-4HF}}{2F}.$$

Ez utóbbi értékek meghatározzák a függvény határait az első csoportban. Ismerve a függvény határait, könnyen meghatározhatók az egyenlet gyökei. A gyökök elegendő pontossággal határozhatók meg az egyenletnek a megközelítő „regula falsi" módszerrel történő megoldásával. Ezután a k változó meghatározott értékeit a t egyenletbe behelyettesítjük és így meghatározzuk a legrövidebb összekötő vonalszakasz valódi hosszát.

Tekintve, hogy az összekötő vonalszakasznak a másik két csoportban is minimumai vannak, ezért mindenekelőtt meghatározzuk ezeket, ennek megtörténte után annak az összekötő vonalszakasz végpontjainak koordinátáit fogjuk kiszámítani, amely vonalszakasz hossza a kapott minimális hosszak között a legkisebb.

A legrövidebb összekötő vonalszakasz meghatározása a második csoportban:

A $B_1' \parallel B'$ és $C'E'$ egyenesekkel határolt második csoportban a legrövidebb összekötő vonalszakasz meghatározására, amelynek végpontjai az A

és C egyeneseken fekszenek, az összekötő vonalszakasz hosszának függvényét következő alakban írjuk fel:

$$t = \sqrt{x_r^2 + y_r^2 + (z_r - z_t)^2}\,.$$

Ebben az egyenletben az x_r, y_r, z_r és z_t értékei a következők:

$$x_r = \frac{a_1}{n_1 - m_1 k}\,; \quad y_r = \frac{a_1 k}{n_1 - m_1 k}\,; \quad z_r = \frac{k \cdot b_1 + c_1}{n_1 - m_1 k}\,; \quad z_s = \frac{k \cdot b_2 + c_2}{n_2 - m_2 k}\,.$$

A z_t értékét a következő arányosságból határozzuk meg:

$$(z_t - z_s) : (z_s - z_r) = x_s : (x_r - x_s),$$

$$z_t = \frac{z_s x_r - z_r x_s}{x_r - x_s} = \frac{k(a_1 b_2 - a_2 b_1) + a_1 c_2 - a_2 c_1}{k(a_2 m_1 - a_1 m_2) + a_1 n_2 - a_2 n_1}\,.$$

A fenti kifejezéseket a t-re kapott képletbe behelyettesítve:

$$t = \sqrt{\frac{a_1^2}{(n_1 - m_1 k)^2} + \frac{k^2 a_1^2}{(n_1 - m_1 k)^2} + \left[\frac{kb_1 + c_1}{n_1 - m_1 k} - \frac{ka_1 b_2 - ka_2 b_1 + a_1 c_2 - a_2 c_1}{ka_2 m_1 - ka_1 m_2 + a_1 n_2 - a_2 n_1}\right]^2}$$

$$= \frac{a_1}{(n_1 - m_1 k)\,(kp + q)} \sqrt{(1 + k^2)\,(kp + q)^2 + (k^2 r + ks + u)^2} =$$

$$= \frac{\sqrt{(p^2 + r^2)k^4 + (2pq + 2rs)k^3 + (p^2 + q^2 + s^2 + 2ur)k^2 + (2pq + 2su)k + q^2 + u^2}}{k\,\dfrac{n_1 p - m_1 q_1}{a_1} - k^2 \dfrac{m_1 p}{a_1} + \dfrac{n_1 q}{a_1}}$$

ahol: $p = a_2 m_1 - a_1 m_2$; $q = a_1 n_2 - a_2 n_1$; $r = b_2 m_1 - b_1 m_2$;

$$s = b_1 n_2 - b_2 n_1 + c_2 m_1 - c_1 m_2 \quad \text{és} \quad u = c_1 n_2 - c_2 n_1.$$

A számlálóban a k^4 előtti együtthatót A, a k^3 előttit B, a k^2 előttit C és a k előttit D, továbbá a szabad tagot E betűvel jelöljük; a nevezőben a k előtti együtthatót F, a k^2 előttit G és a szabad tagot H betűvel jelöljük. Az előző jelöléseket bevezetve t-re a következő kifejezést kapjuk:

$$t = \sqrt{\frac{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E}{Fk - Gk^2 + H}}\,.$$

Az összekötő vonalszakasz hossza végtelenné válik, amikor a nevező 0-val egyenlő, vagyis $t_{\max} = \infty$, ha $kF - k^2 G + H = 0$, vagyis ha :

$$k_1 = \frac{F + \sqrt{F^2 + 4HG}}{2G} \quad \text{és} \quad k_2 = \frac{F - \sqrt{F^2 + 4HG}}{2G} .$$

Az összekötő vonalszakasz hossza a legrövidebb, amikor a t függvényének minimuma van, e függvény minimuma azon a helyén van, ahol az első differenciál hányadosa egyenlő 0-val és a második differenciál hányadosa pozitív érték, vagyis ha $F'(k) = \frac{dt}{dk} = 0$.

A t-re kapott fenti függvényt differenciálva a következő kifejezést kapjuk :

$$\frac{dt}{dk} = \left\{ \frac{\frac{1}{2} \cdot (4Ak^3 + 3Bk^2 + 2Ck + D)(Fk - Gk^2 + H)}{\sqrt{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E}} - \right.$$

$$\left. - (F - 2Gk)\sqrt{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E} \right\} : (Fk - Gk^2 + H)^2 =$$

$$= \left[\frac{1}{2}(4Ak^3 + 3Bk^2 + 2Ck + D) \cdot (Fk - Gk^2 + H) - \right.$$

$$\left. (F - 2Gk) \cdot (Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E) \right] :$$

$$: \left[(Fk - Gk^2 + H)^2 \sqrt{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E} \right] = 0 .$$

Ahhoz, hogy a fenti kifejezés 0-val egyenlővé váljék, szükséges, hogy a számlálója legyen 0-val egyenlő. Ha elvégezzük a számlálóban kijelölt algebrai műveleteket, a számlálót 0-val tesszük egyenlővé és a kifejezést rendezzük, akkor az alábbi negyedfokú egyenletet kapjuk :

$$(AF + 0{,}5\,BG)k^4 + (0{,}5\,BF + 2\,AH + CG)k^3 + (1{,}5\,DG + 1{,}5\,BH)k^2 +$$
$$+ (HC + 2\,GE - 0{,}5\,FD)k + (0{,}5\,DH - EF) = 0.$$

A fenti egyenletben a k^4, k^3, k^2 és k előtti együtthatókat M, N, P és Q, továbbá a szabad tagot R betűvel jelölve a következő kifejezést kapjuk :

$$Mk^4 + Nk^3 + Pk^2 + Qk + R = 0.$$

A határokat, amelyek között a fenti negyedfokú egyenlet gyökei fekszenek, a t összekötő vonalszakasz hosszára kapott kifejezésből határozhatjuk meg, ebből a kifejezésből következik ugyanis, hogy t akkor éri el maximális ∞ ér-

tékét, amikor a kifejezés nevezője 0-val egyenlő; $t_{\max} = \infty$, ha $Gk^2 - Fk - H = 0$ vagy ha:

$$k_1 = \frac{F + \sqrt{F^2 + 4HG}}{2G} \quad \text{és} \quad k_2 = \frac{F - \sqrt{F^2 + 4HG}}{2G}.$$

Meghatározva a határértékeket, amelyek között a negyedfokú egyenlet gyökei fekszenek, a gyököket „regula falsi" módszerrel határozhatjuk meg.

A k változó ily módon meghatározott értékét a t-re fentiekben levezetett kifejezésbe helyettesítjük be és ily módon meghatározzuk az összekötő vonalszakasznak a második csoportba eső legrövidebb valódi hosszát.

A legrövidebb összekötő vonalszakasz hosszának megállapítása a harmadik csoportban:

Hasonló módon meghatározhatjuk a legrövidebb összekötő vonalszakasz hosszát a harmadik csoportban, amelyet a $C'E'$ és a B-vel párhuzamos B' egyenesek határolnak, az ide tartozó összekötő vonalszakasz szélső pontjai a B és C egyeneseken fekszenek. Az összekötő vonalszakasz hosszának egyenlete:

$$t = \sqrt{x_s^2 + y_s^2 + (z_t - z_s)^2},$$

ahol:

$$x_s = \frac{a_2}{n_2 - m_2 k}, \quad y_s = \frac{a_2 k}{n_2 - m_2 k}, \quad z_s = \frac{kb_2 + c_2}{n_2 - m_2 k} \quad \text{és} \quad z_r = \frac{kb_1 + c_1}{n_1 - m_1 k}.$$

z_t értékét a következő arányosságból határozzuk meg:

$$(z_t - z_r) : (z_r - z_s) = x_r : (x_s - x_r) \quad \text{vagy}$$

$$z_t = \frac{z_r x_s - z_s x_r}{x_s - x_r} = \frac{(a_2 b_1 - a_1 b_2)k + a_2 c_1 - a_1 c_2}{(a_1 m_2 - a_2 m_1)k + a_2 n_1 - a_1 n_2}.$$

Az x_s, y_s, z_t és z_s fenti kifejezéseit a t kifejezésébe behelyettesítve, az a következő alakú lesz:

$$t = \left\{ \left(\frac{a_2}{n_2 - m_2 k} \right)^2 + \left(\frac{ka_2}{n_2 - m_2 k} \right)^2 + \left[\frac{(a_2 b_1 - a_1 b_2)k + a_2 c_1 - a_1 c_2}{(a_1 m_2 - a_2 m_1)k + a_2 n_1 - a_1 n_2} - \right. \right.$$

$$\left. \left. - \frac{b_2 k + c_2}{n_2 - m_2 k} \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} = a_2 \left\{ (1 - k^2) \cdot \left[(a_1 m_2 - a_2 m_1)k + a_2 n_1 - a_1 n_2 \right]^2 + \left[(b_2 m_1 - \right. \right.$$

$$\left. \left. - b_1 m_2)k^2 + (b_1 n_2 - b_2 n_1 + c_2 m_1 - c_1 m_2)k + c_1 n_2 - c_2 n_1 \right]^2 \right\}^{\frac{1}{2}} :$$

$$: \left\{ (n_2 - m_2 k) \cdot \left[(a_1 m_2 - a_2 m_1)k + a_2 n_1 - a_1 n_2 \right] \right\}.$$

A kényelmesebb kezelés kedvéért a fenti kifejezésben a k változó előtti zárójelben levő kifejezéseket, valamint a szabad tagot következőképpen jelöljük:

$$(a_1 m_2 - a_2 m_1) = p\,; \quad (a_2 n_1 - a_1 n_2) = q\,; \quad (b_2 m_1 - b_1 m_2) = r\,;$$

$$(b_1 n_2 - b_2 n_1 + c_2 m_1 - c_1 m_2) = s \quad \text{és} \quad (c_1 n_2 - c_2 n_1) = u,$$

ezeket a jelöléseket a t kifejezésébe behelyettesítve:

$$t = \frac{a_2 \sqrt{(1+k^2)\cdot(p^2k^2+2pqk+q^2)^2 + (rk^2+sk+u)^2}}{(n_2 - m_2 k)\cdot(pk+q)} =$$

$$= \frac{\sqrt{(p^2+r^2)k^4+(2pq+2rs)k^3+(p^2+q^2+s^2+2ru)k^2+(2pq+2su)k+q^2+u^2}}{\frac{pn_2-qm_2}{a_2}k - \frac{pm_2}{a_2}k^2 + \frac{qn_2}{a_2}}.$$

A nevezőben a k és k^2 előtti együtthatókat F, illetve G és a szabad tagot H betűvel, a számlálóban a k^4, k^3, k^2 és k előtti együtthatót és a szabad tagot A, B, C, D és E betűkkel jelölve a t kifejezése következő alakú lesz:

$$t = \frac{\sqrt{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E}}{Fk - Gk^2 + H}.$$

Az összekötő vonalszakasz hossza végtelen naggyá válik, amikor a fenti kifejezés nevezője 0-val egyenlő, vagyis $t_{\max} = \infty$, ha $Gk^2 - Fk - H = 0$ és

$$k_1 = \frac{F + \sqrt{F^2 + 4HG}}{2G} \quad \text{és} \quad k_2 = \frac{F - \sqrt{F^2 + 4HG}}{2G}.$$

A legrövidebb összekötő vonalszakasz meghatározásához a fenti függvény első differenciálhányadosát képezzük és azt 0-val vesszük egyenlőnek. Differenciálás után a következő kifejezést kapjuk:

$$\frac{\mathrm{d}t}{\mathrm{d}k} = \left\{ \frac{\frac{1}{2}\cdot(4Ak^3 + 3Bk^2 + 2Ck + D)\cdot(Fk - Gk^2 + H)}{\sqrt{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E}} - (F - Gk^2 + \right.$$

$$\left. + H)\cdot\sqrt{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E} \right\} : \left\{(Fk - Gk^2 + H)^2\right\} = \left\{(2Ak^3 + 1{,}5Bk^2 + \right.$$

$$\left. + Ck + 0{,}5D)\cdot(Fk - Gk^2 + H) - (F - 2Gk)\cdot(Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E)\right\} :$$

$$: \left\{(Fk - Gk^2 + H)^2\sqrt{Ak^4 + Bk^3 + Ck^2 + Dk + E}\right\} = 0.$$

Ahhoz, hogy a fenti tört alakú kifejezés 0-val legyen egyenlő, szükséges, hogy a számlálója 0 legyen. A számlálóban elvégezzük a kijelölt algebrai műveleteket, a megfelelő egyszerűsítéseket, azt 0-val tesszük egyenlővé és ezután a következő kifejezésre jutunk:

$$(AF + 0{,}5\,GB)k^4 + (BF + 2\,AH + CG)k^3 + (1{,}5\,BH + 2\,DG)k^2 + \\ + (CH - 0{,}5\,DF + 2\,EG)k + EF + 0{,}5\,DH = 0\,.$$

A k^4, k^3, k^2 és k előtti együtthatókat, valamint a szabad tagot M, N, P, Q és R betűkkel jelölve, egyenletünk következő alakú lesz:

$$Mk^4 + Nk^3 + Pk^2 + Qk + R = 0\,.$$

A fenti egyenlet gyökeit a harmadik csoportot határoló határok között, nevezetesen

$$k_1 = \frac{F + \sqrt{F^2 + 4\,HG}}{2\,G} \quad \text{és} \quad k_2 = \frac{F - \sqrt{F^2 + 4\,HG}}{2\,G}$$

között fogjuk keresni.

A fenti negyedfokú egyenletet a megközelítő „regula falsi" módszerrel oldjuk meg, gyökeit k_1 és k_2 határok között keresve. A k ismeretlen értékét meghatározva, amelynél a függvénynek minimuma van, ezt az értéket a t kifejezésbe behelyettesítjük és ily módon meghatározzuk a harmadik csoportban fekvő legrövidebb összekötő vonalszakasz valóságos hosszát.

A három különálló csoportban ily módon meghatározott három legrövidebb összekötő vonalszakasz közül kiválasztjuk a legrövidebbet és meghatározzuk ennek az összekötő vonalnak a három kitérő A, B és C egyenessel való metszéspontjainak koordinátáit. Erre a célra külön-külön összeállítjuk az összekötő vonalszakasz és az egyik egyenes egyenleteiből álló egyenletrendszert.

Így például az összekötő vonalszakasz és az A egyenes r metszéspontjára az egyenletrendszer a következő:

$$y = \frac{n_1}{m_1}x - \frac{n_1}{m_1}x_a + y_a\,,$$

$$y = kx.$$

Az összekötő vonalszakasz és a B egyenes s metszéspontjára az egyenletrendszer:

$$y = \frac{n_2}{m_2}x - \frac{n_2}{m_2}x_c + y_c$$

$$y = kx.$$

Az A és B egyenesek parametrikus egyenleteiből meghatározzuk a z_r és z koordinátákat:

$$z_r = \frac{l_1}{m_1} x_r - \frac{l_1}{m_1} x_a + z_a \quad \text{és} \quad z_s = \frac{l_2}{m_2} \cdot x_s - \frac{l_2}{m_2} \cdot x_c + z_c .$$

Az összekötő vonalszakasz és a C egyenes metszéspontjának koordinátái a következők:

$$x_t = 0 , \quad y_t = 0 \quad \text{és} \quad z_t = \frac{z_s x_r - z_r x_s}{x_r - x_s} .$$

Az első csoportban r és s pontok, amelyek az A és B egyeneseken fekszenek, egyúttal az összekötő vonalszakasz végpontjai is, a második csoportban az A és C egyeneseken fekvő r és t pontok az összekötő vonalszakasz végpontjai, a harmadik csoportban a B és C egyeneseken fekvő s és t pontok az összekötő vonalszakasz végpontjai.

A meghatározott legrövidebb összekötő vonalszakasz r, s és t végpontjainak, illetve közbülső pontjának koordinátáit az alábbi transzformációs képletek segítségével az adott koordináta-rendszerbe transzformáljuk:

$$\begin{aligned} x &= x' \cos\varphi - y' \sin\varphi \cos\vartheta - z' \sin\varphi \sin\vartheta + a \\ y &= x' \sin\varphi - y' \cos\varphi \cos\vartheta - z' \cos\varphi \sin\vartheta + b \\ z &= y' \sin\vartheta + z' \cos\vartheta . \end{aligned}$$

A fenti kifejezésben x, y és z az adott pontok koordinátái az adott koordináta-rendszerben, x', y' és z' ugyanezeknek a pontoknak koordinátái a választott koordináta-rendszerben, a és b a választott koordináta-rendszer kezdőpontjának eltolódása az adott koordináta-rendszer abszcissza és ordináta tengelyeinek irányában, a φ szög az adott és a felvett koordináta-rendszerek abszcissza tengelyeivel (OX és $O'X'$) bezárt vízszintes szög, a ϑ szög az OZ és $O'Z'$ applikáta-tengelyekkel bezárt zenitszög.

Az A, B és C egyeneseken adott pontok koordinátái, valamint az összekötő vonalszakasz pontjainak koordinátái alapján meghatározzuk az A, B és C egyenesek és az összekötő vonalszakasz irányszögeit, ezek megfelelő összeadása, illetve kivonása útján meghatározzuk a legrövidebb összekötő vágat keresett tengelyének kitűzéséhez szükséges kitűzési szögeket. Ugyancsak a fenti koordináták alapján meghatározzuk az összekötő vonalszakasz végpontjai és közbenső pontjának távolságát a megfelelő egyenesek (A, B és C) irányában az ezeken az egyeneseken adott pontoktól, továbbá az összekötő vonalszakasz hajlását. Az ily módon meghatározott elemekkel a megállapított legrövidebb összekötő vágat tengelye a helyszínen kitűzhető.

IRODALOM

1. Dr. A. Hornoch: Neue Gesichtspunkte zur rechnerischen Lösung der Markscheideraufgaben. Berg. u. Hütten. Jahrbuch, 1925. év, 146. old.
2. P. Wilski: Lehrbuch der Markscheidekunde, Bd. I. (1929) Berlin, 219—222. old.
3. K. Walek: Kürzeste Verbindung dreier windschiefer Raumgeraden. Soproni Közlemények 1935. év, 332—356. old.
4. K. Walek: Zur Aufgabe über die Bestimmung der kürzesten geradlinigen Verbindung dreier windschiefer Raumgeraden. Soproni Közlemények, 1937. év, 144—172. old.
5. K. Walek: Kürzeste Verbindung dreier Grubenstrecken innerhalb eines begrenzten Grubenraumes. Soproni Közlemények, 1938. év, 129—139. old.
6. I. Kiss: Der kürzeste Abstand zweier und dreier windschiefer Raumgeraden. Soproni Közlemények, 1942. év, 332—346. old.
7. Petrik Géza: Ábrázoló geometriai példatár bányamérnökhallgatók számára. (1954) Budapest, 86—93. old.

ÖSSZEFOGLALÁS

Három, a térben általános helyzetű (kitérő) bányafolyosó legrövidebb összekötésére ad két új megoldást ez a tanulmány. Az első, grafikus megoldás az ábrázoló geometria eljárásait alkalmazza. A második módszer téranalitikai alapokon, a vágatokat egyenesek egyenleteivel helyettesítve minimum számítás segítségével ad új megoldást.

SZILIKÁTÜVEG VISZKOZITÁSÁNAK AKTIVÁLÁSI ENERGIÁJA

KNAPP OSZKÁR

A KÉMIAI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1955. március 7-én]

A szilikátüveg viszkozitása és hőfokváltozása közötti összefüggés kifejezésére több kutató állított fel képleteket.

EYRING [1] a következő képletet vezette le:

$$\eta = Ae^{E/RT}, \tag{1}$$

amelyben A és E állandók és T az abszolút hőfok.

EYRING feltételezte, hogy állandó térfogat mellett E két részből tevődik össze. Egyik E_1 energia, amely a részecskék elmozdulását, vándorlását lehetővé tevő szerkezeti fellazulást, a lyukakat létesíti, és a másik E_2 energia, amelynek hatására a részecskék a lyukakba vándorolnak. Feltételezte továbbá, hogy magas hőmérsékleten a szilikátüveg szerkezete aránylag laza és a lyukak létesítésére szükséges E_1 energia aránylag kicsiny. Ezzel szemben alacsony hőmérsékleten az üveg alkotórészecskéi nagymértékben asszociálódtak és elmozdulásuk csak több kötés szakadása után lehetséges. A lyukak képzésére szükséges E_2 energia tehát nagy és túlsúlyban van.

E feltételezés alapján EYRING a szilikátüveg viszkozitás-hőmérséklet függését a következőképp fejezte ki:

alacsony hőmérsékleten

$$\eta = A_1 e^{E_1/RT} e^{E_2/RT},$$

magas hőmérsékleten

$$\eta = A_2 e^{E_2/RT}, \tag{2}$$

amely képletekben A_1 és A_2 állandók.

Egy másik hipotézist DOUGLAS [2] dolgozott ki. Feltételezte, hogy adott hőmérsékleten az üveg szerkezetében kétféle részecskék vannak. Vannak részecskék, amelyek vándorolni képesek, mert olyan lyukak tartoznak hozzájuk, amelyekbe be tudnak hatolni, és vannak olyan részecskék, amelyek nem vándorol-

hatnak. H a vándorlóképes részecskék száma az összes részecskék számához viszonyítva w, a viszkozitás képletét a következő alakban lehet írni:

$$\eta = (A_3 T/w)\, e^{B/T}\,, \tag{3}$$

amelyben A_3 és B állandók.

Feltételezi továbbá, hogy a w törtrész a hőmérséklettel a

$$1/w = 1 + A_4 e^{C/T} \tag{4}$$

képlet szerint változik, amelyben A_4 és C állandók és így a (4) képletet a (3) képletbe helyettesítve a következő képlethez jut

$$\eta = A_3 T e^{B/T}(1 + A_4 e^{C/T})\,. \tag{5}$$

Magas hőmérsékleten w értéke megközelíti az egységet és

$$\eta = A_5 T e^{B/T}\,, \tag{6}$$

ha

$$A_5 = A_3(1 + e^{C/T})\,. \tag{7}$$

Alacsony hőmérsékleten $1/w$ értéke nagy és

$$1/w = A_4 e^{C/T}\,. \tag{8}$$

Behelyettesítjük a (8) képletet a (3) képletbe és kapjuk, hogy

$$\eta = A_3 T e^{B/T} A_4 e^{C/T}$$

vagy

$$\eta = A_6 T e^{D/T}\,, \tag{9}$$

ha $D = B + C$ és $A_6 = A_3 \cdot A_4 \cdot T$.

A kismértékű rendezettség alapján DIENES [3] dolgozott ki olyan eljárást, amely az aktiválási energiát két részre osztja. Eljárásának fizikai magyarázata a következő:

Ha valamely folyadék hőmérséklete változik, azt szerkezeti változás, pl. üvegolvadékban asszociáció követi. Ha a hőmérséklet emelkedik, a rendezettség foka, az ionok elhelyezkedésének szabályszerűsége, csökken. A viszkózus folyás ezenkívül konfigurációs változásokkal jár a folyadékban. Kisebb mértékben rendezett folyadékban tehát könnyebb azokat a konfigurációs változásokat létesíteni, amelyek a folyáshoz szükségesek. A viszkozitás e szerint csökken, ha a rendezettség foka csökken. MACK [4] feltételezve, hogy a folyósság, a viszkozitás reciprok értéke, a rendezettség fokával arányos a

$$\Phi = \Phi'(1 - \sigma)$$

képlet szerint, amelyben Φ a folyósság, Φ' a tökéletesen rendezetlen anyag folyóssága és σ a kismértékű rendezettség foka. Ebből következik, hogy

$$\eta = \eta' \left(\frac{1}{1 - \sigma} \right),$$

ha η a viszkozitás, η' a teljesen rendezetlen anyag viszkozitása, tehát ha $\sigma = 0$. Az exponenciális függését a hőmérséklettel a

$$\eta' = \eta_0 \, e^{E/T} \tag{10}$$

képlet fejezi ki, amelyben E a viszkózus folyás aktiválási energiája a teljesen rendezetlen folyadékban. A σ értéke azonban szintén a hőmérséklet függvénye. FRENKEL a kismértékű rendezettség hőfokfüggvényére a következő képletet dolgozta ki [5]:

$$\sigma = \operatorname{tg} h \, (U/2\,RT) \, ,$$

amelyben U a rendeződés energiája, vagyis a szerkezeti aktiválási energia. E képlet szerint $T = 0$ hőmérsékleten $\sigma = 1$. Abból a célból, hogy a $\sigma = 1$ értéket T_0 véges hőmérsékleten kapjuk meg, a fenti képletet a következőképp módosítjuk:

$$\sigma = \operatorname{tg} h \left[U/2\,R\,(T - T_0) \right] . \tag{11}$$

Ha a (6) és (7) képletet egyesítjük és bizonyos algebrai levezetéseket végzünk, kapjuk, hogy

$$\eta = \frac{\eta_0}{2} \, e^{E/RT} \left[e^{U/R\,(T - T_0)} + 1 \right] . \tag{12}$$

A három említett kutató kidolgozta képletek, amelyek a szilikátüveg viszkozitását fejezik ki, bizonyos hasonlóságot mutatnak, ámbár azok levezetésénél különböző elméleti alapokból indultak ki. Mindhárom képlet azt mutatja, hogy a szilikátüveg viszkozitása magas hőmérsékleten elsősorban az üveg alkotórészecskéi közötti erőktől, azaz a kismértékű rendezettségtől, míg alacsony hőmérsékleten elsősorban a kialakult üvegszerkezet részecskéinek elrendezésétől függ.

Annak eldöntése végett, hogy az üvegek viszkozitásának értékei a (2), (9) és (12) képletek szerint kiszámítva megegyeznek-e vagy eltérnek-e a kísérletileg talált értékektől, összehasonlítást végeztem ALLISON és TURNER [7] vizsgálta, S 37 jelű üveg viszkozitása mérési adataival.

Magas hőmérsékleten az Eyring-féle képlet logaritmusos kifejezése a következő:

$$\log \eta = \log A_2 + \frac{1}{2{,}3\,RT} E_2 .$$

A log A_2 és E_2 állandók értékeit különböző hőmérsékleti határok között az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat

T	log A_2	E_2 kcal/mol
1673—1583	—2,55	35,2
1583—1493	—3,11	39,3
1493—1342	—4,30	47,5
1342—1195	—5,47	54,0

Amint látjuk, magas hőmérsékleten log A_2 és E_2 értékei nem állandók és csökkenő hőmérsékleten emelkednek.

Alacsony hőmérsékleten az Eyring-féle képlet logaritmusos alakja a következő:

$$\log \eta = \log A_1 + \frac{1}{2{,}3\,RT} E_1 + \frac{1}{2{,}3\,RT} E_2 .$$

Ebben a képletben a log A_1 és E_1 értékeket nem lehet kiszámítani, mert amint láttuk, E_2 értéke függ a hőmérséklettől.

Az Eyring-féle képlet tehát sem magas, sem alacsony hőmérsékleten nem érvényes, mert az abban előforduló állandók nem függetlenek a hőmérséklet változásaitól.

A DOUGLAS részéről felállított képletek érvényességének megállapítása céljából írjuk fel azok logaritmus alakjait. Magas hőmérsékleten a képlet a következő:

$$\log \eta = \log A_5 + \log T + \frac{1}{2{,}3\,RT} B .$$

Ha kiszámítjuk log A_5 és B értékeit, a 2. táblázatban megadott értékeket kapjuk: Az eredmények ugyanazt a képet adják, mint az előbbi esetben, az állandóknak vélt log A_5 és B értékei különböző hőmérsékleti határok között változnak és csökkenő hőmérséklettel emelkednek. Hasonlóképp az alacsony hőmérsékletekre kidolgozott képlet is érvénytelen a B állandónak vélt értéknek a hőmérséklettől való függése miatt.

2. táblázat

T	log A_5	B kcal mol
1673—1583	—6,19	38,4
1583—1493	—6,73	42,3
1493—1342	—7,92	50,5
1342—1195	—8,89	56,5

DIENES képletének állandóit három üvegre számította ki, amelyeket ROBINSON és PETERSON [8] vizsgált. A 3. táblázatban felsorolt értékeket kapta.

3. táblázat

Az üveg jele	2	10	330
T_0 K°	560	560	562
E kcal/mol	18,28	4,57	18,28
U kcal/mol	11,77	17,11	10,47

DIENES tehát E értékére 4,57 és 18,28 kcal/mol értékeket kapott. Ellenőrzés céljából hasonlítsuk össze ezeket az értékeket azokkal az értékekkel, amelyeket KAMEL [9] kapott, aki a nátriumion diffúziós aktiválási energiáját mérte üvegekben.

KAMEL szilikátüvegek belső súrlódását mérte tranzverzális és torziós vibrációval. Azt találta, hogy a maximális belső súrlódásnak megfelelő hőmérsékletnek és a vibráció frekvenciája logaritmusos értékének a viszonyát linearitás jellemzi. A lineáris vonal emelkedése arányos az aktiválási hőenergiával. Az aktiválási hőenergiát ki tudta számítani a következő képlettel

$$H = R\,(\ln \nu_2/\nu_1)\,\Delta\,(1/T)\,,$$

amelyben R a gázállandó, és $\Delta\,(1/T)$ a csúcs helyzetének eltolódása, ha a frekvencia eltolódik ν_1-től ν_2-ig. A kiszámított értékek 11 és 18% nátriumoxid-tartalmú üvegekben 17 és 21 kcal/mol között voltak.

Ezeket az eredményeket elektromos ellenállási mérések adatai megerősítették. Ionos vezetésnél a ϱ ellenállás és a T abszolút hőfok összefüggését a

$$\varrho = \varrho_\infty\, e^{H/RT}$$

képlet adja meg, amelyben ϱ_∞ adott összetételű üvegre állandó. Az ezzel a képlettel számított diffúziós aktiválási energia értékei eléggé jól egyeznek azokkal az értékekkel, amelyeket az üveg belső súrlódásának értékei adtak. A két egymástól különböző módszerrel kapott eredményeket a 4. táblázatban hasonlítjuk össze.

4. táblázat

Az üveg jele	H értéke kcal/mol		
	belső súrlódásból		ellenállásból
	transverzálisan	torzionálisan	
1.	20,0	20,7	20,6
2.	19,0	18,8	19,2
3.	17,0	16,9	17,4

Az E aktiválási energia értéke, amely DIENES képletében előfordul, a lyukképzésre szükséges E_1 és a lyukba vándoroltatást kifejtő E_2 energiák összege. Az aktiválási hőenergia és a diffúziós aktiválási energia, amely KAMEL képletében van, az elektromos energia folyását fejezi ki az üvegben, azaz a részecskék, a kationok vándorlását a lyukakba. Az E értékének tehát mindenképp nagyobbnak kell lenni, mint a H értéknek.

Azoknál az üvegeknél azonban, amelyeket DIENES tanulmányozott, azt találjuk, hogy E értéke kisebb, vagy csak megközelítőleg azonos a KAMEL megállapította H értékek átlagával. A Dienes-féle képletben előforduló E érték tehát arra sem, vagy csak éppen arra elegendő, hogy a részecskék vándoroljanak, a lyukak képzésére azonban energia már nem jut, vagyis DIENES értékei kicsik. Miután E_1, a részecskék vándorlására szükséges folyási aktiválási energia és H az elektromos töltés folyása, a diffúziós aktiválási energia azonos, mód adódik arra, hogy a viszkózus folyás aktiválási energiáját szétbontsuk. Az eljárás azon alapszik, hogy az Eyring-féle képlet azono-, illetőleg igen szűk hőmérsékleti változások mellett érvényesnek tekinthető. Felírhatjuk tehát, hogy

$$\log \eta_1 = \log A_2 + \frac{1}{2{,}3\,RT} E$$

$$\log \eta_2 = \log A_2 + \frac{1}{2{,}3\,RT} E\,.$$

Ily módon

$$\log \eta_1 - \log \eta_2 = \frac{1}{2{,}3\,R} E\,(T_1 - T_2)$$

és

$$E = \frac{2{,}3\,R\,(\log \eta_1 - \log \eta_2)\,T_1\,T_2}{T_2 - T_1} \qquad (13)$$

$\frac{T_1 + T_2}{2}$ hőfokon.

Hasonlóképp

$$E_2 = \frac{2{,}3\,R\,(\log \varrho_1 - \log \varrho_2)\,T_1\,T_2}{T_2 - T_1} \qquad (14)$$

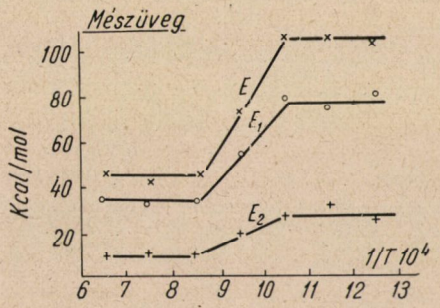
ugyanazon a hőmérsékleten.

A szakirodalomban mindössze négy fajta üveg ismeretes, amelyeknek viszkozitását és elektromos ellenállását magas és alacsony hőmérsékleten megmérték. Ezeket az üvegeket LITTLETON [10] vizsgálta. Az üvegek E, E_1

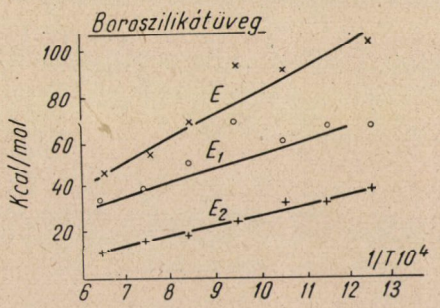
és E_2 értékeit a (13) és (14) képletek szerint kiszámítva az 5 táblázat foglalja össze és az 1—4 diagramok ábrázolják.

Ezeknek az eredményeknek az alapján az alábbi következtetéseket vonhatjuk le :

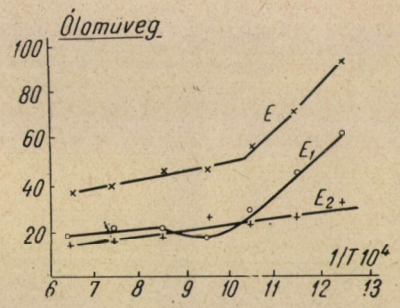
1. A lyukképződés E_1 és a vándorlás E_2 aktiválási energiája nem állandó, hanem a hőmérséklettől függő és csökkenő hőmérsékleten nagyobbak.



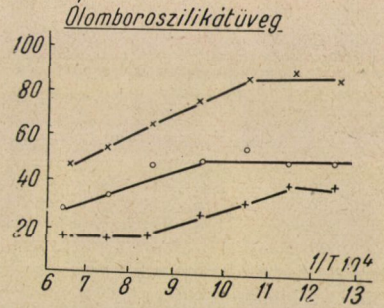
1. ábra



2. ábra



3. ábra



4. ábra

2. Az 1—4. ábra szerint a négyféle összetételű üveg E_1 lyukképző és E_2 vándorlási aktiválási energiája nem mutat azonos képet. A mészüveg görbéjének értékei alacsony (600—850 C°) és magas (1050—1250 C°) hőmérsékleti határok között közel állandók, ha nem is azonosak. A boroszilikátüveg görbéi határozott lineáris jelleget mutatnak. Az ólomtartalmú üvegek szabálytalan viselkedést tanúsítanak.

3. Ha az E_1/E_2 viszonyt számítjuk ki, a 6. táblázatban összefoglalt értékeket kapjuk.

Ezek az értékek ellentmondanak DOUGLAS és EYRING azon feltevésének, amely szerint magas hőmérsékleten a lyukképződés, alacsony hőmérsékleten pedig a vándorlás aktiválási energiája van túlsúlyban. A kétféle energia viszonya ugyanis megközelítőleg független a hőmérséklettől.

5. táblázat

T	Mész			Boroszilikát			Ólomboroszilikát			Ólomüveg			
	E	E_1	E_2	E	E_1	E_2	E	E_1	E_2	E	E_1	E_2	
1549	46	37	9	47	35	12	47	28	19	37	21	16	
1340	41	32	9	55	39	16	55	37	18	41	23	18	
1180	45	33	12	68	50	18	68	50	18	46	24	22	Kcal/mol
1055	74	55	19	92	69	23	79	51	28	46	18	28	
955	107	79	28	93	61	32	88	56	32	56	28	28	
873	108	76	32	99	68	32	90	49	41	72	45	27	
801	104	81	23	104	67	37	87	50	37	96	64	32	

6. táblázat

Üveg	T	E_1/E_2 %	Különbség
Mész		75	— 4 — 5
Boroszilikát		70	— 6 — 5
Ólomboroszilikát	801—1549	63	— 8 —10
Ólom		55	—12 —16

Az a körülmény, hogy azoknak az üvegfajtáknak a száma, amelyeknek a viszkozitási és elektromos ellenállási értékeit a hőmérséklet függvényében megvizsgálták és közzétették, igen csekély, óvatossá kell, hogy tegyen bennünket, ha határozott és általános érvényességű következtetéseket akarunk a szilikátüvegek bonyolult viszkozitási jelenségeire levonni. A fenti fejtegetések szerint azonban a viszkózus folyás és a diffúzió aktiválási energiáinak összehasonlítása alkalmasnak látszik arra, hogy a kétféle, a lyukképzés és vándorlás aktiválási energiáinak eloszlására bizonyos felvilágosításokat nyerhessünk. Elegendő adathalmaz birtokában a kétféle energia eloszlása alapján a különböző összetételű üvegek szerkezetéről mélyreható ismereteket lehet majd szerezni.

IRODALOM

1. Gladston, Laidler és Eyring: The Theory of Rate Processes, 1941.
2. Douglas, R. W.: J. Soc. Glass Techn., 33, Trans., 1949, 138. oldal.
3. Dienes, G. J.: J. Appl. Phys., 21, 1953, 779 oldal.
4. Mack, C.: J. Appl. Phys., 19, 1948. 1082 oldal.
5. Frenkel, J.: Theory of Liquids, 1946.
6. Dingwall, A. G. F. és Moore H.: J. Soc. Glass Techn., 36, Trans. 1953, 334 oldal.
7. Allison, R. S. és Turner, W. E. S.: J. Soc. Glass Techn., 37, Trans. 1954, 356 oldal.
8. Robinson, H. A. és Peterson, C. A.: J. Amer. Ceram. Soc., 27, 1944, 129 oldal.
9. Kamel, R.: J. Appl. Phys., 24, 1953. 1038 oldal.
10. Littleton, J. T.: Ind. Eng. Chem., 25, 1933, 748 oldal.

ÖSSZEFOGLALÁS

A szilikátüvegek viszkozitásának aktiválási energiájára EYRING, DOUGLAS és DIENES a magas és alacsony hőszakaszokra képleteket dolgoztak ki, amelyek szerint magas hőszakaszon a lyukképzés, alacsony hőszakaszon a vándorlás aktiválási energiája független a hőtől. Szerző pontos viszkozitási mérések alapján e képleteket felülvizsgálja és megállapítja, hogy az abban előforduló állandók nem függetlenek a hőfokváltozásoktól. Kimutatja, hogy mindkét aktiválási energia csökkenő hőfokkal nagyobbodik. Négyféle típusú, mész-, boro-, ólomboro- és ólomszilikátüvegeken kimutatja, hogy a lyukképző és vándorlási aktiválási energia hőfüggvénye különböző. Azonosnak véve a vándorlási és az elektromos töltés diffúziós aktiválási energiáját, kimutatja, hogy — ellentétben a nevezett szerzők állításaival — a lyukképzés, és a vándorlási aktiválási energiák viszonya függetlenül a hőfoktól közel azonos.

A NÁTRIUMKLORID-VÍZ ELEGY ENTALPIADIAGRAMJA*

FÁBRY GYÖRGY

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, VEGYIPARI GÉPEK TANSZÉKE

[Beérkezett 1955. április 11-én]

Egyrészt a lepárlás, az abszorbció, a bepárlás és a kristályosítás műveletének hőtani számításait, másrészt az abszorbciós hűtőgépekkel és a hidegkeverékekkel való hűtés számításait nagymértékben megkönnyítik az úgynevezett entalpia-összetétel diagramok.

Az entalpia-összetétel diagramok kétkomponensű termodinamikai rendszerek jellemző kalorikus adatait foglalják magukban és feltüntetik a gőz—folyadék, vagy folyadék—szilárdanyag, esetleg gőz—folyadék—szilárdanyag rendszerek egyensúlyi viszonyait is.

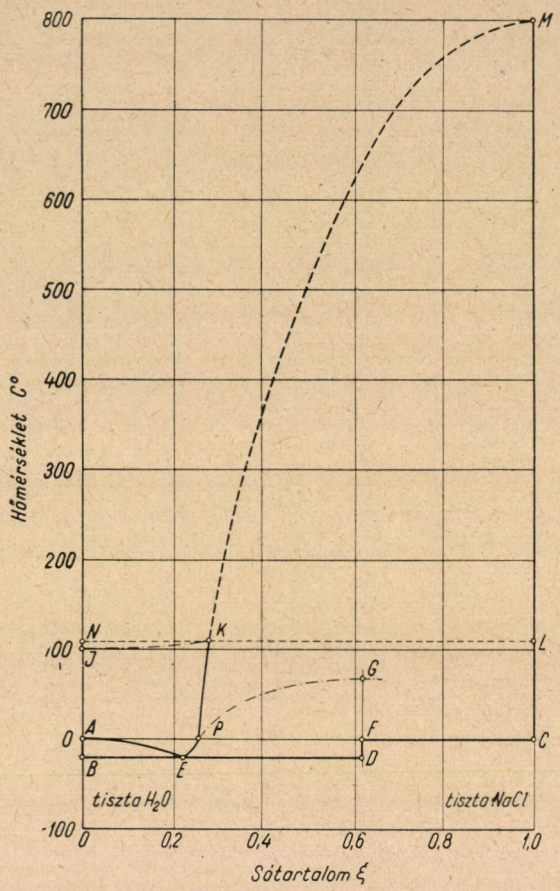
BOŠNJAKOVIĆ és mások javaslatai alapján a gyakorlatban elterjedt kétféle entalpia-összetétel diagramot, Merkel-, illetve Mollier-diagramnak nevezik [1, 2, 3]. A Merkel-diagram az összetételt az egyik alkotórésznek 1 kg elegyben foglalt súlytörtjével (súlyszázalékával) adja meg, és ezen súlytört-összetétel jelzésére a ξ betű terjedt el. A Merkel-diagramban az entalpia a diagram bármely pontjában a megfelelő ξ összetételű 1 kg elegy entalpiája, tehát : i kcal/kg elegy. A Mollier-diagram (melyet gyakran ferdeszögű koordináta-rendszerben szerkesztenek), az összetételt mindig az egyik, például az „első" komponens 1 kg-jára vonatkoztatja. Így a Mollier-diagram entalpia megadása : i kcal/kg „első" komponens.

A Merkel-diagram általánosabb, több célra használható, míg a Mollier-diagram különösen célszerű, ha a tanulmányozni kívánt folyamatban az egyik komponens abszolút mennyisége állandó marad, mint például a bepárláskor, amikor a szárazanyag (első komponens) mennyisége változatlan. Noha az entalpia-összetétel diagramok megszerkesztésének különösebb elvi nehézsége nincsen, mégis a különböző kétkomponensű rendszerekre kidolgozott entalpia-diagramok száma rendkívül csekély. Eddig mintegy 10 biner-rendszer entalpia-összetétel diagramja ismeretes, amelyek legnagyobb része Merkel-diagram alakjában készült [2].

Tudomásom szerint az irodalomban hiányzik még a nátriumklorid-víz rendszer entalpia-összetétel diagramja. Tekintve ezen rendszer gyakoriságát,

* Német nyelven megjelent az Acta Technica 14 (1956) kötetének 313/318. lapjain.

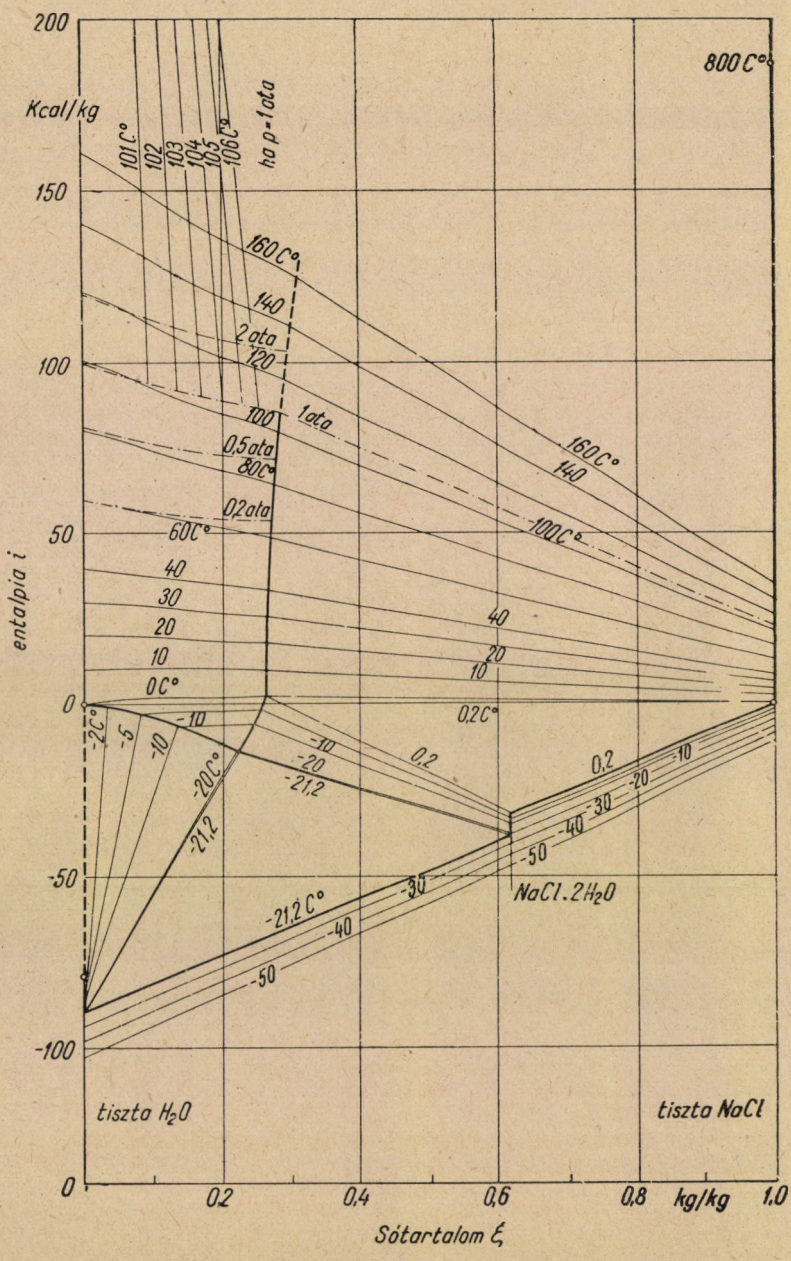
valamint a bepárlás, a kristályosítás és a hidegkeverékként való alkalmazás számításainak megkönnyítésére elkészítettem a $NaCl—H_2O$ rendszer Merkel-diagramját.



1. ábra

A szerkesztés menete és a diagram jellegzetességei nagyjából a következők : mindenekelőtt ismerni kell a rendszer fázisegyensúlyi viszonyait a hőmérséklet (nyomás) és összetétel függvényében. Ehhez a legjobb áttekintést kétségkívül a hőfok-összetétel ($t \sim \xi$) diagram szolgáltatja [4, 5, 6, 7].

Az 1. ábra a $NaCl—H_2O$ rendszer tájékoztató hőfok-összetétel diagramja. A diagramban a solidust az *A B E D F C M* törtvonal alkotja. A liquidus az *A E P M* vonal volna elvben, ám ez az *M* pontig nem követhető [8]. Légköri (760 torr) nyomásig az *A E P K* liquidus érvényes. A légköri nyomáshoz tartozó forrásgörbe *J K L*.


200
150
100
50
0
-50
-100
Kcal/kg
entalpia i
800C°
160C°
140
120
100
80C°
60C°
40
30
20
10
0C°
-2C°
-5
-10
-20C°
-21,2
-21,2 C°
-30
-40
-50
101C°
102
103
104
105
106C°
na p=1ata
2ata
1ata
0,5ata
0,2ata
0,2C°
0,2
NaCl.2H2O
tiszta H2O
tiszta NaCl
0
0,2
0,4
0,6
0,8
kg/kg
1,0
Sótartalom ξ

2. ábra

A gőzgörbe (vapor) a diagramban nincs feltüntetve. (A gőzgörbe kezdetben tág hőfok intervallumban gyakorlatilag a $\xi = 0$ összetételi vonalhoz simul, majd a magasabb hőmérsékletek szakaszán átvezet a $\xi = 1$, $t \cong 1450$ C° pontba [9]. Az M pont ($\xi = 1, t = 800$ C°) és ez utóbbi pont között a tiszta NaCl folyékony halmazállapotú.)

A diagram jellegzetesebb pontjai: E, P és G. Az E pont $\xi = 0{,}224$ összetételű $t = -21{,}2$ C° hőmérsékletű eutektikus pont. Ezen hőmérsékleten jég (A), kriohidrát (E) és $NaCl \cdot 2\,H_2O$ dihidrát (D) van egymással egyensúlyban. A dihidrát-kristályok kiválása a telített oldatból csak EP szakaszon következik be, P-től kezdve M felé már a tiszta, vízmentes só kristályosodik. A P inkongruens pont tehát nem eutektikus, hanem peritektikus összetételű ($\xi = 0{,}263$). A mondottak értelmében az EP görbe folytatása hipotetikus jellegű és rejtett maximumát G pontban éri el, mely összetételében a dihidrátnak felel meg ($\xi = 0{,}619$). A P inkongruens ponthoz tartozó hőmérsékleten ($t = +0{,}2$ C°) tehát ismét három fázis van egyensúlyban: a peritektikus telített oldat (P), a dihidrát (F) és vízmentes só (C).

Megjegyzésképpen itt hívjuk fel a figyelmet az 1 atm nyomáshoz tartozó NKL vonalra. Itt is három fázis van egyensúlyban, gyakorlatilag sómentes gőz (N), a telített sóoldat (K) és a tiszta, vízmentes szilárd só (L). Ezen előrebocsátás után többfázisú mezőket ismertnek feltételezve, rátérhetünk magára a szóban forgó entalpiadiagramra (2. ábra).

A diagram megszerkesztéséhez az eddigieken kívül főképp a tiszta rendszeralkotók fajhő, olvadáshő adataira, valamint az elegy fajhőadataira és legfőképp a keveredési hőkre volt szükség [4, 5, 6, 9, 10, 11, 12]. A szobahőmérsékleten mért integrális oldáshők segítségével a vizes sóoldat megfelelő izotermája, ebből pedig a fajhők ismeretében a többi izotermák megszerkeszthetők. Ezen adatok, valamint a hidratációs hő [4] birtokában fagyás- és olvadásgörbék, illetve további izotermák is megszerkeszthetők.

A $t = -21{,}2$ C° eutektikus hőmérséklethez tartozó izoterma és a $t = +0{,}2$ C° peritektikus hőfokhoz tartozó izoterma az entalpia-összetétel diagramban háromszöggé bővül. A háromszögön belül a hőmérséklet állandó az összetételtől függetlenül.

A diagramban feltüntetett $p = 0{,}2$; $= 0{,}5$; $= 1$; $= 2$ ata nyomáshoz tartozó forrásgörbék a vizes sóoldat gőznyomásértékeiből adódnak [6]. Végül megemlítendő az 1 ata nyomáshoz tartozó néhány nedvesgőz-izoterma. Szerkesztésük a tiszta vízgőz entalpia értékének felhasználásával történik [3].

IRODALOM

1. Fr. Bošnjaković: Technische Thermodynamik. II. 1951. Dresden und Leipzig.
2. Z. Rant: Wärmediagramme einiger wässriger Salzlösungen. Forschung Ing.-Wes. Band 20 (1954) p. 77.
3. VDI-Wasserdampftafeln (We. Koch—E. Schmidt) 1952. München und Berlin.

4. J. D'Ans—E. Lax: Taschenbuch für Chemiker und Physiker. 1949. Berlin.
5. W. Pohlmann: Taschenbuch für Kältetechniker. 1939. Hamburg.
6. International Critical Tables. 1926—33. New-York and London.
7. M. Je. Pozin: Szervetlen sók technológiája. 1952. Budapest.
8. Erdey-Gruz Tibor és Schay Géza: Elméleti fizikai kémia. II. 1954. Budapest.
9. H. Staude: Physikalisch-chemisches Taschenbuch. II. 1949. Leipzig.
10. Maucha Rezső: Tanulmány az oldáshőről. (Disszertáció) 1909. Budapest.
11. O. A. Hougen—K. M. Watson: Chemical Process Principles I. 1952. New-York and London.
12. R. Fichte: Die thermodynamischen Eigenschaften der Metallchloride 1953. Berlin.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az entalpia-összetétel diagramok általános bevezető ismertetése után, a cikk a NaCl—H_2O rendszer fázisviszonyait tárgyalja. Ezzel kapcsolatban bemutatásra kerül a vizes konyhasóoldatnak a szerző által szerkesztett Merkel-diagramja.

TEKERCSELT NAGY NYOMÁSÚ EDÉNY KEZDŐFESZÜLTSÉGEINEK SZÁMÍTÁSA*

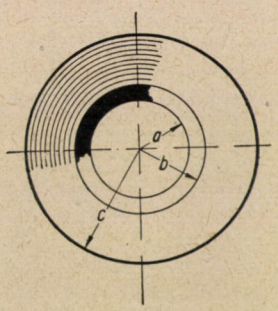
CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA
ÉPÍTŐIPARI ÉS KÖZLEKEDÉSI MŰSZAKI EGYETEM SZILÁRDSÁGTANI TANSZÉKE

[Beérkezett 1955. május 5-én]

1. Bevezetés

A tekercselt nagynyomású edény fala két részből, *bélésből* és *köpenyből* áll (1. ábra). A bélést henger alakú, tömör falú zárt cső, a köpenyt pedig a bélésre felmelegített állapotban feltekercselt többrétegű szalagsor alkotja. Az egyes



1. ábra. Tekercselt nagynyomású edény keresztmetszete

szalagsorok, lehűlvén, a már előzőleg elkészült falrészekre nyomást fejtenek ki, s ezzel azokban *kezdőfeszültségeket* ébresztenek. A kezdőfeszültségek az edény rendeltetésszerű használatából származó *használati feszültségekkel* ellentétes előjelűek lévén, az edényfal igénybevételét kedvezően módosítják.

A tekercselt nagynyomású edény falában keletkező *használati feszültségek* meghatározásával REUSS Endrének e folyóiratban megjelent tanulmánya [1] foglalkozik. Ezen tanulmány kiegészítéseként, a jelen dolgozat a nagynyomású tekercselt edény falában létrejövő *kezdőfeszültségek* kérdését tárgyalja, mégpedig a rugalmasságtan elmélete alapján. Ugyanezzel a kérdéssel foglalkozik R. V. SOUTHWELL is a Theory of Elasticity című művében s hasonló megállapításokra jut, mint szerző jelen tanulmányában.

* Angol nyelven megjelent az Acta Technica **14** (1956) kötetének 127/135. lapján.

2. Feltevések

A kitűzött feladat általában felette bonyolult és határozatlan. Ezért a tárgyalás során különböző egyszerűsítő feltevésekhez kell folyamodnunk, amelyek természetesen a tárgyalás eredményét befolyásolják. Ily körülmények között a tárgyalás nem tarthat igényt különleges pontosságra, eredményei azonban így is hasznos tájékoztatásul szolgálhatnak.

A számítások során feltesszük, hogy a bélés és köpeny anyagának fizikai tulajdonságai azonosak és mindkét anyag tökéletesen rugalmas. Feltesszük továbbá, hogy a tekercseléshez használt szalag vékony és oly keskeny, hogy a feltekercselt szalag középvonalának iránya az íviránnyal helyettesíthető.

A köpeny készítésmódját illetően is kikötéseket teszünk. Megköveteljük, hogy egy-egy újabb szalagsor feltekercselése pillanatában a bélés, valamint a már előzőleg feltekercselt szalagsorok azonos hőmérsékletre lehűtöttek legyenek. Viszont az éppen feltekercselésre kerülő szalagsortól azt követeljük, hogy hőmérséklete a már elkészült és lehűtött belső részek hőmérsékleténél

$$\Delta t = \text{konst.}$$

hőfokkal magasabb legyen.

A béléscső végeit a tekercselés során szabadoknak tekintjük. E kikötés folytán feltételezhetjük, hogy a bélésfal feszültségi állapota síkbeli. Ugyanezt mondhatjuk el a köpenyfalról is, melynek szalagelemei közt a csőtengely irányában semmiféle kapcsolatot sem tételezünk fel. A feszültségi állapot síkbeli voltára vonatkozó kikötésünk a vastag falú, rugalmas anyagú csövek elmélete szerint egyúttal az alakváltozási állapot síkbeli voltát is biztosítja. Emiatt a béléscső eredetileg sík keresztmetszetei az alakváltozás után is síkok maradnak.

3. A feladat alapegyenletei

A tekercselt edény feszültségi—alakváltozási állapotának tanulmányozása a külső, illetve belső nyomással terhelt vastag, illetve vékony falú, rugalmas anyagú csövek ismert elmélete alapján történhetik [2] – [3].

A külső nyomással terhelt vastag falú cső esete. Legyen (2. ábra) a cső külső palástfelületének sugara R, a belsőé a, a cső külső palástfelületére működő kívülről befelé ható felületi nyomás fajlagos értéke pedig $\mathrm{d}p$.

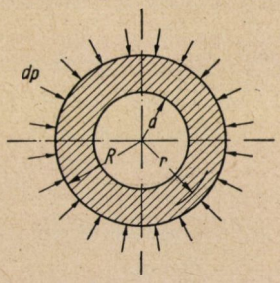
Ekkor, mint ismeretes, az r sugarú hengerfelületen keletkező derékfeszültség

$$d\sigma_r = +\left(\frac{a^2}{r^2} - 1\right)\frac{R^2}{R^2 - a^2} \cdot \mathrm{d}p, \tag{1}$$

az átmérősíkokon létrejövő derékfeszültség pedig

$$\mathrm{d}\,\sigma_t = -\left(\frac{a^2}{r^2} + 1\right)\frac{R^2}{R^2 - a^2} \cdot dp. \tag{2}$$

A dp felületi nyomás hatására a cső alakváltozást szenved, s ennek során

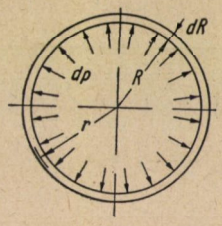


2. ábra. Külső nyomással terhelt vastag falú cső

a csőfal pontjai befelé mozdulnak. Az elmozdulás mértéke az $r = a$ helyen, vagyis a cső belső palástfelületén

$$\mathrm{d}\,\varrho = \frac{2\,a\,R^2}{E\,(R^2 - a^2)} \cdot \mathrm{d}p. \tag{3}$$

E képletben E a cső anyagának rugalmassági tényezőjét jelenti.



3. ábra. Belső nyomással terhelt vékony falú cső

A belső nyomással terhelt vékony falú cső esete. Legyen a cső belső palástfelületének sugara R, a csőfal vastagsága pedig $\mathrm{d}R$, és jelöljük a belülről kifelé ható nyomás fajlagos értékét $\mathrm{d}p$ betűvel (3. ábra).

A dp felületi nyomás hatására az átmérő síkokon húzófeszültség keletkezik, amelynek értéke a csőfal egész vastagságában

$$\sigma_t^* = \frac{R}{\mathrm{d}R} \cdot \mathrm{d}p. \tag{4}$$

E feszültség mellett az r sugarú hengerfelületen keletkező derékfeszültségek elhanyagolhatók.

A belülről kifelé ható dp felületi nyomás következtében a cső kitágul, tehát a csőfal pontjai belülről kifelé elmozdulnak. Az elmozdulás mértéke, mint ismeretes,

$$d\varrho = \frac{R^2}{E} \cdot \frac{dp}{dR}. \tag{5}$$

4. A feladat megoldása

Kitűzött feladatunk megoldása során a cső készítésének egy közbenső, olyan fázisából indulunk ki, amelyben a köpenyt alkotó szalagsoroknak még csak egy része van a béléscsőre feltekercselve. A készítés ezen fázisában a már elkészült köpenyrész külső palástfelületének sugarát R betűvel, az éppen feltekercselésre kerülő szalagsor vastagságát pedig dR betűvel jelöljük. A már lehűtött belső részekre meleg állapotban feltekercselésre kerülő szalagsor, lehűlvén, megfeszül, s a belső részekre nyomást fejt ki. Ennek a felületi nyomásnak a nagysága legyen dp.

A dp felületi nyomás meghatározása. Ha az éppen feltekercselt szalagsor lehűlésével kapcsolatos összehúzódást a már előzőleg elkészült belső részek nem akadályoznák, akkor a szalagsor belső palástfelületének sugara

$$d\varrho = \alpha R \cdot \Delta t \tag{6}$$

megrövidülést szenvedne. Itt α a tekercs anyagának lineáris hőtágulási együtthatóját jelenti.

Az adott esetben azonban a $d\varrho$ megrövidülés nem jöhet létre, mert azt a szóban forgó szalagsorhoz képest végtelen merevnek tekinthető belső részek ellenállása megakadályozza. Ezért a (6) képlettel kifejezett megrövidülésnek egyeznie kell az (5) képlet szerinti nyúlással:

$$\alpha R \cdot \Delta t = \frac{R^2}{E} \cdot \frac{dp}{dR}.$$

Ebből az összefüggésből a

$$k \equiv \alpha E \cdot \Delta t \tag{7}$$

jelölés bevezetésével a dp felületi nyomásra a következő képlet vezethető le:

$$dp = k \cdot \frac{dR}{R}. \tag{8}$$

A k együttható értéke. Ha a már előzőleg elkészült falrészek és az újonnan feltekercselésre kerülő szalagsor hőmérséklete közt mutatkozó, Δt hőfokkülönbözet nem ismeretes, az előző képletben előforduló k együttható a (7) képlettel nem számítható. Ilyenkor a k együtthatót kísérleti úton kell megállapítani.

A k együttható kísérleti megállapításához ismernünk kell a tekercselt cső belső sugarának a tekercselés okozta teljes ϱ megrövidülését. Utóbbit, mint az egyes szalagrétegek feltekercselése során létrejövő $d\varrho$ elemi megrövidülések összegét számíthatjuk ki:

$$\varrho = \int_b^c d\varrho \,.$$

Innen a (3) és (8) alattiak figyelembevételével

$$\varrho = \frac{ka}{E} \ln \frac{c^2 - a^2}{b^2 - a^2} \,. \tag{9}$$

Minthogy az edényfal belső sugarának a tekercselés-okozta ϱ méretcsökkenése mérhető, az így megállapítható méretcsökkenést a (9) képlettel számítható értékkel egyenlőségbe állítva, olyan összefüggést kapunk, melyből a keresett k érték számítható:

$$k = \frac{E\varrho}{a} \cdot \frac{1}{\ln (c^2 - a^2) - \ln (b^2 - a^2)} \,. \tag{10}$$

A bélésfalban keletkező feszültségek számítása. A köpenyfal minden egyes dR vastagságú szalagsora a lehűlés során megfeszülvén, a bélésfalban nyomófeszültségeket ébreszt. Az egyes szalagsorokból származó $d\sigma_r$, és $d\sigma_t$ feszültségrészletek a (8) alattiak behelyettesítése után az (1), és (2) képletekkel számíthatók:

$$d\sigma_r = + k \left(\frac{a^2}{r^2} - 1 \right) \frac{R}{R^2 - a^2} \cdot dR \,, \tag{11}$$

$$d\sigma_t = - k \left(\frac{a^2}{r^2} + 1 \right) \frac{R}{R^2 - a^2} \cdot dR \,. \tag{12}$$

Így az összes szalagsor együttes hatására létrejövő feszültségek:

$$\sigma_r = \int_b^c d\sigma_r \,, \qquad \sigma_t = \int_b^c d\sigma_t \,.$$

A számítást elvégezve, a következő képleteket kapjuk:

$$\sigma_r = +\frac{k}{2}\left(\frac{a^2}{r^2} - 1\right)\ln\frac{c^2 - a^2}{b^2 - a^2}, \tag{13}$$

$$\sigma_t = -\frac{k}{2}\left(\frac{a^2}{r^2} + 1\right)\ln\frac{c^2 - a^2}{b^2 - a^2}. \tag{14}$$

A köpenyfalban keletkező feszültségek. Ezek lényegükben véve ugyanúgy határozhatók meg, mint a bélésfalban létrejövő feszültségek. A különbség mindössze az, hogy az r sugarú hengerfelületen keletkező σ_r, illetve σ_t feszültségek számításakor csak az $R \geqq r$ szalagrétegekből származó $d\sigma_r$, illetve $d\sigma_t$ feszültségeket kell összegezni. Ezenkívül, a σ_t feszültség számításakor figyelembe kell venni, hogy az egyes szalagsorokban nemcsak a rájuk tekercselt szalagsorok miatt keletkeznek feszültségek, hanem a $d\sigma_t$ feszültségekhez még hozzájárul az a σ_t^* húzófeszültség is, amely magában az illető szalagsorban a lehűlés-okozta megfeszülés folytán jön létre. A σ_t^* feszültség értéke a (4) alattiak szerint

$$\sigma_t^* = \frac{R}{dR}\,dp,$$

és a (8) alattiak figyelembevételével

$$\sigma_t^* = k. \tag{15}$$

Fenti meggondolások szerint a köpenyfalban keletkező feszültségek végeredményben a

$$\sigma_r = \int_r^c d\sigma_r,$$

$$\sigma_t = \sigma_t^* + \int_r^c d\sigma_t$$

képletekből számíthatók. Innen a (11), (12) és (15) alattiak behelyettesítésével

$$\sigma_r = \frac{k}{2}\left(\frac{a^2}{r^2} - 1\right)\ln\frac{c^2 - a^2}{r^2 - a^2}, \tag{16}$$

$$\sigma_t = \frac{k}{2}\left[2 - \left(\frac{a^2}{r^2} + 1\right)\ln\frac{c^2 - a^2}{r^2 - a^2}\right]. \tag{17}$$

5. Számpélda

Legyenek a tekercselt nagy nyomású edény keresztmetszeti méretei

$$a = 1, \qquad b = 1{,}1, \qquad c = 1{,}5,$$

legyen továbbá

$$k = 2.$$

Ekkor a (13) és (14) képletek szerint a bélésfalban keletkező feszültségek:

$$\sigma_r = +\left(\frac{1}{r^2} - 1\right) \ln \frac{1{,}5^2 - 1}{1{,}1^2 - 1},$$

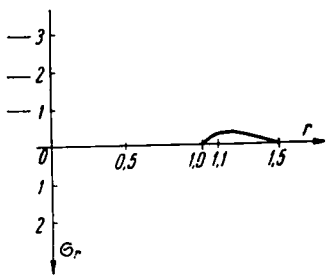
$$\sigma_t = -\left(\frac{1}{r^2} + 1\right) \ln \frac{1{,}5^2 - 1}{1{,}1^2 - 1},$$

a köpenyfalban létrejövő feszültségek pedig

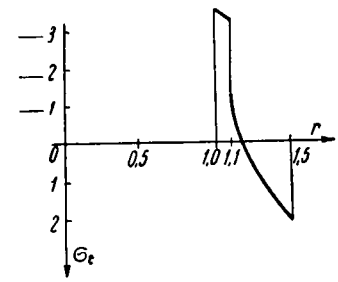
$$\sigma_r = \left(\frac{1}{r^2} - 1\right) \ln \frac{1{,}5^2 - 1}{r^2 - 1},$$

$$\sigma_t = 2 - \left(\frac{1}{r^2} + 1\right) \ln \frac{1{,}5^2 - 1}{r^2 - 1}.$$

A σ_r, és σ_t feszültségek értékeit az edény tengelyétől mért különböző r távolságokban a 4. és 5. ábra diagramja szemlélteti.



4. ábra. A σ_r feszültség mint r függvénye



5. ábra. A σ_t feszültség mint r függvénye

IRODALOM

1. Reuss E.: Tekercselt nagynyomású edény feszültségeinek számítása az anizotróp rugalmas testek elmélete alapján. A M. T. A. Műszaki Osztályok Közleményei. 20 (1956).
2. Föppl, A.: Vorlesungen über technische Mechanik, Berlin 1922, 3 Band (9. Aufl.), § 58; 5. Band (4. Aufl.), § 14.
3. Timoshenko, S.—Lessels, J. M.: Applied Elasticity, Pittsburgh 1925, Night School Press.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tekercselt nagynyomású hengeres edények fala két részből: *bélésfalból* és *köpenyfalból* áll. Utóbbit a bélésfalra melegen feltekercselt többrétegű szalagsor alkotja. Az egyes felmelegített szalagsorok, lehűlvén, a bélésfalra, valamint a már előzőleg feltekercselt szalagsorokra nyomást fejtenek ki s azokban feszültségeket ébresztenek. A dolgozat ezen kezdőfeszültségek számításával foglalkozik.

A tanulmány felteszi, hogy a bélés- és köpenyfal anyaga azonos tulajdonságokkal bír és tökéletesen rugalmas. Felteszi továbbá, hogy az éppen feltekercselésre kerülő meleg szalagsor hőmérséklete a már elkészült lehűlt belső részek hőmérsékleténél $\Delta t =$ konst. hőfokkal magasabb.

A dolgozat a feladat megoldására a rugalmas anyagú vastag, illetve vékony falú csövek ismert képleteit használja fel. A tekercselés okozta feszültségeket az egyes végtelen vékonynak tekintett szalagsorokból származó feszültségrészletek összegeként állapítja meg. Minthogy a külső és belső részek közt a készítés folyamán jelentkező Δt hőfokkülönbözet általában nem ismeretes, annak értékére az edény belső átmérőjének a tekercselés okozta megrövidüléséből, tehát mérési adatból következtet.

VASBETONTARTÓK TEHERBÍRÁSA ELMÉLETI ÉS KÍSÉRLETI MEGVILÁGÍTÁSBAN

Prof. Dr. KOPYCINSKI BRONISŁAW

KRAKKÓ

[Beérkezett 1955. május 5-én]

Az irodalomból sok módszert ismerünk a hajlított vasbetontartók számítására. Ha egyrészt bizonyos következtetéseket akarunk levonni az egyes számítási módszerek alkalmazhatóságáról, másrészt tisztázni akarjuk, hogy az úgynevezett klasszikus elmélet miért nem ad kielégítő eredményeket, meg kell határoznunk, hogy milyen tényezők és milyen mértékben befolyásolják a hajlított vasbetontartó teherbírását. Lényeges szempont, hogy milyen tényezőket hanyagolhatunk el akkor, ha a valósághoz közelítő eredményeket kívánunk kapni.

I. *A vasbetontartó teherbírását befolyásoló tényezők*

A vasbetontartó teherbírását befolyásoló tényezőket három csoportra lehet osztani:

1. szilárdsági tényezők,
2. a hajlított tartó keresztmetszetének alakja,
3. a beton és a vas együttműködése következtében keletkező pótfeszültségek.

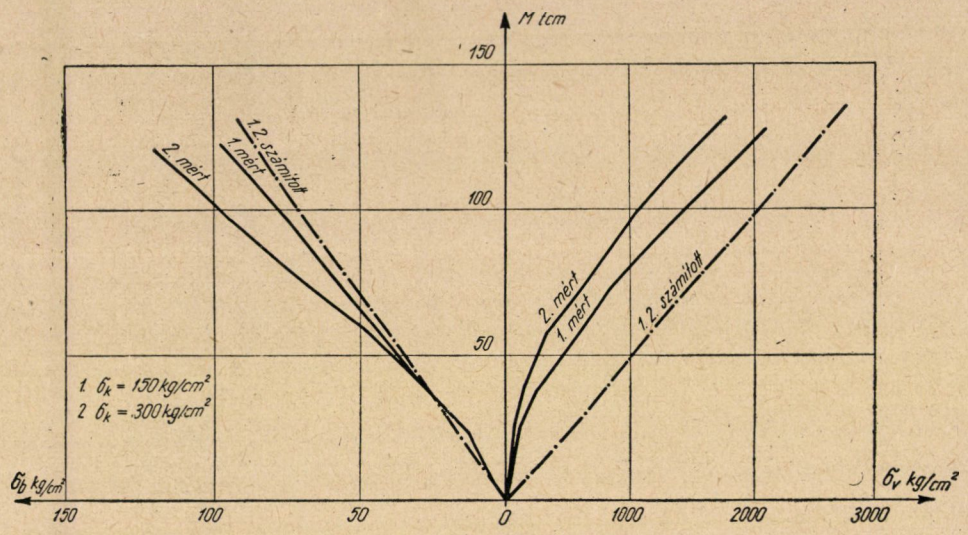
A következőkben röviden ismertetjük az első két tényezőnek a teherbírásra gyakorolt hatását és bővebben foglalkozunk a pótfeszültségek kérdésével, amelyre a szerző saját módszerének ismertetésénél lesz szükség.

1. *Szilárdsági tényezők*

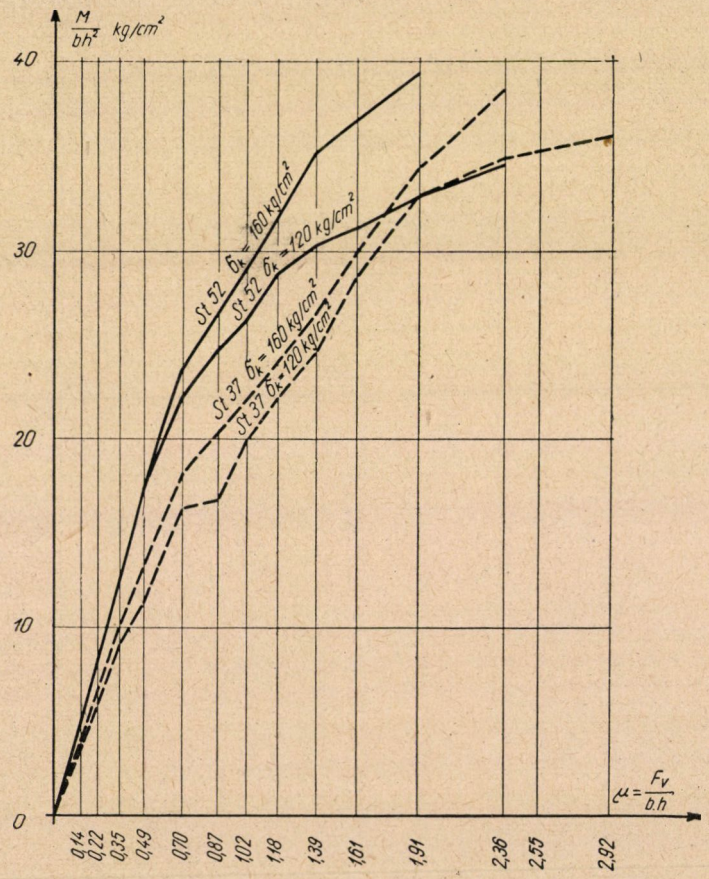
A hajlított vasbeton tartókon végzett kísérletek azt mutatják, hogy a tartó terhelésközbeni alakváltozását, valamint teherbírását befolyásolja a beton szilárdsága és az acélbetét folyási határa.

A hajlított vasbetontartóban létrejövő feszültségeknek a beton szilárdságától való függését az 1. ábra mutatja, amelyen azonos méretű és vasalású, $\varrho_K = 150$ kg/cm² és $r_{K'} = 300$ kg/cm² kocka szilárdságú betonból készült tartók szélső-szál feszültségeit ábrázoltuk. (BURCHARTZ vizsgálatai. Német Vasbeton Bizottság 66. füzet 1931.) Láthatjuk, hogy a $\sigma_K = 300$ kg/cm² szilárdságú betonból készült tartónál a nyomott betonöv szélső szálában nagyobb a feszültség, ezzel szemben a húzott acélbetétben a belső erők karjának megnagyobodása miatt a feszültség kisebb.

A törőnyomatéknak a beton szilárdságától és a vas folyási határától való függését a 2. ábrán látható kísérleti eredmények mutatják. (GEHLER és AMOS kísérletei, Német Vasbeton Bizottság 100. füzet 1943.)


M tcm
150
100
50
2. mért
1. mért
1,2. számított
1 σ_k = 150 kg/cm²
2 σ_k = 300 kg/cm²
σ_b kg/cm²
σ_v kg/cm²
150
100
50
0
1000
2000
3000

1. ábra


$\frac{M}{bh^2}$ kg/cm²
40
30
20
10
0
St 52 σ_k = 160 kg/cm²
St 52 σ_k = 120 kg/cm²
St 37 σ_k = 160 kg/cm²
St 37 σ_k = 120 kg/cm²
$\mu = \frac{F_v}{b.h}$
0,14
0,22
0,35
0,49
0,70
0,87
1,02
1,18
1,39
1,61
1,91
2,36
2,55
2,92

2. ábra

Ismeretes a vasalás mértékének hatása a törőnyomatékra. Kis vasszázalék esetén töréskor a húzott vasbetétekben a feszültségek túllépik a folyási határt. Nagy vasszázalék esetében a vasfeszültségek a gerenda törésekor kisebbek, mint a folyási határ. Ebből az következik, hogy bizonyos vasalási erőségen túl a vasbetétek kihasználatlanul maradnak.

Egy másik kérdés, hogy mennyire változik a törőnyomaték, ha változik akár a beton szilárdsága, akár a vas folyási határa.

$$x = \mu \beta h \qquad \beta = \frac{\sigma_f}{\sigma_K} \qquad \mu = \frac{Fv}{\dot{o}h} .$$

A törőnyomaték:

$$M = b h^2 \mu \sigma_f (1 - 0{,}5 \beta) .$$

Legyen az acél folyási határának növekedési viszonyszáma a, a beton szilárdságának növekedési arányszáma r — és a törőnyomaték változásának viszonyszáma m.

$$x = \frac{a}{r} \cdot \mu \cdot \beta \cdot h .$$

$$m \cdot M = b \cdot h^2 \cdot \mu \cdot \sigma_f \left(1 - 0{,}5 \frac{a}{r} \mu \cdot \beta \right) \cdot a$$

$$m = \frac{m \cdot M}{M} = \frac{a \left(1 - 0{,}5 \frac{a}{r} \mu \cdot \beta \right)}{1 - 0{,}5 \mu \beta} .$$

Ebből következik, hogy a törőnyomaték azonos százalékú növelése csak akkor érhető el, ha mind a vas, mind a beton szilárdsága azonos százalékkal nő.

I. táblázat

	m értéke %-ban			
β	10		20	
$100 \cdot \mu$	$a = 1; r = 1{,}1$	$a = 1{,}1; r = 1$	$a = 1; r = 1{,}1$	$a = 1{,}1; r = 1$
0,5	0,23	9,72	0,48	9,42
1,0	0,48	9,42	1,01	8,78
1,5	0,73	9,11	1,60	8,06
2,0	1,01	8,78	2,27	7,25
2,5	1,30	8,43	3,03	6,33
3,0	1,60	8,06	3,90	5,28

Az I. táblázat alapján megállapíthatjuk, hogy a törőnyomaték nagyságát lényegesen megváltoztatja az acélbetét folyási határának változása. A betonszilárdság megváltozásának hatása a törőnyomatékra lényegtelen. A gyakorlatilag számításba vehető legkedvezőtlenebb esetben sem lesz nagyobb a törőnyomaték változása a betonszilárdság változásának 1/5 részénél.

A betonfeszültségi görbe alakjának hatása:

A nyomófeszültségek eloszlását derékszögű négyszög alakúra vette fel FRIEDRICH, KAZINCZY és bizonyos értelemben GEBAUER. Más szerzők a nyomott öv kisebb mértékű képlékeny alakváltozását tételezték fel (BITTNER, SALIGER) egészen a háromszög alakig (STEUERMANN, Párizs). Foglalkozzunk a két szélső esetnek: a derékszögű négyszög és a háromszög alakú feszültségi ábrának a számított törőnyomatékra gyakorolt hatásával.

A semleges tengely helye

$x_1 = 2\mu \cdot \beta \cdot h$ háromszög alakú feszültségeloszlás esetén,

$x_2 = \mu\beta \cdot h$ négyszög alakú feszültségeloszlás esetén.

A nyomatékok nagyságának viszonya:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{1 - 0{,}667\,\mu\beta}{1 - 0{,}5\,\mu\beta}.$$

A nyomatékok különbségének százalékban kifejezett értéke:

$$m_1 = \frac{M_2 - M_1}{M_2} 100 = \frac{1 - 0{,}5\,\mu\beta - 1 + 0{,}667\,\mu\beta}{1 - 0{,}5\,\mu\beta} 100 = \frac{16{,}7\mu\beta}{1 - 0{,}5\,\mu\beta}$$

II. táblázat

	m_1 értéke %-ban	
$100 \cdot \mu$	$\beta = 10$	$\beta = 20$
0,5	0,85	1,75
1,0	1,75	3,71
1,5	2,70	5,88
2,0	3,71	8,34
2,5	4,76	11,01
3,0	5,88	14,30

A II. táblázatból láthatjuk, hogy a két szélső esetben felvehető feszültségeloszlás a gyakorlatban 8% különbséget eredményezhet a törőnyomaték számításnál. Ebből következik, hogy a BITTNER vagy SALIGER ajánlotta bonyolult feszültségeloszlással csak megnehezítjük a gyakorlati számításokat.

2. A hajlított tartó keresztmetszetének alakja

Nem foglalkozunk itt a tartó szélességi és magassági méreteinek hatásával, sem a vasbetétek egymástóli távolságával. A szerző módszerének tárgyalását megelőzve felhívjuk azonban a figyelmet arra, hogy milyen hatást gyakorol a teherbírásra a húzott vasbetétek betonfedésének vastagsága.

A törési képletek a keresztmetszetek hasznos magasságát veszik alapul, azaz a húzott vasbetétek súlyvonalának távolságát a felső nyomott széltől és nem veszik figyelembe a vasbetéteket burkoló betonfedést.

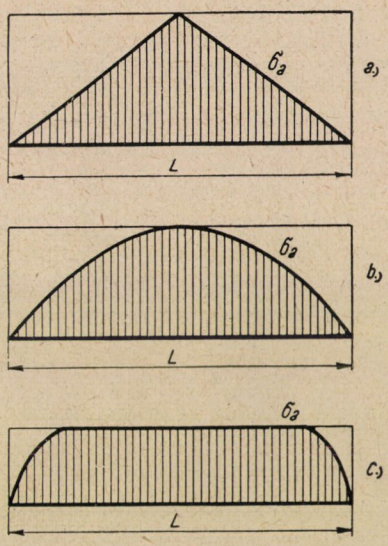
GEBAUER a betonfedés hatásának vizsgálata céljából kísérleteket végzett 20 cm szélességű és 20 cm hasznos magasságú vasbeton gerendákkal, amelyeknél egyik esetben 2 cm, a másik esetben 5 cm volt a húzott vasak betonfedése. Húzott vasként 3 db ∅ 10 mm-es betétet használt. A kísérletek eredményeit a Beton und Eisen 1937. 8. számában közölte. Az eredmények azt mutatták, hogy a betonfedés vastagsága jelentős hatással van mind a tartó alakváltozására, mind a törőnyomaték nagyságára. A vékony betonfedés esetén a tartó lehajlása 25—100%-kal volt nagyobb. A lehajlásban mutatkozó nagyobb különbségek a repedések megjelenése után jelentkeztek, különösen közvetlenül a törés előtt.

Hasonlóképpen az első esetben a betonfeszültség állandóan kb. 6%-kal, az acél feszültsége pedig 20—50%-kal volt nagyobb, míg a törési nyomaték 5—6%-kal volt kisebb, mint a vastagabb betétburkolatú tartóknál. Ilyen kísérleti eredményt nem lehet tisztán csak azzal a ténnyel magyarázni, hogy a beton húzott öve a repedések keletkezte után is együtt dolgozik a

keresztmetszet többi részével, mint ahogy azt néhány szerző teszi. Ilyen együttműködés mutatkozik a repedések közötti keresztmetszetekben, ahol az acélbetétek erejének egy része a tapadás hatására átvivődik a betonra. A tartót a repedés keresztmetszetében vizsgálva nem vehetjük figyelembe ezt az együttműködést, vagy legfeljebb csak akkor, ha vizsgálatainkat a keresztmetszet igen kicsi, a semleges tengely közelében levő részére vonatkoztatjuk. Ez a hatás azonban másodrendű jelentőségű azokhoz az erőkhöz képest, amelyek közvetlenül a törés előtt keletkeznek, úgyhogy teljesen elhanyagolhatók. GEBAUER vizsgálati eredményeire sokkal meggyőzőbb magyarázatot fogunk találni, ha megvizsgáljuk a beton zsugorodásának hatását a vasbetontartó teherbírására.

3. *A pótfeszültségek hatása*

A terheletlen vasbetontartóban kezdeti feszültségek keletkeznek a beton zsugorodása és kúszása folytán és ezek a feszültségek a terhelés után növekednek. Legnagyobb részüket azonban nem lehet kielégítő pontossággal meghatározni, mert nem rendelkezünk ebben az irány-



3. ábra

ban rendszeresen végzett kutatásokkal. MÖRSCH helyesen írja a Bautechnik c. folyóiratban (1948. november): „tisztában vagyunk azzal, hogy a háborús évek holtpontra juttatták a tudományos vizsgálatokat és ma előttünk áll a zsugorodás és kúszás problémája, amelyet mindenekelőtt meg kell magyaráznunk."

Ami a terheletlen, szimmetrikus vasalású vasbeton tartókban végbemenő alakváltozásokat illeti, ezekre általános következtetéseket vonhatunk le GRAF (B. u. E. 1934. 7. és 8. sz. 1937. 10. sz.)*, KAYSER (B. u. E. 1933. 7. és 8. 1936. 1. sz.), LOSSIER (Genie Civil 1936. február), SUQUET (Annales des ponts et chaussées 1932. május), valamint a lehigh-i és illinois-i egyetemek (B. u. E. 1938. 13. sz.) vizsgálataiból.

A zsugorodás folytán keletkezett pótfeszültségek nagyságának meghatározásakor elvi jelentősége van annak a kérdésnek, hogy miképpen oszlanak meg ezek a feszültségek a tartó mentén. KAYSER erre a tárgyra vonatkozó első közleményében (1933. 7.) háromszög alakú eloszlást vesz fel (3. ábra *a* görbe) és a zsugorodást a tartó közepén keletkező legnagyobb feszültségből számítja ki, amelyre nézve $\sigma_{a\,max} = 2 \,.\, e_{zs} \cdot E_a/l$ kifejezést kap, ahol e_{zs} a zsugorodás nagysága. SUQUET a görbének parabola alakot tulajdonít (3. ábra *b* görbe) és a legnagyobb feszültség számára a $\sigma_{a\,max} = 1{,}635 \,.\, e_{zs} \cdot E_a/l$ értéket kapja. Ezen az alapon kísérleteinek elemzésével arra

* Az itt és később is használt B. u. E. rövidítés a Beton und Eisen c. folyóiratot jelenti.

a következtetésre jut, hogy a tárgyalt feszültségek nemcsak a vasszázaléktól, hanem a tartó kúszásától is függnek. Ha egy nagy nyílású tartót képzelünk el, (amelynek a többi mérete a nyílástávolsághoz képest kicsiny), akkor a fajlagos zsugorodás nagysága minden pontból állandó lesz, amiből következik, hogy a feszültségeknek is ugyanakkoráknak kell lenniük a tartó egész hossza mentén. Ez látszólag ellentmond annak a ténynek, hogy a tartó két végén nem lehetnek pótfeszültségek. Ha azonban olyan feszültségeloszlást képzelünk el, amilyent a *C* görbe tüntet fel (3 c ábra), akkor mindkét feltevés teljesülhet azzal a megszorítással, hogy a túl rövid tartókat kizárjuk a tárgyalásból. Ekkor a feszültség egy rövid kezdeti távolságon belül eléri a legnagyobb értékét és azután egyenletes lesz a tartó mentén. A Kayser-féle képletekben $f = 2$, ill. 1,635 együttható jelenti a $\sigma_{a\max}$ magasságú derékszögű paralelogramma területének és a σ_a görbéjével határolt területnek a viszonyát.

f a következő képletből számítható:

$$f = \frac{l \cdot \sigma_{a\max}}{\int \sigma_a \cdot \mathrm{d}x} .$$

Ha a *c* görbe szerinti feszültségeloszlást fogadjuk el, akkor az f a nagyobb nyílású tartók esetén az egységhez közeledik. Kisebb nyílás esetén az f együttható nagyobb lehet éspedig 1 és 2 határok közt változhatik.

KAYSER vizsgálatai centrikus vasbetéttel vasalt tartók zsugorodására a III. táblázatban találhatók.

III. táblázat

A tartó nyílása l (cm)	Az acél összenyomódása (mm)	$\varepsilon_{zs} \cdot E_a/l$ (kg/cm²)	$\varepsilon_{zs} = \frac{e_{zs}}{l} \cdot 1000$ (0/00)
40	0,033	173	0,0825
70	0,070	210	0,1000
105	0,175	350	0,1670
145	0,245	355	0,1690

Láthatjuk, hogy 105 és 145 cm hosszú tartóra együtthatóként elfogadhatjuk a $f = 1$ értéket, amikor is az acélra kb. 350 kg/cm² nagyságú nyomófeszültséget kapunk. Így 40 cm hosszúságnál elérjük az $f = 2$ értéket. Tehát 1,0—1,2 m hosszúság felett már egyenletes feszültségeloszlás tételezhető fel.

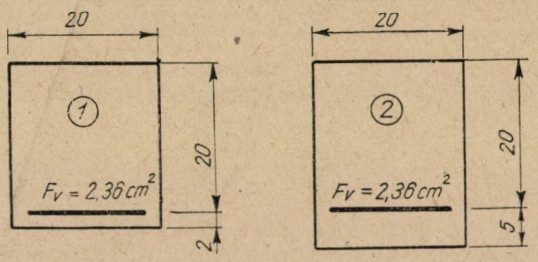
Eddigi meggondolásaink a zsugorodásnak a terheletlen tartóra gyakorolt hatására vonatkoznak. A terhelés után a hajlítás folytán keletkező feszültségek összegeződnek a már meglevő kezdeti feszültségekkel úgy, hogy az acél feszültségei kisebbek lesznek, mert a zsugorodás ellentétes feszültségeket idéz elő. Általában fel szokás venni, hogy a repedések keletkezése után a zsugorodás előidézte feszültségek eltűnnek. SALIGER (Die neue Theorie des Stahlbetons, Wien 1947.) azt állítja, hogy a repedések keletkezése után a tartó pótfeszültsége egyre kisebb lesz és a törés pillanatában egyenlő zérussal. Ez az állítás abból a feltevésből indul ki, hogy a pótfeszültségek eloszlását a tartó mentén a 3.*a* vagy a 3.*b* görbék jellemzik, a 3.*c* görbe szerinti feszültségeloszlásra nézve azonban az állítás helytelen, mert ebben az esetben nem lehet szó a feszültségek összegeződéséről a tartó egész hosszúsága mentén és ezért a repedések keletkezése nincs befolyással ezeknek a feszültségeknek kialakulására. Ezek a feszültségek addig érvényesülnek a repedések között, amíg fennáll a beton és acél közötti tapadás. Egyébként nem szabad megfeledkezni arról, hogy a kéttámaszú tartónál az összegeződő tapadó feszültségek éppen ennek következtében kisebbek lesznek. KAYSER kísérleteiből következik, hogy a zsugorodás következtében keletkező tapadófeszültségek, amelyeket ő nagyon kedvezőtlen elméleti feltevések mellett számított ki, 3 és 5 kg/cm² határok közt változnak, ha a betétszázalék 0,2 és 6,5%,között van

GEBAUER fentebb idézett kísérletei, amelyek megerősítik azt az állítást, hogy a betétek burkolatának vastagsága hatással van a vasbetontartó alakváltozásaira egészen a törés pillanatáig, további bizonyítékát adják annak, hogy a zsugorodás hatással van a tartóra a repedések megjelenése után. Ezt a következő számítással lehet igazolni. Ha a klasszikus elméletet

vesszük számításunk alapjául, akkor az ε_{zs} fajlagos zsugorodás hatására keletkező acélfeszültséget a következőképpen lehet kifejezni:

$$(\sigma_a)_{zs} = \frac{\varepsilon_{zs} \cdot E_a}{1 + (1 + 12\, s^2) \cdot \mu \cdot n},$$

s jelenti a betétek excentricitásának viszonyát a tartó egész magasságához, μ pedig a vasszázalékot az egész keresztmetszetre vonatkoztatva. Ha a vékonyabb betonfedésű tartóra



4. ábra

vonatkozó adatokat 1 indexszel látjuk el, a másik tartóra vonatkozókat pedig 2 indexszel, akkor a zsugorodás folytán keletkező pótfeszültségek viszonyát a következő képlet adja:

$$\frac{(\sigma_a)_{zs.1}}{(\sigma_a)_{zs.2}} = \frac{1 + (1 + 12 \cdot s_2^2)\, \mu_2 \cdot n}{1 + (1 + 12 \cdot s_1^2)\, \mu_1 \cdot n}.$$

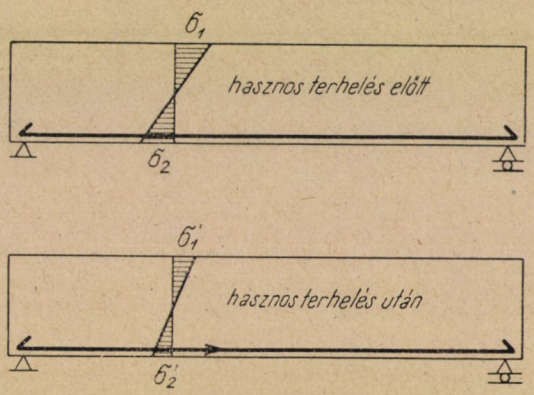
Minthogy

$$s_1 = 9/22 = 0{,}409 \qquad s_2 = 7{,}7/25 = 0{,}3$$

$$\mu_1 = 2{,}36/440 = 0{,}536\% \qquad \mu_2 = 2{,}36/500 = 0{,}472\%$$

(lásd 4. ábra).
Azért

$$(\sigma_a)_{zs.1}/(\sigma_a)_{zs.2} = 1{,}147/1{,}242 = 0{,}92\,.$$



5. ábra

Minthogy ezek a feszültségek mint nyomófeszültségek működnek, azaz kisebbítik a hajlítás következtében keletkező húzást, ezért végeredményben az 1. tartóban nagyobb lesz a feszültségek összege, mint a 2. tartóban, ami megegyezik a kísérletek eredményeivel. Hasonlóképpen az 1. tartó törési nyomatékának kisebbnek kell lennie a 2. tartó törési nyomatékánál.

Abból is keletkeznek pótfeszültségek, hogy a használati terhelés alatt a betonban már van képlékeny alakváltozás is, a vasban pedig nincs. Ez azt eredményezi, hogy a terhelés megszüntetése után a húzott oldalon (a vasak oldalán) a vasak nyomófeszültségeket hoznak létre a betonban. (Lásd 5. ábra.)

Ennek nincs hatása a tartó teherbírására, csak a közbenső fázisban keletkező feszültségekre. (SALIGER 1933. Versuche an Betonbalken mit hochwertigen Stahleinlegen.)

A teherbírásra hatással van a külső erők helyzete is:

Ugyanolyan nagyságú nyomaték esetén az a kedvezőtlenebb eset, ha a maximális nyomaték nagyobb hosszúság mentén hat. ABELES (B. u. E. 1933. 3. sz.) egyetlen koncentrált erővel, illetve két szimmetrikus elhelyezésű koncentrált erővel terhelt kéttámaszú gerendákat vizsgált.

Ezen kísérletnél 8—12%-kal nagyobb volt az egyetlen koncentrált erővel terhelt gerendák teherbírása.

II. A szerző módszere a törőnyomaték számítására

A képlékeny alakváltozások elméletének a vasbetontartóra való alkalmazása lehetővé teszi, hogy felírhassuk a törőnyomatékot a keresztmetszet geometriai tulajdonságainak és a vasbetontartóban levő két anyag szilárdsági tulajdonságainak függvényében. Minthogy azonban nem tudunk a törés pillanatában megfelelő méréseket végezni, a szóbanforgó függvény nagyságára befolyással levő néhány tényezőt egyéni elméleti feltevések alapján kell felvennünk. Éppen ez vezetett arra, hogy számtalan számítási módszer született, amelyek vagy abban különböztek egymástól, hogy a beton nyomott övének mily fokú képlékennyé válását tételezték fel, vagy a törés pillanatában keletkező feszültségek nagyságában, vagy pedig a beton húzott övének számításba vételében. Ha ezeket a módszereket összehasonlítjuk a tapasztalati eredményekkel, be fogjuk látni, hogy egyikük sem egyezik meg kielégítő pontossággal a valósággal.

A szigorúan elméleti módszerekkel szemben MAILLART empirikus módszere, amelyben a törőnyomaték függvénye nagyszámú saját és idegen tapasztalaton alapul, majdnem minden gyakorlatilag használt vasalásra kielégítően pontos eredményt ad. Ez azt bizonyítja, hogy az elméleti képletek szerzőitől elfogadott feltevések vagy nem teljesen helyesek, vagy pedig meggondolásaikban nem vettek figyelembe egy vagy több olyan tényezőt, amelyek egyéb tényezőkkel egyenrangú befolyást gyakorolnak a végeredményre. Ha helyes elméleti feltételekre támaszkodunk a törőnyomaték képletének levezetésében, akkor az eredmények nem lehetnek rosszabbak az empirikusan elért eredményeknél.

A következőkben megkíséreljük olyan képlet levezetését, amely megfelel ezeknek a feltételeknek olyan határok között, amelyek közül az alsó határ tekintetbe veszi azt a követelményt, hogy az acél feszültsége ne lépje túl az acél szilárdságát, a felső határ pedig, hogy ez a feszültség ne legyen kisebb az acél folyási határánál. Gazdasági szempontok miatt kizárjuk azokat a tartókat, amelyeknél az acél feszültsége kevesebbre adódik a folyási határnál, mert abból a feltételből indulunk ki, hogy vasbeton szerkezeteknél az acélt 100%-ban kell kihasználni. Kizárjuk azokat az eseteket is, amelyekben a tartó törését

az acél és beton közti tapadás megszűnése okozza, amennyiben helyes tervezésnél ennek nem szabad előfordulnia.

Hozzáfogva a nyomatékok és a belső erők egyensúlyi egyenleteinek felírásához, alapul vehetjük a repedésen vagy a repedések között keresztülmenő keresztmetszetet. Az első esetben SALIGER elméletével és ABELES kísérleteivel való megegyezésben a tartó vasszázalékától függően tekintetbe kell vennünk azt, hogy az acélban a folyási határnál nagyobb feszültség keletkezik, amely SALIGER elméletében az α-együtthatóban jut kifejezésre. Ennek az együtthatónak a nagyságát vagy empirikusan, vagy pedig a beton és acél alakváltozásának elemzésével lehet meghatározni. Ilyen tulajdonságokkal bíró együttható bizonyos nehézségeket jelent a tervezésben, mert szükségessé teszi olyan táblázatok vagy grafikonok használatát, amelyek az együttható nagyságát az acél és beton minőségének, valamint a vasszázaléknak függvényében adja meg.

Ha a repedések közötti keresztmetszetet vizsgáljuk, akkor ettől a nehézségtől megszabadulunk, amint az kitűnik a következő meggondolásból. Ha érvényes az acél és beton közötti tapadás a tartó törésének pillanatában, akkor a dolog természeténél fogva létezniük kell kezdeti feszültségeknek is, amelyek a terhelés előtt a beton zsugorodásából keletkeztek. Ezek a feszültségek azonban a tartó terhelésből keletkező feszültséghez képest ellenkező előjelűek, azért a törőnyomaték $M_{zs} = \sigma_{a\,zs} \cdot q_{zs}$ értékkel nagyobb lesz. $\sigma_{a\,zs}$ jelenti az acélnak a zsugorodás következtében keletkező feszültségét, q_{zs} pedig a belső erő karját. Ha a repedésen átmenő keresztmetszetről van szó, akkor itt a kezdeti feszültség megszűnik, mert a beton nincs összeköttetésben az acéllal és a keresztmetszetek közti egyensúly megtartása céljából az acél feszültsége ezen a helyen a folyási határon túl növekszik. A repedések közti keresztmetszetben az acél tényleges feszültsége nem lépheti túl a folyási határt, mert ez megszüntetné a két szerkezeti anyag együttműködését. Ha tekintetbe vesszük, hogy a beton hozzájárul a húzóerő átviteléhez, felvehetjük, hogy a tartó abban a pillanatban törik el, amikor a törőnyomaték

$$M_t = [\sigma_f + \sigma_{a\,zs}] \cdot F_v \cdot q\,.$$

Tekintve, hogy excentrikusan vasalt tartókról nincs elég kísérleti adatunk, amelyeknek alapján felírhatnók a megfelelő paramétereket, kénytelenek vagyunk a vasalatlan tartók zsugorodásának eredményeire támaszkodni és terheletlen tartó esetében $\sigma_{a\,zs}$-t a rugalmasság elméletének feltevései alapján kiszámítani. Ez már csak azért is megokolt, mert a zsugorodás folytán keletkező alakváltozások — különösen az első 28 nap alatt — a rugalmas alakváltozások határán belül vannak. Ily módon azt kapjuk, hogy:

$$\sigma_{a\,zs} = \varepsilon_{zs} \cdot E_a \cdot l_1\,,$$

ahol

$$l_1 = \frac{1}{1 + \mu n\,(1 + 12\,s^2)}\,,$$

továbbá

ε_{zs} = a vasalatlan beton fajlagos zsugorodása,
μ = a vasszázalék a beton teljes keresztmetszetéhez viszonyítva,
s = a vasbetétek súlyvonalának a tartó közepétől való távolsága és a tartó teljes magassága közti viszony.

Az ε_{zs} mennyiséget SALIGER képletéből számítjuk:

$$\varepsilon_{zs} = \frac{1}{\omega}\sqrt[3]{t}\cdot 10^{-4}\,,$$

ahol t az idő hónapokban, ω pedig a beton minőségétől függő tényező. Ez a képlet elég jól megegyezik a valósággal, amint azt a lehigh-i egyetem kísérleteivel való összehasonlítás mutatja.

A számítás egyszerűbb, ha $\sigma_{a\,zs}$ helyett az ennek megfelelő σ_h számított betonhúzófeszültségekkel dolgozunk, amelyet a semleges tengelyig veszünk figyelembe, egyenletes feszültségeloszlást feltételezve. A betonnyomófeszültségek parabolás eloszlását trapéz alakú eloszlással helyettesítjük és a beton törőfeszültségét $\sigma_{b\,\text{törő}} = \sigma_k$ (a kockaszilárdság) értékre vesszük fel.

A trapéz párhuzamos oldalának hossza $\frac{x}{3}$.

A kockaszilárdság felvételét azzal indokoljuk, hogy a maximális betonfeszültség $\pm 20\%$-os ingadozása a törőnyomatékot alig befolyásolja. A kockaszilárdság pedig a beton-szabványokban előírt (ismert) szilárdsági jellemző. A hajlított tartók általában keresztirányban sokkal merevebbek, mint a hosszúkás hasáb alakú elemek, tehát a nyomott öv szilárdságára inkább jellemző a kockaszilárdság.

A feszültségeloszlás kis vasszázalék esetén inkább a háromszögnek felel meg, nagyobb vasmennyiségnél pedig a felvett trapéznak.

Figyelembe kell venni a feszültségeloszlásnál azt is, hogy a repedésmentes húzott övhöz tartozó nyomott övben a beton kisebb mértékben lesz képlékeny, mint a repedés keresztmetszetében.

Minthogy kis vasmennyiség esetén a beton feszültségeloszlása lényegtelen, minden esetben a trapéz alakot tételezzük fel. A húzott öv feszültségét az x tengelyig egyenletesen megoszlónak vesszük fel és a nagyságát σ_h-ra.

$$\sigma_{azs}\cdot\mu\cdot b\cdot h\cdot q = \sigma_h\cdot b\,(h_1 - x)\,q_b$$

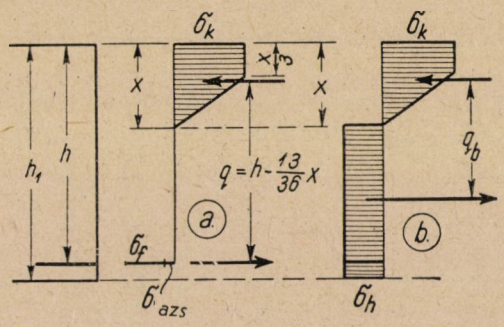
nyomatékegyenlőségből számítjuk a σ_h értékét.

$x = \xi_1 h_1$ és $h = k\cdot h_1$ esetén.

A 6*a* ábrából: $q = h_1 (k - 0{,}362\, \xi_1)$

A 6*b* ábrából: $q_b = h_1 (0{,}5 + 0{,}138\, \xi_1)$.

Mert $$q_b = \frac{h_1 - x}{2} + x - 0{,}362\, x = 0{,}5\, h_1 + 0{,}138\, x\,.$$



6. ábra

Ezek behelyettesítésével kapjuk, hogy

$$\sigma_h = \sigma_{azs} \cdot \mu \cdot l_2\,.$$

ahol $$l_2 = \frac{1}{1 - \xi_1} \cdot \frac{k - 0{,}362\, \xi_1}{0{,}5 + 0{,}138\, \xi_1}\,.$$

Ha ide behelyettesítjük a $\sigma_{a\,zs}$ előzőkben közölt értékét, akkor

$$\sigma_h = \frac{1}{\omega}\, \mu \sqrt[3]{t} \cdot 10^{-4} E_a \cdot l_1 \cdot l_2 = \frac{1}{\omega} \sqrt[3]{t}\; 210\, \mu\, l_1 \cdot l_2\,.$$

$t = 28$ nap felvétele a legjobb, mert ezen időben adják meg a zsugorodásértékeket a szabályzatok is és ezen időn túl a lassú alakváltozás már erősen bekövetkezik. A törés képletébe így nem kerül bele az időfüggvény. 28 nap felvétele azért is ajánlatos, mert akkor szokás próbaterhelni.

$t = 28$ nap esetében:

$$\sigma_h = \frac{1}{\omega} \cdot 206 \cdot \mu \cdot l_1 \cdot l_2\,. \quad \text{Itt a} \quad 206 = \sqrt[3]{\frac{28}{30}} \cdot 210\,.$$

Ha μ növekvő, akkor l_1 kisebbedik, l_2 pedig növekszik. Ilyenformán a $l_1 \cdot l_2$ szorzat eltérő μ mellett alig változik. A következő táblázat $h = 0{,}9\, h_1$ és $E_b = 17\,000\ \sqrt{\sigma_k}$ feltételezések mellett adja az l_1, l_2 és $l_1 \cdot l_2$ értékeit, $\sigma_k = 100$—360 kg/cm² közötti betonszilárdságoknál. Az E_b ilyen felvétele felel meg a legjobban a valóságnak $\sigma_k = 100$—500 kg/cm² között.

IV. táblázat

μ (%)	σ_f (kg/cm²)	σ_k (kg/cm²)	l_1	l_2	$l_1 \cdot l_2$
0,2	2500	250	0,965	1,822	1,74
0,5	2500	250	0,897	1,875	1,67
1,0	2500	250	0,815	1,935	1,58
1,5	2500	250	0,745	2,030	1,51
2,0	2500	250	0,687	2,151	1,48
2,5	2500	250	0,638	2,308	1,48
3,0	2500	250	0,515	2,513	1,49
3,5	2500	250	0,556	2,788	1,55
0,2	2500	167	0,947	1,834	1,94
0,5	2500	167	0,879	1,896	1,67
1,0	2500	167	0,783	2,036	1,59
1,5	2500	167	0,706	2,227	1,57
2,0	2500	167	0,642	2,518	1,61
2,5	2500	167	0,590	2,973	1,75
0,2	2500	125	0,939	1,847	1,73
0,5	2500	125	0,858	1,938	1,66
1,0	2500	125	0,752	2,152	1,62
1,5	2500	125	0,669	2,517	1,68
2,0	2500	125	0,603	3,159	1,92
0,2	3600	360	0,965	1,822	1,76
0,5	3600	360	0,913	1,857	1,70
1,0	3600	360	0,841	1,935	1,63
1,5	3600	360	0,779	2,030	1,58
2,0	3600	360	0,725	2,151	1,56
2,5	3600	360	0,678	2,308	1,57
3,0	3600	360	0,638	2,513	1,60
0,2	3600	240	0,956	1,834	1,75
0,5	3600	240	0,897	1,896	1,70
1,0	3600	240	0,812	2,032	1,65
1,5	3600	240	0,742	2,227	1,65
2,0	3600	240	0,638	2,518	1,72
2,5	3600	240	0,632	2,973	1,88
0,2	3600	180	0,948	1,847	1,75
0,5	3600	180	0,881	1,938	1,71
1,0	3600	180	0,789	2,152	1,70
1,5	3600	180	0,713	2,517	1,79
2,0	3600	180	0,651	3,159	2,05

Az acélra átlagosan 2500 kg/cm² = σ_f értéket felvéve a táblázat alapján a $l_1 \cdot l_2 = 1{,}6$ középértékkel és $\omega \simeq 0{,}6$ (átlagos betonnál) tényezőkkel számolva:

$$\sigma_h = \frac{1}{0{,}6} \cdot 206 \cdot 1{,}6\,\mu = 550\,\mu\,\text{kg/cm}^2 .$$

Ezt a σ_f-hez viszonyítva

$$\sigma_h = 0{,}22\,\mu\,\sigma_f\,\text{kg/cm}^2 .$$

Nagyobb folyási határú acél esetén $l_1 \cdot l_2 = 1{,}7$.
Ehhez a gyakorlatban jobb minőségű betont használnak, pl. $\omega = 0{,}525$ értéket felvéve:

$$\sigma_h = \frac{1}{0{,}525} \cdot 206 \cdot 1{,}7\,\mu = 667\,\mu\,\text{kg/cm}^2 = 0{,}185\,\mu \cdot \sigma_f .$$

A számítások egyszerűsítése céljából σ_k- és σ_f-től függetlenül vegyünk fel

$$\sigma_h = 0{,}2 \cdot \mu \cdot \sigma_f \text{ értéket.}$$

A belső erők egyensúlyából számítható az x tengely helye:

$$\frac{2}{3}\sigma_k\,b\,x = \sigma_h \cdot b\,(h_1 - x) + \mu\,b\,h_1\,\sigma_f ,$$

innen

$$x = \frac{\sigma_h + \mu\,\sigma_f}{\frac{2}{3}\sigma_k + \sigma_h}\,h_1 = \frac{1{,}8\,\mu \cdot \beta}{1 + 0{,}3\,\mu\,\beta}\,h_1$$

$$\beta = \frac{\sigma_f}{\sigma_k} .$$

Ezek ismeretében a négyszög-keresztmetszetű tartó törőnyomatéka:

$$M_t = \frac{23}{54}\sigma_k \cdot b \cdot x + \frac{1}{2}\sigma_h \cdot b(h_1 - x)^2 + Fv \cdot \sigma_f\,(h - x)$$

vagy pedig az alábbi:

$$M_t = b \cdot h_1^2 \cdot \sigma_f \cdot \mu\left(k + 0{,}1 - \frac{\xi_1^2}{36} - \frac{13\,\xi_1}{30}\right)$$

vagy

$$M_t = b\,h_1^2 \cdot \sigma_f \cdot \mu \left[k + 0{,}1 - \frac{0{,}324\,\mu^2\beta^2 + 0{,}78\,\mu\beta}{(1 + 0{,}3\,\mu\beta)^2} \right].$$

Ezeket a képleteket T keresztmetszetű tartóra is lehet alkalmazni, ha az x tengely a fejlemezbe metsz. $\frac{b}{bo} = c$ bevezetésével az x tengely szorzója:

$$\xi_1 = \frac{1{,}8\,\mu\beta}{c + 0{,}3\,\mu\beta}.$$

Ezek után a törőnyomaték képlete hasonló az előbbihez.

Kérdés, hogy meddig érvényes ez a képlet. (Érvényességi tartomány.)

A beton képlékeny alakváltozása: a beton minőségétől függően $\varepsilon_{bp} = 4-6\,^0/_{00}$ között változik.

Vegyük fel alsó határként $\varepsilon_{bp} = 6\,^0/_{00}$-et.

A vas megnyúlására $\varepsilon_{vf} = 180\,^0/_{00}$-et vegyünk fel.

A BERNOULLI—NAVIER feltevés alapján

$$\xi = \frac{k \cdot \varepsilon_{bp}}{\varepsilon_{bp} + \varepsilon_{vf}} = \frac{6\,k}{186} = \frac{1{,}8\,\mu\beta}{1 + 0{,}3\,\mu\beta},$$

innen:

$$\mu = \frac{1}{\beta}\,\frac{6\,k}{334{,}8 - 1{,}8\,k},$$

legyen $k = 0{,}9$ középérték, ekkor az alsó határ:

$$\mu_{alsó} = 0{,}0163\,\frac{1}{\beta}.$$

A felső határhoz vegyük fel $\varepsilon_{bp} = 4\text{-}\,^0/_{00}$-et és a vas képlékeny megnyúlására

szokásos acél használatakor $\varepsilon_{vf} = 1{,}5\,^0/_{00}$-et,

nagyobb szil. acélnál $\varepsilon_{vf} = 2\ \ ^0/_{00}$-et.

Innen a felső határ szokásos acél használatakor:

$$\mu_{\text{felső}} = \frac{1}{\beta}\,\frac{4\,k}{9{,}9 - 1{,}2\,k},$$

$k = 0{,}9$ esetén:

$$\mu_{\text{felső}} = 0{,}408\,\frac{1}{\beta}.$$

Nagyobb szilárdságú acélnál:

$$\mu_{\text{felső}} = \frac{1}{\beta} \frac{4k}{10{,}8 - 1{,}2k}.$$

$k = 0{,}9$ esetén:

$$\mu_{\text{felső}} = 0{,}37 \frac{1}{\beta}.$$

A következő táblázat feltünteti az alsó és felső vasalási határt a β függvényében, $k = 0{,}9$ esetén. (V. táblázat)

V. táblázat

β	Alsó vasalási határ ($\mu_{alsó}$)	Felső vasalási határ ($\mu_{felső}$)	
		kereskedelmi acél	0 15 W 37 nagyobb szil. acél
8	2,04‰	5,10%	4,62%
10	1,63‰	4,08%	3,70%
15	1,09‰	2,72%	2,47%
20	0,82‰	2,04%	1,85%
25	0,65‰	1,63%	1,48%

Amint a táblázatból látszik, csak a beton szilárdságának fokozásával lehet nagyobb vasszázalékokkal növelni a tartó teherbírását a keresztmetszetének megváltoztatása nélkül. Ha a fenti értékek megtartásával növeljük a vasszázalékot, akkor nem használhatjuk ki kellőképpen az acélt.

III. Az elmélet és valóság összehasonlítása

Az elmélet helyes voltát a számított törőnyomatéknak a valósággal való összehasonlítása igazolja. Bár a gyakorlat számára a leghasználhatóbb eredményeket az építés színhelyén, tehát valóságos feltételek között végzett vizsgálatok adnák, mégis le kell róluk mondanunk azokra a nehézségekre való tekintettel, amelyek ebben az esetben felmerülnek a pontos mérések és a vizsgálatok ellenőrzése terén. Laboratóriumi kísérleteknél egész sereg tényezőt kell tekintetbe venni, mert csak ezen megfigyelések után lehet a kísérleti eredményeket egymással és az elmélettel összehasonlítani.

Különös figyelemmel kell számításba venni a döntő tényezőket. E dolgozatban közölt vizsgálatok közül csak azokat választottuk ki, amelyek az összes szükséges adatot tartalmazzák.

Az alábbiakban közöljük azokat a tényezőket, amelyeket a kísérleteknél számításba kell venni:

1. Ismerni kell az acélbetétek folyási határát. A folyási határ az acélbetétek átmérőjétől is függ, tehát nem lehet átlagos folyási határ alapján értékelni, hanem minden egyes acélbetétet meg kell vizsgálni. GEBAUER (B. u. E. 1939. 13. sz.) tanulmányában átlagos folyási határral dolgozott, pedig az alábbi szórást mutatták a kísérletek (VI. tábl.).

VI. táblázat

Az acél jele	Átlagos folyási határ kg/cm²	A folyási határok szélső értékei kg/cm²
St. 37	2610	2460—2760
St. 55	4263	3800—4850
Isteg	3563	3250—3860

Hasonlóképpen MÜLLER is (B. u. E. 1907. 8. sz.) 2800 kg/cm² átlagos folyási határral számol. GEBAUER az St. 55 jelű 28% szórást mutató vasnál, 0,4—2,5% vasszázalék mellett 8—13%-ot tévedett a törőnyomatékok számításánál.

2. A betonszilárdság változására a törőnyomaték nem érzékeny. A hiba ebben az esetben kb. 20%-a a betonszilárdság megállapításában elkövetett hibának.

3. A tartó hossza is befolyásolja a belső feszültségeket. A 2 m-nél rövidebb tartókat az értékelésbe nem szabad belevenni.

4. A belső feszültségekre hatással van a beton kora is. A vizsgálatokat célszerű 28 napos korban végezni.

5. A kísérletek ideje alatt fel kell jegyezni a tárolótér relatív nedvességtartalmát, hőmérsékletét és a beton zsugorodását.

6. A terhelés módja is befolyásolja a törőnyomatékok nagyságát. Célszerű a próbatesteket két szimmetrikus elhelyezésű koncentrált erővel terhelni.

Az 1—6. szempontoknak GEHLER és AMOS kísérletei felelnek meg a legjobban (Német Vasbeton Bizottság 1943. 100. füzet).

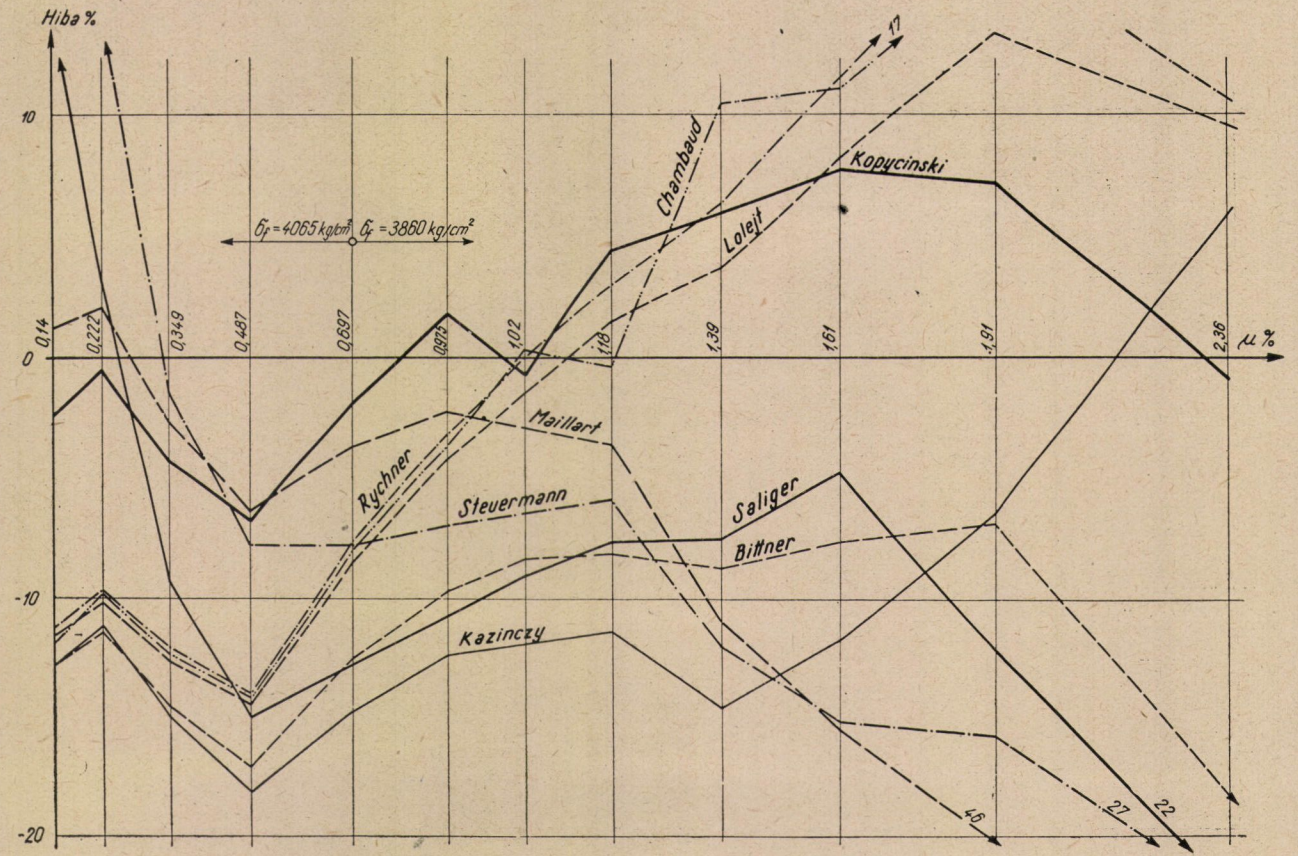
A különböző szerzők módszerével számított és a tényleges törőnyomatékok közötti százalékos eltérést vagy hibát

$$h = \frac{M \text{ számított} - M \text{ tényleges}}{M \text{ tényleges}} \cdot 100$$

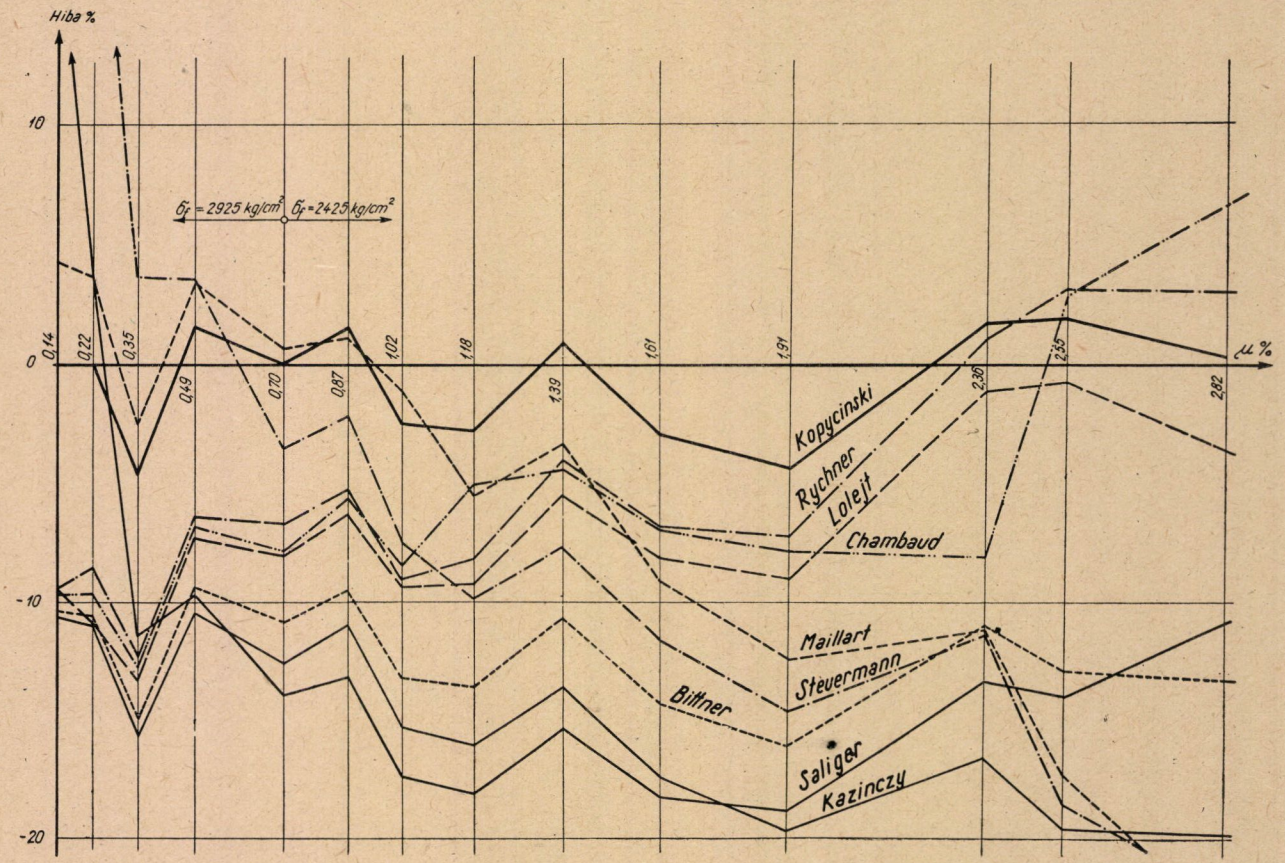
képletből kapjuk.

KAZINCZY, LOLEIT, BITTNER, SALIGER, CHAMBAUD, STEUERMANN, MAILLART, RYCHNER és a SZERZŐ módszerével kapott grafikonokat a 7. és 8. ábrán tüntettük fel.

Ezekre a görbékre jellemző, hogy csak kis mértékben tükrözik a véletlen hibák szórását. A diagramokat ki lehet egyenlíteni egy általános jellegű görbével.


Hiba %
10
0
-10
-20
0,14
0,222
0,349
0,487
0,697
0,975
1,02
1,18
1,39
1,61
1,91
2,36
μ %
σ_f = 4065 kg/cm²
σ_f = 3860 kg/cm²
Chambaud
Kopycinski
Lolejt
Maillart
Rychner
Steuermann
Saliger
Bittner
Kazinczy
17
46
27
22

7. ábra


Hiba %
10
0
-10
-20
σ_f = 2925 kg/cm²
σ_f = 2425 kg/cm²
0,14
0,22
0,35
0,49
0,70
0,87
1,02
1,18
1,39
1,61
1,91
2,30
2,55
2,82
μ %
Kopyciński
Rychner
Lolejt
Chambaud
Maillart
Steuermann
Bittner
Saliger
Kazinczy

8. ábra

A görbék megadják azokat a vasszázalékokat, amelyek fölött vagy alatt a hibafüggvény szembeötlő eltérést mutat a valóságtól. Az egyes módszerek abszolút középhibáját kiszámítva és (mint azt néhány szerző, köztük GUERRIN is javasolja) GEHLER kísérleteihez viszonyítva az alábbi százalékos eltéréseket kapjuk (VII. táblázat).

VII. táblázat

KAZINCZY módszerénél a hiba	13,7%
LOLEIT módszerénél a hiba	7,7%
BITTNER módszerénél a hiba.....	11,8%
SALIGER módszerénél a hiba	12,6%
CHAMBAUD módszerénél a hiba	8,1%
STEUERMANN módszerénél a hiba	13,0%
MAILLART módszerénél a hiba.....	8,4%
RYCHNER módszerénél a hiba	7,8%
A SZERZŐ módszerénél a hiba	2,7%

MASEREEURV nagyméretű betonkeresztmetszetekkel végzett kísérletei még szembetűnőbben igazolják a szerzőt. A kísérleti tartó szélessége 100 cm, teljes magassága 65 cm, hasznos magassága 61,18 cm, a teljes keresztmetszetre vonatkoztatott vasszázalék pedig 1,495% volt. A beton szilárdsága 143 kg/cm², a vasbetétek folyási határa 3900 kg/cm². A törőnyomaték 185 000 kgcm.

MASEREEURV kísérletei és a különböző szerzőktől számítható elméleti törőnyomatékok között a VIII. táblázatban közölt eltérések adódnak.

VIII. táblázat

Módszer	Tényleges törőnyomaték kgcm	Elméleti törőnyomaték kgcm	Hiba %
SALIGER		165 500	10,5
MAILLART	185 000	169 800	8,2
STEUERMANN		165 870	10,4
CHAMBAUD		181 400	1,9
A SZERZŐ			0,8

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a hajlított vasbetontartók törőnyomatékának számítását tárgyalja. A törőnyomatékok értékét befolyásoló tényezők ismertetése után a szerző saját módszerét ismerteti.

A szerző módszere a törőnyomaték pontos számítására azon a feltételezésen alapul, hogy a beton zsugorodásának hatását is figyelembe veszi. A szerző módszere a beton nyomott övében trapéz alakú feszültségeloszlást tételez fel, a beton zsugorodásának hatását pedig $\sigma_h = 0{,}2\ \mu\sigma_f$ nagyságú és a semleges tengelyig egyenletes megoszlású betonhúzófeszültséggel helyettesíti. Ezzel a módszerrel számítva a törőnyomatékok a valósághoz közelebb álló értéket adnak.

A REAKCIÓFOK KIVÁLASZTÁSÁNAK BEFOLYÁSA AZ AXIÁL-KOMPRESSZOR FOKOZAT HATÁSFOKÁRA*

VERMES GÉZA

HŐTECHNIKAI KUTATÓ INTÉZET

[Beérkezett 1955. május 31-én]

1. Közismert, hogy nagy nyomásviszonyra dolgozó axiál-kompresszorokat több fokozatból állítanak össze és minden fokozat egy álló és egy forgó lapátsorból áll. Az átáramló közeg nyomása a fokozat elhagyása után a belépő állapothoz képest természetszerűleg nagyobb lesz és ezt a nyomásnövekedést a gép — akár részben, akár teljesen — vagy az álló, vagy a forgó lapátsorban állíthatja elő. Azt a jellemzőt, amely megmutatja, hogy a nyomásemelkedésből mennyi jut az álló- és mennyi a járókerékre, reakciófoknak nevezzük (R).

Vizsgálataink során az alábbi feltételezésekkel élünk:

1. Valamely fokozat hatásfoka megegyezik a „méretezési átmérőn" alkalmazott lapátelrendezés hatásfokával. Méretezési átmérőként a fokozat lapáttőnél és lapátvégen mért átmérőinek számtani közepét választjuk.

2. A járó-, ill. állókerék ellenállás-tényezőjében már kifejezésre jut az, hogy nem végtelen hosszú szárnysorok körüli áramlásról van szó.

3. Feltételezzük, hogy valamely adott be- és kilépési szög, továbbá a számítás során felvett ellenállás-tényező megvalósítására tudunk megfelelő lapátsort kialakítani.

4. Egy fokozatról és viszonylag kis fokozati nyomásviszonyról lévén szó, a munkaközeget összenyomhatatlannak tételezzük fel.

5. „Hatásfok" alatt a hidraulikus hatásfokot értjük, amelyet az elemi hatásfokkal veszünk egyenlőnek.

Legyen

$$R = \frac{a}{u} \tag{1.1}$$

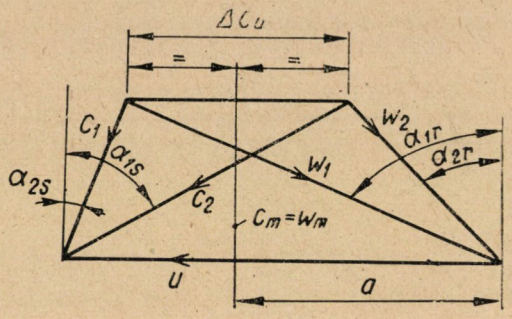
c_u : a közeg abszolút sebességében a fokozaton való áthaladás alatt beállt változásnak a kerületi sebességre való vetülete (m/mp);

c_1 : a közeg abszolút sebessége a járókerékbe történő belépésnél (m/mp);

c_2 : a közeg abszolút kilépő sebessége a járókerékből (m/mp);

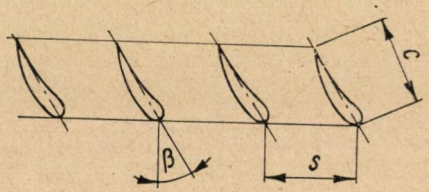
* Kivonat szerzőnek az Acta Technica XVII. kötetében, 25/38. lapon ugyanezen címen angol nyelven megjelent tanulmányából.

w_1 : a közeg relatív belépő sebessége a járókerékbe (m/mp);
w_2 : a közeg relatív kilépő sebessége a járókerékbe (m/mp);
u : kerületi sebesség (m/mp);
$c_m = w_m$: tengelyirányú sebesség (m/mp);



1. ábra

ϱ : a közeg sűrűsége $\left| \frac{\text{kg mp}^2}{\text{m}^4} \right|$;
α_1 : valamely szárnyrácsba (kerékbe) való belépés szöge;
α_2 : valamely szárnyrácsból (kerékből) való kilépés szöge;



2. ábra

$$\alpha_\infty = \text{arc tg} \frac{\text{tg}\,\alpha 1 + \text{tg}\,\alpha 2}{2};$$

$\sigma = \frac{t}{1}$: osztásviszony (lásd 1. ábra);

$\Delta p'$: nyomásveszteség $\left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}\right)$;

η_f : fokozati hatásfok;

Indexek : $_á$ álló, $_j$ járó.

2. Levezethető, hogy általában

$$\eta_f = 1 - \frac{1}{2} \frac{C_{ej} \frac{1}{\cos^3 \alpha_{\infty j}\, \sigma_j} + C_{eá'} \frac{1}{\cos^3 \alpha_{\infty á}\, \sigma_á}}{\text{tg}^2 \alpha_{1j} + \text{tg}\,\alpha_{1j} (\text{tg}\,\alpha_{2á} - \text{tg}\,\alpha_{2j}) - \text{tg}\,\alpha_{2á}\,\text{tg}\,\alpha_{2j}} \tag{2.1}$$

és

$$R = 1 - \frac{\operatorname{tg} \alpha_{\infty á}}{\operatorname{tg} \alpha_{1j} + \operatorname{tg} \alpha_{2á}}, \tag{2.2}$$

fentiekből

$$\eta_f = 1 - \frac{1}{2} \frac{C_{ej}}{\sigma_j D_j} R \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{\infty j})^{\frac{3}{2}} + B \left[1 + \left(\frac{1-R}{R}\right)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{\infty j}\right]^{\frac{3}{2}}}{\operatorname{tg} \alpha_{\infty j}}, \tag{2.3}$$

ahol $B = \frac{C_{eá}}{C_{ej}} \frac{\sigma_j}{\sigma_á}$, $D_j = \operatorname{tg} \alpha_{1j} - \operatorname{tg} \alpha_{2j}$, $c_{ej} = \frac{2 \sigma_j \Delta p'_j}{\varrho w_1^2 \frac{\cos^2 \alpha_{1j}}{\cos^3 \alpha_{\infty j}}}$,

$$c_{eá} = \frac{\Delta p_á \, 2 \sigma_á}{\varrho C_2^2 \frac{\cos^2 \alpha_{1\,á}}{\cos^3 \alpha_{\infty á}}}.$$

3. A (2.3) összefüggésből R szerinti szélsőérték számítással kapjuk az alábbi összefüggést:

$$R_{opt} = \frac{4}{1 \pm \sqrt{9 + \frac{8}{\operatorname{tg}^2 \alpha_{\infty j}} - \frac{(-A) + B}{B}}}, \tag{3.1}$$

ahol

$$A = -\frac{1}{\cos^3 \alpha_{\infty j} \left[1 + \left(\frac{1-R}{R}\right)^2 \operatorname{tg}^2 \alpha_{\infty j}\right]^{\frac{1}{2}}}. \tag{3.2}$$

R_{opt} $Á$-ra való iterálással számítandó ki. Egyelőre tételezzük fel, hogy B R-től független és így $R_{opt} = R_{opt}(\operatorname{tg} \alpha_{\infty j}, B)$.

Írjuk fel a (2.3)-at ilyen alakban: $\eta_f = 1 - \frac{1}{2} \frac{C_{ej}}{D_j \sigma_j} \zeta$, ahol

$$\zeta = \zeta(B, \operatorname{tg} \alpha_{\infty j}). \tag{3.3}$$

Látható, hogy ha $\frac{C_{ej}}{D_j \sigma_j}$ konstans, a legjobb fokozati hatásfok ott adódik, ahol ζ-nak $\alpha_{\infty j}$ és B függvényében minimuma van. Ha a (3.1)-et és (3.3)-at ábrázoljuk, megállapítható, hogy $1 \leq B \leq 1{,}5$ esetén a legjobb hatásfok $\alpha_{\infty j} = 35-40°$-nál adódik és az ehhez tartozó $R_{opt} = 0{,}5-0{,}58$.

4. Ha $R = 1$, elképzelhető, hogy $c_{eá} \ll c_{ej}$ (az állókerék ez esetben ugyanis nem diffuzor jellegű). A (2.3) és (3.3)-ból kifejezhető $\zeta_{R=1} = \zeta_{R=1}(\alpha_{\infty j}\ B)$. A számítás eredménye az, hogy az $R = 1$ elrendezés csak $B \leq 0{,}2$ esetén versenyképes az $R = R_{opt}$-mal. $\alpha_{\infty j}$ legkedvezőbb értéke itt is 35—40°.

5. Ha $R > 1$, elképzelhető, hogy a konfuzor-jellegű állókerék után a következő fokozat ellenállástényezője is kedvezőbbre adódik, mint $R < 1$ esetén, mert a konfuzor után az áramlás rendeződik. Ha $R \leqq 1{,}2$, ez az elrendezés csak akkor versenyképes az $R = R_{opt.}$szerinti fokozattal, ha $C_{eá} \leqq \leqq C_{ej} \cdot 0{,}2$ és

$$\left(\frac{C_{ej}}{D_j \sigma_j}\right)_{R=1+x} \leqq \left(\frac{C_{ej}}{D_j \sigma_j}\right)_{R=1} \frac{1}{1+x} .$$

ÚJABB VIZSGÁLATOK A FÜGGŐVONALELHAJLÁSOK KÖRÉBEN*

RENNER JÁNOS
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1955. június 17-én]

I. Bevezetés

A Magyar Tudományos Akadémia Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei 1952. évi V. kötetében „A függővonalelhajlás" címen tanulmányt közöltem ama vizsgálataimról, amelyeket a függővonalelhajlások meghatározására vonatkozóan végeztem az Eötvös-inga mérések eredményeiből [19]. E vizsgálataim Eötvös Lorándnak az 1907. évi értekezésében közölt eljárásából indulnak ki és az eredeti eljáráshoz viszonyítva egyszerűsítéseket eredményeztek.

A függővonalelhajlásokra vonatkozó vizsgálataimat tovább folytattam és különösen arra törekedtem, hogy elvileg megalapozott és a gyakorlati követelményeknek megfelelő, gazdaságosan felhasználható eljárás kerüljön kidolgozásra.

Az Eötvös-inga méréseinek eredményeiből kiszámított függővonalelhajlások lehetővé teszik a nehézségi potenciálfelület részletes megvizsgálását és így értékes adatokkal járulnak hozzá a geodézia feladatainak megoldásához. A függővonalelhajlásokat azonban a gyakorlati geofizika is fel tudja használni, mert ha a számítások alapjául az Eötvös-inga adatainak földalatti rendellenességei szolgálnak, akkor a függővonalelhajlásokból a földalatti tömegeloszlásra lehet következtetni.

II. Számítási eljárás

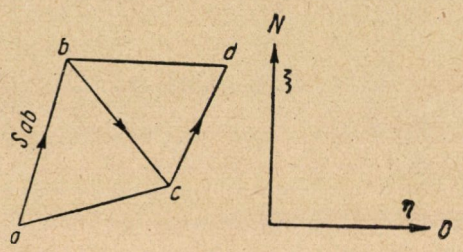
A számítások kiindulása Eötvös Lorándnak az a módszere, amelyet 1907-ben az Internationale Erdmessung kiadványában megjelent alapvető értekezésében közölt [2]. Eötvös ebben az értekezésében két számítási módszert közöl s ezek közül a második eljárás ad pontosabb eredményeket. Vizsgálataimban ebből a pontosabb eljárásból indultam ki.

* Az Acta Technica XV. (1956) 37—75. lapjain megjelent tanulmány rövidített szövege.

Ha a vizsgált terület nem nagy, legfeljebb 40-szer 40 km kiterjedésű, akkor Eötvös nyomán [2] az egész területen egységes koordináta-rendszert használhatunk, mert a meridián-konvergenciából származó eltérések kisebbek, mint az észlelési hibák.

A függővonalelhajlás számítása egymáshoz csatlakozó háromszögek alapján történik (1. ábra).

A továbbiakban a függővonalelhajlás összetevői helyett a nehézségi gyorsulással megszorzott értékeket, vagyis a vízszintes irányú erőösszetevőket vesszük tekintetbe.



1. ábra

A vízszintes erőösszetevők változása a és b pontok között a ponttól b pont felé haladva $\xi_b - \xi_a = \xi_{ab}$, illetőleg $\eta_b - \eta_a = \eta_{ab}$. A kezdő ab vonalon az északi irányú erőösszetevőt egyelőre ismeretlen mennyiségnek kell tekinteni: $\xi_{ab} = u$.

Eötvös számításai szerint [2] a vízszintes erőösszetevők változásai az abc háromszög oldalai mentén:

$$\eta_{ab} = \frac{T_{ab} + u \sin \alpha_{ab}}{\cos \alpha_{ab}} \tag{1}$$

$$\xi_{bc} = \frac{T_{bc} \cos \alpha_{ca} + (T_{c1} - \xi_{ab} \sin \alpha_{ca} + \eta_{ab} \cos \alpha_{ca}) \cos \alpha_{bc}}{\sin (\alpha_{ca} - \alpha_{bc})} \tag{2}$$

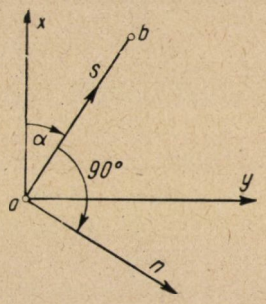
$$\eta_{bc} = \frac{T_{bc} \sin \alpha_{ca} + (T_{ca} - \xi_{ab} \sin \alpha_{ca} + \eta_{ab} \cos \alpha_{ca}) \sin \alpha_{bc}}{\sin (\alpha_{ca} - \alpha_{bc})} . \tag{3}$$

E kifejezésekben α_{ab}, α_{bc}, α_{ca} az indexekkel jelölt irányoknak a ξ iránnyal bezárt szögei. T_{ab}, T_{bc}, T_{ca} a háromszög oldalai mentén vett vonalintegrálok a következő értelmezéssel:

$$T_{ab} = \int_a^b \frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \, ds \doteq \frac{1}{2} \left[\left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_a + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} \right)_b \right] s_{ab} .$$

Itt s_{ab} az a és b pontok távolsága, az s iránya az a ponttól b pont felé mutat, az n irány pedig az s iránnyal az óramutató járásával megegyező értelemben alkot derékszöget (2. ábra).

Az integrál közelítő értékét a $\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s}$ differenciálhányadosnak az a és b pontokban felvett értékeiből középérték képzéssel számítjuk ki. Ha az Eötvös-inga mérések eredményei az x északi irányú és y keleti irányú koordináta-



2. ábra

tengelyekre vonatkoztatva állanak rendelkezésre, akkor az U_Δ és U_{xy} differenciálhányadosokból a következő egyszerű transzformálással kapjuk az (sn) koordináta-rendszerre vonatkozó és a T_{ab} kiszámításához szükséges differenciálhányadost:

$$\frac{\partial^2 U}{\partial n \partial s} = U_\Delta \frac{\sin 2\alpha}{2} + U_{xy} \cos 2\alpha \,.$$

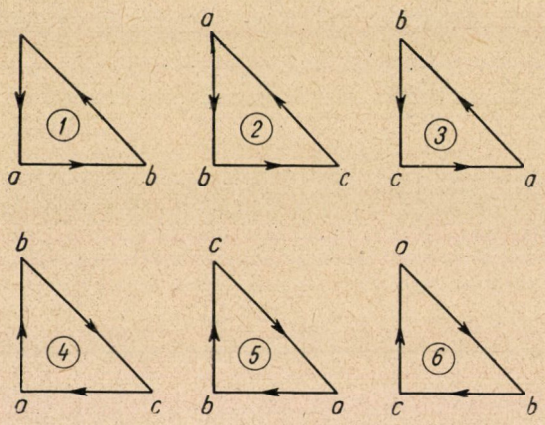
Az *abc* háromszöghöz csatlakozó *bcd* háromszögre megfelelő értelmezéssel az (1)—(3) alatti kifejezések alkalmazhatók, és így a ξ_{cd} és η_{cd} erőösszetevő különbségek is kiszámíthatók. Egymáshoz csatlakozó háromszögek sorára elvégzett számítással összefüggő törtvonal mentén kapjuk az erőösszetevők különbségének értékeit. Mivel a számítás alapjául szolgáló (1)—(3) alatti kifejezések $\xi_{ab} = u$ mennyiséget tartalmazzák, ez az egyelőre ismeretlen mennyiség valamennyi csatlakozó oldalra vonatkozó erőösszetevő különbségben előfordul.

Az ismeretlen u mennyiség megállapításához szükség van a kérdéses területen legalább két pontban elvégzett csillagászati szélességmérés adataira. Ha két asztrogeodéziai pontban a függővonalelhajlás észak—déli összetevője ismeretes, akkor ezek különbségét egybevetjük azzal az erőösszetevő különbséggel, amelyet a két asztrogeodéziai pont között kifejlesztett Eötvös-inga hálózat meghatározásából kapunk és ezen az úton az u mennyiséget kiszámíthatjuk. Az asztrogeodéziai pontok mérési adatai a függővonalelhajlások összetevőit valamely ellipszoidra vonatkoztatva szolgáltatják, tehát viszonylagos értékeknek veendők. Ha a kérdéses területen levő egyik asztrogeodéziai pont Laplace-pont, akkor e pont szélességi és hosszúsági adatainak felhasználásával az egész feldolgozott területre vonatkozólag kiszámíthatjuk a vízszintes erőösszetevők viszonylagos értékeit. Ellenkező esetben csupán az észak—déli összetevők értékeit tudjuk közvetlenül meghatározni, a kelet—nyugati össze-

tevőkre nézve önkényesen kell kiinduló értéket feltételezni egyéb gravitációs adatok figyelembevételével.

Más helyen már [19] kifejtettem, hogy az erőösszetevőkre vonatkozó számítások lényegesen egyszerűbbé válnak akkor, ha a valóságos megfigyelési pontokból álló általános háromszögek helyett egyenlőszárú derékszögű háromszögeket használunk. Ebben az esetben természetesen valamilyen interpolációs eljárással meg kell állapítani a második differenciálhányadosoknak a derékszögű háromszögek szögpontjaira, vagyis a kérdéses területet beborító négyzetes hálózat sarokpontjaira vonatkozó értékeit. Bár ezek nem ténylegesen megmért értékek s nem is függetlenek egymástól, a velük való kiegyenlítés sokkal egyszerűbb anélkül, hogy a végeredményt számottevően eltorzítanák.

Az egyenlőszárú derékszögű háromszögek helyzete, a csatlakozó oldal fekvése és a körüljárás iránya szerint különböző esetek fordulnak elő. Az egyenlőszárú derékszögű háromszögnek a koordináta-rendszerhez viszonyítva négyféle helyzete lehet, és mivel mindegyik helyzetben 6 különböző eset van, az előforduló összes különböző esetek száma 24. Az erőösszetevők különbségének kifejezései a 24 különböző esetben a következők:



3. ábra

1. eset. $\alpha_{ca} = 180°$ $\alpha_{bc} = 315°$ $\xi_{bc} = T_{bc}\sqrt{2} - T_{ca} + \eta_{ab}$ $\eta_{bc} = T_{ca} - \eta_{ab}$

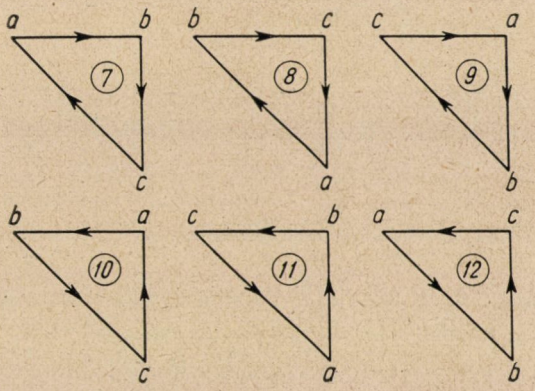
2. eset. $\alpha_{ca} = 315°$ $\alpha_{bc} = 90°$ $\xi_{bc} = -T_{bc}$ $\eta_{bc} = T_{bc} - T_{ca}\sqrt{2} - \xi_{ab} - \eta_{ab}$

3. eset. $\alpha_{ca} = 90°$ $\alpha_{bc} = 180°$ $\xi_{bc} = T_{ca} - \xi_{ab}$ $\eta_{bc} = -T_{bc}$

4. eset. $\alpha_{ca} = 270°$ $\alpha_{bc} = 135°$ $\xi_{bc} = -T_{ca} - \xi_{ab}$ $\eta_{bc} = -T_{bc}\sqrt{2} + T_{ca} + \xi_{ab}$

5. eset. $\alpha_{ca} = 135°$ $\alpha_{bc} = 0°$ $\xi_{bc} = -T_{bc} + T_{ca}\sqrt{2} - \xi_{ab} - \eta_{ab}$ $\eta_{bc} = T_{bc}$

6. eset. $\alpha_{ca} = 0°$ $\alpha_{bc} = 270°$ $\xi_{bc} = T_{bc}$ $\eta_{bc} = -T_{ca} - \eta_{ab}$



4. ábra

7. eset. $\alpha_{ca} = 315°$ $\alpha_{bc} = 180°$ $\xi_{bc} = T_{bc} - T_{ca}\sqrt{2} - \xi_{ab} - \eta_{ab}$
$\eta_{bc} = -T_{bc}$

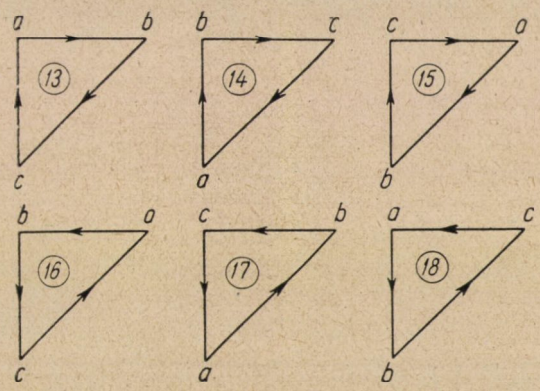
8. eset. $\alpha_{ca} = 180°$ $\alpha_{bc} = 90°$ $\xi_{bc} = -T_{bc}$
$\eta_{bc} = T_{ca} - \eta_{ab}$

9. eset. $\alpha_{ca} = 90°$ $\alpha_{bc} = 315°$ $\xi_{bc} = T_{ca} - \xi_{ab}$
$\eta_{bc} = T_{bc}\sqrt{2} - T_{ca} + \xi_{ab}$

10. eset. $\alpha_{ca} = 0°$ $\alpha_{bc} = 135°$ $\xi_{bc} = -T_{bc}\sqrt{2} + T_{ca} + \eta_{ab}$
$\eta_{bc} = -T_{ca} - \eta_{ab}$

11. eset. $\alpha_{ca} = 135°$ $\alpha_{bc} = 270°$ $\xi_{bc} = T_{bc}$
$\eta_{bc} = -T_{bc} + T_{ca}\sqrt{2} - \xi_{ab} - \eta_{ab}$

12. eset. $\alpha_{ca} = 270°$ $\alpha_{bc} = 0°$ $\xi_{bc} = -T_{ca} - \xi_{ab}$
$\eta_{bc} = T_{bc}$



5. ábra

13. eset. $\alpha_{ca} = 0°$ $\alpha_{bc} = 225°$
$\xi_{bc} = T_{bc}\sqrt{2} - T_{ca} - \eta_{ab}$
$\eta_{bc} = -T_{ca} - \eta_{ab}$

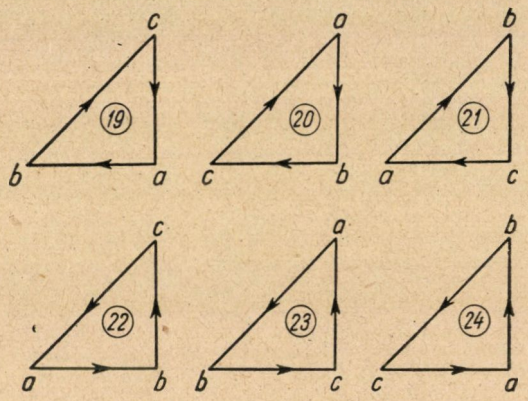
14. eset. $\alpha_{ca} = 225°$ $\alpha_{bc} = 90°$
$\xi_{bc} = -T_{bc}$
$\eta_{bc} = -T_{bc} + T_{ca}\sqrt{2} + \xi_{ab} - \eta_{ab}$

15. eset. $\alpha_{ca} = 90°$ $\alpha_{bc} = 0°$
$\xi_{bc} = T_{ca} - \xi_{ab}$
$\eta_{bc} = T_{bc}$

16. eset. $\alpha_{ca} = 45°$ $\alpha_{bc} = 180°$
$\xi_{bc} = -T_{bc} + T_{ca}\sqrt{2} - \xi_{ab} + \eta_{ab}$
$\eta_{bc} = -T_{bc}$

17. eset. $\alpha_{ca} = 180°$ $\alpha_{bc} = 270°$
$\xi_{bc} = T_{bc}$
$\eta_{bc} = T_{ca} - \eta_{ab}$

18. eset. $\alpha_{ca} = 270°$ $\alpha_{bc} = 45°$
$\xi_{bc} = -T_{ca} - \xi_{ab}$
$\eta_{bc} = T_{bc}\sqrt{2} - T_{ca} - \xi_{ab}$



6. ábra

19. eset. $\alpha_{ca} = 180°$ $\alpha_{bc} = 45°$
$\xi_{bc} = -T_{bc}\sqrt{2} + T_{ca} - \eta_{ab}$
$\eta_{bc} = T_{ca} - \eta_{ab}$

20. eset. $\alpha_{ca} = 45°$ $\alpha_{bc} = 270°$
$\xi_{bc} = T_{bc}$
$\eta_{bc} = T_{bc} - T_{ca}\sqrt{2} + \xi_{ab} - \eta_{ab}$

21. eset. $\alpha_{ca} = 270°$ $\alpha_{bc} = 180°$
$\xi_{bc} = -T_{ca} - \xi_{ab}$
$\eta_{bc} = -T_{bc}$

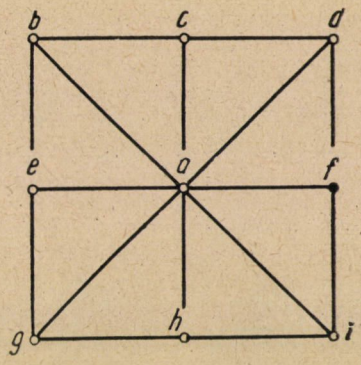
22. eset. $\alpha_{ca} = 225°$ $\alpha_{bc} = 0°$
$\xi_{bc} = T_{bc} - T_{ca}\sqrt{2} - \xi_{ab} + \eta_{ab}$
$\eta_{bc} = T_{bc}$

23. eset. $\alpha_{ca} = 0°$ $\alpha_{bc} = 90°$
$\xi_{bc} = -T_{bc}$
$\eta_{bc} = -T_{ca} - \eta_{ab}$

24. eset. $\alpha_{ca} = 90°$ $\alpha_{bc} = 225°$
$\xi_{bc} = T_{ca} - \xi_{ab}$
$\eta_{bc} = -T_{bc}\sqrt{2} + T_{ca} - \xi_{ab}$

III. Függővonalelhajlások számítása összefüggő területen

Ha a számításban felhasznált hálózati pontok sávszerűen, kettős vonalban sorakoznak, akkor minden háromszöghöz folyamatosan egy-egy további háromszög csatlakozik, és a vízszintes erőösszetevők folytatólagos kiszámítása egyértelműen történik. Összefüggő területen azonban a háromszögek folyamatos kifejlesztésének többféle lehetősége van, és e lehetőségek felhasználása elkerülhetetlenül bizonyos fokú önkényt jelent. Kívánatos ezért olyan eljárás kidolgozása, amely a számítást és annak eredményét függetlenné teszi attól, hogy az összefüggő területet beborító háromszögek a számítás során milyen



7. ábra

sorrendben csatlakoznak egymáshoz. A következőkben ismertetett eljárás ezt a célt szolgálja.

A négyzetes hálózat bármelyik belső szögpontját 8 hálózati pont veszi körül. A 7. ábrán az *a* belső pontot *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, *h*, *i* hálózati pontok veszik körül. Ennek megfelelően a vízszintes erőösszetevők különbségei a 8 szomszédos ponthoz viszonyítva fejezhetők ki. A következőkben az eddigi kétindexes jelölés helyett az erőösszetevők különbségeit részletesen kiírjuk.

Az *abc* háromszögből (7. eset):

$$\xi_a - \xi_c = T_{ac} - T_{ab}\sqrt{2} - \xi_c + \xi_b - \eta_c + \eta_b$$

$$\xi_a - \xi_b + \eta_c - \eta_b = T_{ac} - T_{ab}\sqrt{2} \tag{4}$$

$$\eta_a - \eta_c = -T_{ac}. \tag{5}$$

Az *acd* háromszögből (16. eset):

$$\xi_a - \xi_c = -T_{ac} + T_{ad}\sqrt{2} + \xi_d - \xi_c + \eta_c - \eta_d$$

$$\xi_a - \xi_d + \eta_d - \eta_c = -T_{ac} + T_{ad}\sqrt{2} \tag{6}$$

$$\eta_a - \eta_c = -T_{cc}. \tag{7}$$

Az *adf* háromszögből (20. eset):

$$\xi_a - \xi_f = T_{af} \tag{8}$$

$$\eta_a - \eta_j = T_{af} - T_{ad}\sqrt{2} + \xi_f - \xi_d + \eta_d - \eta_f$$

$$\xi_d - \xi_f + \eta_a - \eta_d = T_{af} - T_{ad}\sqrt{2}\ . \tag{9}$$

Az *afi* háromszögből (11. eset):

$$\xi_a - \xi_f = T_{af} \tag{10}$$

$$\eta_a - \eta_f = -T_{af} + T_{ai}\sqrt{2} + \xi_i - \xi_f + \eta_i - \eta_f$$

$$\xi_f - \xi_i + \eta_a - \eta_i = -T_{af} + T_{ai}\sqrt{2}\ . \tag{11}$$

Az *aih* háromszögből (5. eset):

$$\xi_a - \xi_h = -T_{ah} + T_{ai}\sqrt{2} + \xi_i - \xi_h + \eta_i - \eta_h$$

$$\xi_a - \xi_i + \eta_h - \eta_i = -T_{ah} + T_{ai}\sqrt{2} \tag{12}$$

$$\eta_a - \eta_h = T_{ah}\ . \tag{13}$$

Az *agh* háromszögből (22. eset):

$$\xi_a - \xi_h = T_{ah} - T_{ag}\sqrt{2} + \xi_g - \xi_h + \eta_h - \eta_g$$

$$\xi_a - \xi_g + \eta_g - \eta_h = T_{ah} - T_{ag}\sqrt{2} \tag{14}$$

$$\eta_a - \eta_h = T_{ah}\ . \tag{15}$$

Az *age* háromszögből (14. eset):

$$\xi_a - \xi_e = -T_{ae}\ . \tag{16}$$

$$\eta_a - \eta_e = -T_{ae} + T_{ag}\sqrt{2} + \xi_e - \xi_g + \eta_g - \eta_e$$

$$\xi_g - \xi_e + \eta_a - \eta_g = -T_{ae} + T_{ag}\sqrt{2} \tag{17}$$

Az *abe* háromszögből (2. eset):

$$\xi_a - \xi_e = -T_{ae} \tag{18}$$

$$\eta_a - \eta_e = T_{ae} - T_{ab}\sqrt{2} + \xi_b - \xi_e + \eta_b - \eta_e$$

$$\xi_e - \xi_b + \eta_a - \eta_b = T_{ae} - T_{ab}\sqrt{2} \tag{19}$$

A sorszámokkal megjelölt 16 összefüggésből a következő 8 független egyenlet származtatható le:

a 4. és 7. vagy a 18. és 19. egyenletből : $\xi_b - \xi_a + \eta_b - \eta_a = T_{ab}\sqrt{2}$ (20)

a 6. és 7. vagy a 8. és 9. egyenletből : $\xi_a - \xi_d + \eta_d - \eta_a = T_{ad}\sqrt{2}$ (21)

a 12. és 13. vagy a 10. és 11. egyenletből : $\xi_a - \xi_i + \eta_a - \eta_i = T_{ai}\sqrt{2}$ (22)

a 13. és 14. vagy a 16. és 17. egyenletből : $\xi_g - \xi_a + \eta_a - \eta_g = T_{ag}\sqrt{2}$ (23)

a 16. vagy a 18. egyenletből : $\xi_e - \xi_a = T_{ae}$ (24)

a 8. vagy a 10. egyenletből : $\xi_a - \xi_f = T_{af}$ (25)

az 5. vagy a 7. egyenletből : $\eta_c - \eta_a = T_{ac}$ (26)

a 13. vagy a 15. egyenletből : $\eta_a - \eta_h = T_{ah}$ (27)

A ξ_a és az η_a erőösszetevők meghatározására 8 független egyenlet szolgál. Az első 4 egyenlet átlós irányokban ad összefüggéseket, az utóbbi 4 egyenlet pedig észak—déli, illetőleg kelet—nyugati irányban. Látható, hogy a kelet—nyugati irányban vett vonalintegrálok közvetlenül megadják a ξ erőösszetevők változását kelet—nyugati irányban ; a dél—északi irányban számított vonalintegrálok pedig az η erőösszetevők változását adják dél—északi irányban. Az átlós irányú vonalintegrálok mind a ξ, mind az η erőösszetevők változását magukban foglalják.

Ha a négyzetes hálózat minden egyes oldalára és átlójára vonatkozólag a (20)—(27) alatti egyenleteket felírjuk, nyilván a ξ és η ismeretlen erőösszetevők számát meghaladó számú egyenletet kapunk.

A (20)—(27) alatti egyenletek jobboldalán hasonló jellegű tiszta tagok fordulnak elő. Ez könnyen belátható, ha a megfelelő irányokra transzformált mennyiségeket vizsgáljuk. Valamelyik átlós irányban a transzformációs képletek értelmében a tiszta tag :

$$T_{ad}\sqrt{2} = \frac{1}{2}\left(\frac{{}^{a}U_{\Delta}}{2} + \frac{{}^{d}U_{\Delta}}{2}\right)k\sqrt{2}\cdot\sqrt{2} = \frac{{}^{a}U_{\Delta} + {}^{d}U_{\Delta}}{2}k = K_{ad}\,.$$

E kifejezésben k jelenti a négyzetes hálózat oldalhosszúságát.

Valamely dél—északi irányú oldalra vonatkozó tiszta tag :

$$T_{ac} = \frac{{}^{a}U_{xy} + {}^{c}U_{xy}}{2}\cdot k = K_{ac}\,.$$

A (20)—(27) alatti egyenletek jobboldalán levő tiszta tagok tehát a görbületet jellemző második deriváltak közepesének a hálózati oldalhosszúsággal szorzott értékei.

A négyzetes hálózat oldalaira és átlóira felírt egyenletek az ismeretlen erőösszetevők meghatározására mint közvetítő egyenletek alkalmasak. Mivel a közvetítő egyenletek száma több, mint az ismeretlenek száma, az ismeretlenek legvalószínűbb értékét a legkisebb négyzetek elve alapján úgy határozzuk meg, hogy bizonyos megengedett elhanyagolással a tiszta tagokat egyenlő pontosaknak véve a K_{ad}, K_{ac} stb. tiszta tagok javításának négyzetösszege minimum legyen.

A javítások a következő alakúak :

$$v_1 = \xi_e - \xi_a - K_{ae} \qquad v_2 = \eta_c - \eta_a - K_{ac}$$
$$v_3 = \xi_a - \xi_d + \eta_d - \eta_a - K_{ad} \text{ stb.}$$

A javítások négyzetösszegének legkisebbnek kell lennie.

$$\Sigma v^2 = [v\,v] = \text{minimum.}$$

A minimum feltételei, vagyis a zérussal egyenlővé tett parciális differenciálhányadosok szolgáltatják a normálegyenleteket :

$$\frac{\partial [v\,v]}{\partial \xi_a} = 0 \quad \frac{\partial [v\,v]}{\partial \eta_a} = 0 \quad \frac{\partial [v\,v]}{\partial \xi_b} = 0 \quad \frac{\partial [v\,v]}{\partial \eta_b} = 0 \quad \text{s i. t.}$$

A közvetítő egyenletek mind a ξ, mind az η erőösszetevők különbségét tartalmazzák, tehát az erőösszetevők meghatározásához szükség van az asztrogeodéziai mérések adataira.

A közvetítő egyenletek egyszerű szerkezetéből következik, hogy a belőlük levezetett normálegyenletek átlós együtthatói kicsi pozitív egész számok, a többi együttható pedig a pozitív vagy negatív előjelű egység. A normálegyenletrendszer megoldását nagymértékben megkönnyítik a (24)—(27) alatti összefüggések, amelyekből közvetlenül ki lehet számítani az ismeretlenek közelítő értékeit, s ezzel lehetővé válik a normálegyenletrendszer megoldása viszonylag kicsi tiszta tagokkal.

IV. Függővonalelhajlások kiszámítása Eötvös-ingával végzett valóságos mérések adataiból

Az előbbiekben ismertetett eljárást olyan területre alkalmaztam, amelyen elég sűrűn voltak Eötvös-inga mérések és amelyen belül Laplace-pont is van. A Geodéziai és Kartográfiai Intézet a kérdéses Laplace-pontra vonatkozó

asztrogeodéziai mérések eredményeit rendelkezésemre bocsátotta, amiért ezen a helyen is köszönetet mondok.

A kérdéses területen 1 km oldalhosszúságú négyzetes hálózatot fektettem. A Laplace-pontot a négyzetes hálózat egyik szögpontjául választottam, ami a számításokat lényegesen egyszerűsítette. A négyzetes hálózatot úgy irányítottam, hogy az egyik koordináta-irány a Laplace-pont csillagászati északi irányával essék egybe.

A Laplace-pont ellipszoidos és csillagászati szélességének különbsége, vagyis a függővonalelhajlás északi összetevőjének viszonylagos értéke: $+ 0{,}521''$. Ezt a szöget átszámítva vízszintes erőösszetevőre $\left(\frac{1}{206\,265} = 4{,}848 \cdot 10^{-6}\right)$:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = + 0{,}521 \cdot 4{,}848 \cdot 10^{-6} \cdot 981 = + 24{,}8 \cdot 10^{-4}\,\text{CGS}.$$

A Laplace-pont ellipszoidos és csillagászati hosszúságának különbsége, vagyis a függővonalelhajlás keleti összetevőjének viszonylagos értéke: $+ 1{,}298''$.

Ebből a keleti vízszintes erőösszetevő:

$$\frac{\partial U}{\partial y} = + 1{,}298 \cdot 4{,}848 \cdot 10^{-6} \cdot 981 \cos 46^\circ 21' 17'' =$$

$$= + 42{,}6 \cdot 10^{-4}\ \text{CGS}.$$

Az ellipszoidos adatok még a Hayford-féle ellipszoidra vonatkoznak. Mivel az asztrogeodéziai úton megállapított függővonalelhajlás a felszíni domborzat tömeghatását is magában foglalja, a számításokban pedig az Eötvös-ingával mért adatok földalatti rendellenességeit használtam fel, az egybevetés végett szükségessé vált az asztrogeodéziai úton mért függővonalelhajlások javítása a legközelebbi környezetet is magában foglaló felszíni tagoltság figyelembevételével.*

A kérdéses Laplace-ponton a topografiai hatás:

$$\frac{\partial U}{\partial x} = - 4{,}5 \cdot 10^{-4} \qquad \frac{\partial U}{\partial y} = - 16{,}3 \cdot 10^{-4}.$$

A topografiai hatással javított asztrogeodéziai adatok a vízszintes erőösszetevőkre:

$$\xi = \frac{\partial U}{\partial x} = + 29{,}3 \cdot 10^{-4}\,\text{CGS}; \qquad \eta = \frac{\partial U}{\partial y} = + 58{,}9 \cdot 10^{-4}\,\text{CGS}.$$

Példánkban viszonylag kicsi szintkülönbségek vannak a Laplace-pont környezetében. Nagyobb szintkülönbségek esetében kívánatos a Laplace-pont közvetlen környezetének topografiai hatását kb. 100 méterig végzett szintezés adataiból kiszámítani.

A feldolgozás első feladata a tényleges Eötvös-inga állomások görbületi adatainak interpolációja a négyzetes hálózat szögpontjaira. Ezt az interpolációt HAALCK nyomán [16] grafikusan végeztem el külön-külön az U_Δ és az U_{xy} mennyiségekre.

* Ennek szükségességére TÁRCZY—HORNOCH Antal akadémikus hívta fel figyelmemet opponensi véleményében.

A szögpontokra interpolált U_Δ és U_{xy} görbületi adatokból a hálózati négyzetek oldalaira és átlóira kiszámítottam a T_{ab} vonalintegrálokat, s a (20)—(27) alatti képletek felhasználásával megállapítottam a közvetítő egyenleteket. A Laplace-pont fentebb közölt adatai mint kiinduló értékek kerülnek a közvetítő egyenletekbe. E közvetítő egyenletek alapján felírt normálegyenletrendszer megoldásai adják a hálózati szögpontokra vonatkozó vízszintes erőösszetevők értékeit.

A normálegyenletrendszer megoldásainak közelítő értékeit a négyzetoldalakra és egyes átlókra vonatkozó közvetítő egyenletek segítségével lehet megállapítani, felhasználva az asztrogeodéziai pont ismert kiinduló értékeit. Az asztrogeodéziai pont szomszédságában levő valamelyik hálózati pont egyik erőösszetevőjének értékét az általános gravitációs kép alapján állapítjuk meg, figyelemmel a nehézség anomália értékeire.

Az asztrogeodéziai pontok adatainak felhasználási lehetősége a következőkben foglalható össze:

1. Ha a kérdéses területen vagy annak közvetlen közelében két olyan asztrogeodéziai pont van, amelyek egyikén mindkét vízszintes erőösszetevő, a másikán csak az egyik erőösszetevő ismeretes, akkor a mindkét pontban ismert erőösszetevők különbsége mint kényszerfeltétel lehetővé teszi a vízszintes erőösszetevők különbségének kiszámítását az egész területen. A teljes asztrogeodéziai pont két erőösszetevőjének ismerete az alapul vett ellipszoidra vonatkozó viszonylagos függővonalelhajlások, illetőleg vízszintes erőösszetevők értékeit határozza meg az egész figyelembe vett területen. Ekkor a megoldás teljesen egyértelmű és nincs fölös asztrogeodéziai adat.

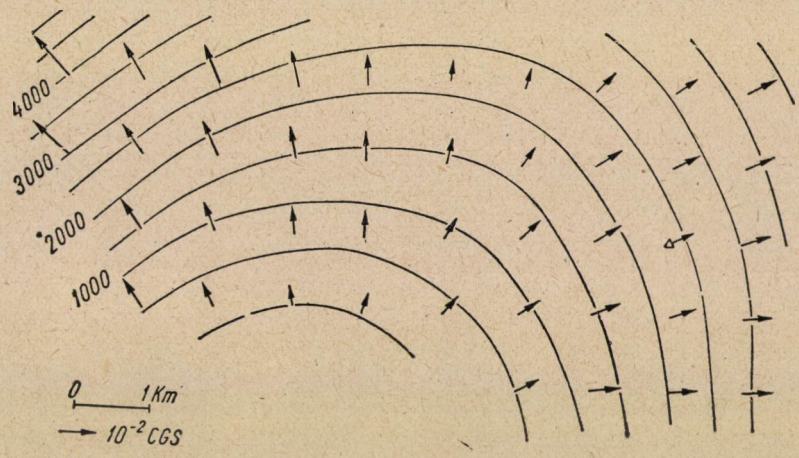
2. Ha a kérdéses területen vagy annak közelében két teljes asztrogeodéziai pont van, akkor rendelkezésre állanak a kiinduló értékek és a két pont között mindkét erőösszetevő különbsége ismeretes, tehát fölös adat is van, ami ellenőrzést tesz lehetővé.

3. Ha a kérdéses területen vagy annak közelében két különböző asztrogeodéziai pontban csak az egyik, de mindegyikben ugyanaz az erőösszetevő ismeretes, akkor a hálózat szögpontjaiban az erőösszetevők különbségei minden más feltételezés nélkül kiszámíthatók, azonban csak az egyik vízszintes erőösszetevő számára van kiinduló érték. Ez mutatkozott Eötvösnek az aradi területre vonatkozó számításaiban, ahol a keleti összetevőre a gravitációs viszonyok mérlegelésével egy meghatározott pontban zérust vett fel kiinduló értékül [2].

4. Ha a kérdéses területen csupán egy teljes asztrogeodéziai pont van, akkor mindkét összetevő számára vannak kiinduló értékek, azonban az egyik erőösszetevő különbségére a hálózatnak valamelyik két pontja között a gravitációs viszonyok mérlegelésével választott értéket kell felvenni. Ez fordul elő a jelen fejezetben tárgyalt példánkban.

Az ismertetett példában a hálózatba tartozó asztrogeodéziai ponton kívül 41 hálózati pont fordul elő, tehát az ismeretlenek száma 82. A közvetítő egyenletek alapján levezetett normálegyenletek száma is 82, ugyanannyi ismeretlennel. A számításokban az erőösszetevők 10^{-4} CGS nagyságrendben vannak kifejezve.

A normálegyenletrendszer megoldásait a közvetítő egyenletekbe behelyettesítve kiszámítottam az eltéréseket és azok négyzetösszegéből az egyes meghatározások középhibáját.



8. ábra

Az eltérések négyzetösszege $1122 \cdot 10^{-8}$. A közvetítő egyenletek száma 125, az ismeretlenek száma 82, tehát a fölös egyenletek száma 43. Ennek alapján az egyes meghatározások középhibája $\pm \sqrt{\frac{1122 \cdot 10^{-8}}{43}} = \pm 5 \cdot 10^{-4}$.

A 8. ábra vektoriális ábrázolásban tünteti fel a vízszintes erőösszetevők eredőit a feldolgozott területen.

Mivel a számítások alapjául az Eötvös-inga mérésekből kapott görbületi adatok földalatti rendellenességeit választottam, a kiszámított vízszintes erőösszetevők is a felszín alatt levő tömegeloszlást jellemzik.

A függővonalelhajlások és a földalatti tömegeloszlás kapcsolatára már Eötvös is rámutatott 1910. évi értekezésében [3]. Böckh Hugó geológus 1917. évi tanulmányában kiemelte a függővonal elhajlások kapcsolatát a tektonikával [4]. Ennek a kapcsolatnak részletes geofizikai kutatása további vizsgálatok feladata.

A vízszintes erőösszetevőkből ki lehet számítani a nehézségi erőtér anomáliáinak megfelelő viszonylagos potenciálértékeket. A potenciál értékét a terület déli szélén levő egyik hálózati pontban önkényesen zérusnak vettem, és az egyes hálózati pontokra mechanikus integrálással úgy számítottam ki a

potenciál értékét, hogy a négyzetoldalak mentén az erőösszetevők változását lineárisnak tételeztem fel. A 8. ábrán az egyenlő potenciálú vonalak is fel vannak tüntetve 500 CGS-egységnyi értékközzel. Az ábra mutatja, hogy az ekvipotenciális vonalak a vízszintes erőösszetevőkre merőlegesen haladnak. A legnagyobb potenciálérték a terület északnyugati sarkán 4000 CGS, ami azt jelenti, hogy ha a zérus potenciál értékű pontban a vonatkozási ellipszoid és a geoid egybeesnék, akkor az említett északnyugati sarokpontban a geoid szintfelülete kb. 4 cm-rel lenne magasabban az ellipszoidhoz viszonyítva a földalatti rendellenes tömegelrendeződés hatása következtében.

Meg kell említeni, hogy a geodéziai értelemben vett függővonalelhajlás számítása úgy történik, hogy a csillagászati adatból vonják ki az ellipszoidos adatot, tehát az Eötvös óta használt koordináta-rendszerre vonatkozó vízszintes erőösszetevők ellenkező előjellel arányosak a geodéziai függővonal-elhajlás összetevőivel.

Őszinte köszönettel tartozom Tárczy-Hornoch Antal akadémikusnak, aki évekkel ezelőtt felhívta figyelmemet e feladatkör fontosságára és munkámat értékes tanácsaival állandóan támogatta.

IRODALOM

1. G. G. Stokes: On the Variation of Gravity at the Surface of the Earth. Trans. Cambridge Phil. Soc. 1849.
2. R. Eötvös: Bestimmung der Gradienten der Schwerkraft und ihrer Niveauflächen mit Hülfe der Drehwage. Internationale Erdmessung. 1907.
3. R. Eötvös: Bericht über geodätische Arbeiten in Ungarn, besonders über Beobachtungen mit der Drehwage. Internationale Erdmessung. 1910.
4. Böckh Hugó: Brachyantiklinálisok és dómok kimutatása torziós mérleggel végzett nehézségi mérések adatai alapján. Bányászati és Kohászati Lapok. 1917.
5. F. A. Vening-Meinesz: A Formula Expressing the Deflection of the Plumbline in the Gravity Anomalies. Kon. Akad. van Wet. te Amsterdam. 1928.
6. B. Numerov: Interrelation between local Gravity Anomalies and the Derivatives of the Potential. Zeitschr. f. Geophys. 1929.
7. R. A. Hirvonen: The Continental Undulations of the Geoid. Veröff. d. Finn. Geod. Inst. No. 19. 1934.
8. *Н. Малкин*, Об определений вертикальной производной силы тяжести из наблюдений с крутильными весами. Астр. журн. 13. 1936.
9. J. Kasanski: Ein praktischer Versuch der gravimetrischen Bestimmung der Lotabweichungen. Verh. d. 7. Tagung der Balt. Geod. Komm. 1935.
10. N. Mihal: On the Determination of Gravity Anomalies from the Astronomical-Geodetical Deflection of the Plumb-line. Comptes Rendus (Doklady) de l'Académie des Sciences de l'URSS. 1937.
11. N. Mihal: Über die Bestimmung der Geoidfigur aus den Anomalien des Horizontalgradienten der Erdschwere. Comptes Rendus (Doklady) de l'Acad. des Sciences de l'URSS. 1937.
12. H. Haalck: Ergebnisse der vollständigen Berechnung des gravimetrischen Störungsfeldes im Gebiet von Gifhorn. Beitr. z. angew. Geophys. 1942.
13. A. D. Sollins: Tables for the Computation of Deflections of the Vertical from Gravity Anomalies. Bull. Géod. 1947.
14. L. Tanni: On the Continental Undulations of the Geoid as Determined from the Present Gravity Material. Publ. Isost. Inst. of IAG. 1948.
15. T. Olczak: The Eötvös Torsion Balance and the Problem of Determining the Higher Normal Derivatives of the External Gravity Potential. Acta Astronomica. Cracovie. 1949.

16. HAALCK: Die vollständige Bestimmung örtlicher gravimetrischer Störungsfelder aus Drehwaagemessungen mit Berechnungsbeispiel. Veröff. d. Geodät. Inst. in Potsdam. 1950.
17. W. HEISKANEN: On the World Geodetic System. Publ. Isost. Inst. of IAG. 1951.
18. *М. С. Молоденский,* Метод совместной гравиметрических и геодезических материалов для изучения гравитационного поля Земли и ее фигури. Сборн. Геод. но. вып. 30.
19. RENNER JÁNOS: A függővonalelhajlás. Magyar Tud. Akadémia Műszaki Tud. Oszt. Közleményei. V. 1952.
20. HAÁZ ISTVÁN BÉLA: Kapcsolat a derékszögű hasáb tömegvonzásának potenciálja és a potenciál deriváltjai között. Geofizikai Közlemények. 1953.
21. W. SAND: Über die Bestimmung von Differenzen der Lotrichtung mit Hilfe des Gradienten U_{zzs}. Geofisica pura e applicata. Vol. 27. 1954.

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen tanulmány olyan eljárást ismertet, amelynek segítségével az Eötvös-ingával végzett mérések eredményeiből a függővonalelhajlásokat viszonylag egyszerűen lehet kiszámítani. A számítási eljárás alapja a négyzetes hálózat, amely lehetővé teszi a függővonalelhajlások különbségének számítását egyenlőszárú derékszögű háromszögek oldalai mentén. A tényleges észlelési adatokat a négyzetes hálózat szögpontjaira kell interpolálni.

Összefüggő területen az ismeretleneket meghaladó számú közvetítő egyenletek adódnak, s ez a körülmény kiegyenlítő számítás alkalmazását teszi indokolttá. A függővonalelhajlások meghatározásához asztrogeodéziai mérések adataira is szükség van.

A függővonalelhajlásoknak jelentősége van a geofizikai célkutatásokban, mert a földalatti rendellenességekből számított függővonalelhajlásokból a földalatti tömegeloszlásra lehet következtetni. A függővonalelhajlások és a belőlük számított potenciálértékek kiegészítik a gradiensekkel és az izogalértékekkel jellemzett gravitációs képet. A függővonalelhajlásokban a mélyebben fekvő tömegegyenetlenségek jobban érvényesülnek, mint a gradiensekben.

A függővonalelhajlások számításának másik fontos alkalmazása lehetőséget nyújt a geoidfelület részletes megvizsgálására s így a geodézia szemszögéből jelentős.

SÍKBAN MOZGÓ EGYSZERŰ MECHANIZMUSOK DINAMIKAI VIZSGÁLATA

TERPLÁN ZÉNÓ

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

és

DROBNI JÓZSEF

NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM, GÉPELEMEK TANSZÉKE, MISKOLC

[Beérkezett 1955. július 7-én]

I.

A legtöbb mechanizmus *működésének* vizsgálatakor a gépészmérnök a következő kérdéseket veti fel:

1. A mechanizmus különböző tagjainak pontjai milyen görbét írnak le.

2. A kezdőtag állandó szögsebessége vagy sebessége esetén milyen a vezetett tag sebességváltozása.

3. A vezetett tag adott terhelésekor mekkora hajtó nyomatékra vagy hajtó erőre van szükség.

4. Mekkora hatásfokkal számolhatunk.

5. A tömegek egyensúlyozása és a kezdőtag előírt közepes szögsebessége hogyan valósítható meg.

Amennyiben a mechanizmust *méretezni* kell, akkor a következő feladatokat kell előzetesen elvégezni:

1. A mechanizmus tagjainak minden pontjában ismerni kell a sebességet, a gyorsulást és a keletkező erők okozta igénybevételt.

2. Ismerni kell továbbá a mechanizmus tagjait összekötő kinematikai párokban a viszonylagos sebességeket és szögsebességeket, valamint a kapcsolóerőket.

3. Meg kell határozni a tagok által továbbadott teljesítmény értékét.

4. Végül ki kell számítani, vajon mekkora kiegyenlítő tömegre vagy lendítőkerékre van szükség az előírt egyenlőtlenségi fok megtartásához.

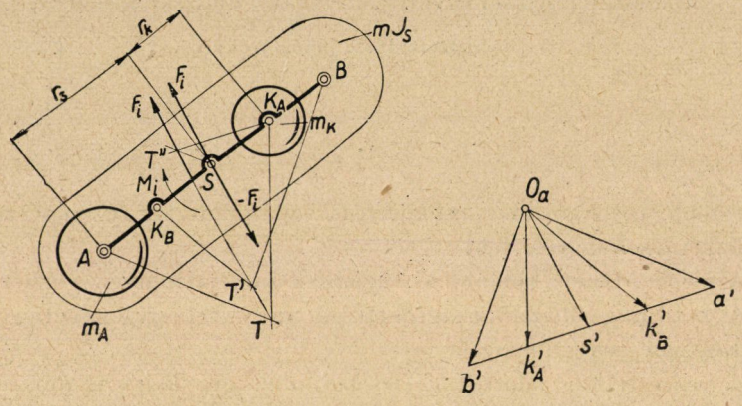
Mivel előző tanulmányunk már foglalkozott síkban mozgó egyszerű mechanizmusok kinematikai vizsgálatával,* a következőkben ismertetett *dinamikai* vagy *kinetosztatikai* vizsgálattal a felsorolt kérdések megoldhatók.

E megoldásoknál az a feltétel, hogy az olvasó az előző tanulmányban leírt sebesség- és gyorsulásterv meghatározását ismeri.

* L. *Terplán* Z.: Síkban mozgó egyszerű mechanizmusok kinematikai vizsgálata. M. T. A. Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei XII. köt. 115/131. 1954.

A kinetosztatikai vizsgálatokat e tanulmány is a gyorsan áttekinthető szerkesztő eljárással ismerteti, amelynek birtokában természetesen a számítás is ellenőrzésképpen vagy a megkívánt pontossággal elvégezhető.

A mechanizmus *dinamikai* vagy *kinetosztatikai vizsgálata* alatt azt értjük, hogy a kezdőtag adott helyzetében keressük a mechanizmusra ható külső és a mechanizmus mozgásából adódó tehetetlenségi erők, valamint eme erők nyomatékainak egyensúlyát.



1. ábra. A mechanizmus egyik tagjának általános vázlata és a tag gyorsulásterve. A tagon S jel a súlypontot, K jel pedig a lengésközéppontot mutatja. Az ábrán látható a tag adott mozgása közben ébredő tehetetlenségi erő támadási helyének (T, T', T'') szerkesztése

Ha az 1. ábrán látható m tömegű mozgó tagot vizsgáljuk, amelynek e helyzetében ismert a gyorsulásterve, továbbá ismert a tag súlypontjának helye (S) és a súlypontra vonatkozó J_S tehetetlenségi nyomaték, akkor a tag súlypontjában támadó $F_i = -ma_S$ egyetlen tehetetlenségi erő, és a $M_i = -J_S \varepsilon$ nyomaték helyettesíti az m tömegű tag anyagi részecskéinek tehetetlenségét, ha a tagnak van szimmetriasíkja s ez egybeesik a mozgás síkjával, továbbá a súlyponti tengely merőleges a mozgás síkjára.

E két összefüggésben F_i a tehetetlenségi erő kg-, m a tömeg kgs^2/m-, a_S a súlypont abszolút gyorsulása m/s^2-, M_i a tehetetlenségi erő okozta nyomaték mkg-, ε a tag szöggyorsulása $1/s^2$- és J_S a tagnak az S súlypontra vonatkozó tehetetlenségi nyomatéka $mkgs^2$ műszaki mértékegységben.

Ha az m tömeget pl. két helyre akarjuk redukálni úgy, hogy az egyik redukált tömeg az A pontba kerüljön, akkor kielégítve a redukált tömegekre fennálló következő egyenleteket :

$$m_A + m_K = m \,, \tag{1}$$

$$m_A r_S - m_K r_K = 0 \,, \tag{2}$$

$$m_A r_S^2 + m_K r_K^2 = J_S \,, \tag{3}$$

m_A, m_K és r_K értéke kiszámítható

$$r_K = \frac{J_S}{r_S m} , \tag{4}$$

vagyis r_K nem tetszőleges, hanem a súlypont helyétől, továbbá m és J_S értékétől függ. (Érdekes, hogy a fizikai inga lengés-középpontjának a súlyponttól mért távolsága éppen ugyanekkora.)

r_S és r_K birtokában kiszámítható a két redukált tömeg :

$$m_A = \frac{r_K}{r_S + r_K} m \quad \text{és} \quad m_K = \frac{r_S}{r_S + r_K} m .$$

Ha viszont m_A és m_K értéke ismert, akkor

$$m_A \mathbf{a}_A + m_K \mathbf{a}_K = m\mathbf{a}_S = \mathbf{F}_i , \tag{5}$$

értelmében F_i *helye* a gyorsulástervvel megadott tehetetlenségi irányokkal megszerkeszthető (l. 1. ábrát). A gyorsulásterv s' és k' pontjai a viszonylagos gyorsulásterv szerkesztésének módszerével találhatók meg, vagyis $\overline{AB}$ egyenest S ugyanolyan arányban metszi, mint $\overline{a'b'}$ viszonylagos gyorsulást az s' és K ugyanolyan arányban, mint k'. A tehetetlenségi erő F_i vektorának hatásvonala tehát T támadásponton megy át. Az F_i hatásvonala természetesen ugyanaz, ha B pontot választjuk szabadon és a szerkesztést értelemszerűen innen indulva végezzük el (l. T' pont szerkesztését). F_i a megállapított helyen támadva, a tehetetlenségi erők súlypontra kifejtett nyomatékait is magába foglalja.

Az 1. ábra a mechanizmus általános mozgású tagjára vonatkozik. Vannak a mechanizmusnak egyszerűbb mozgást végző tagjai :

1. Ha a tag egyenesvonalú mozgást végez, akkor nem kell a tömeget redukálni, az $F_i = -ma_S$ tehetetlenségi erő a mozgó tömeg súlypontjában hat és $M_i = 0$, mert a tag nem végez forgást.

2. Ha a tag súlypontja körül fordul el, akkor $F_i = 0$, mert a súlypont egy helyben van és $M_i = -J_S \varepsilon$.

3. Ha a tag álló tengely körül forog és a forgástengely nem esik egybe a súlyponttal, akkor az 1. ábra szerkesztését az új helyzetnek megfelelően ($a_A = 0$) alkalmazva, az F_i támadó pontja éppen K pontba esik.

Ha az 1. ábrán a tag mozgását úgy tekintjük, hogy az S súlypont A-val együtt haladó-, majd S körül forgó-mozgást végez, úgy az 1. és 3. pont alapján az $\mathbf{F}_i$ egyik összetevője az A pont gyorsulásával azonos irányú, S-en átmenő erő, míg a másik összetevője az a_{KS} gyorsulás irányával azonos, amely K ponton megy át (l. T'' pont szerkesztését).

Mielőtt a mechanizmusok elemi csoportjainak dinamikai vizsgálatát tárgyalnók, a következőkre kell figyelemmel lenni :

a) A sztatikai határozottság feltétele megegyezik a mechanizmus szabadságfokával. Ha tehát a mechanizmusról olyan csoportot választunk le, amelynek zérus a szabadságfoka, az egyúttal sztatikailag határozott.

b) A kinematikai párok kötöttségei megegyeznek az egyensúlyi feltételek számával. A síkban mozgó egyszerű mechanizmusok forgó csapjai vagy csúszó kötései másodosztályúak, két kötöttséggel rendelkeznek, tehát két egyensúlyi feltétel kell számukra.

c) A forgó csapnál az ismeretlen kapcsoló erő keresésekor célszerű rúd- és rá merőleges irányú összetevőt meghatározni, mivel a keresett kapcsolóerő hatásvonala a súrlódó ellenállás elhanyagolásakor biztosan keresztülhalad a csap mértani középpontján.

d) A haladó mozgást végző kinematikai pároknál a kapcsoló-erő a súrlódó ellenállás elhanyagolásakor biztosan merőleges a viszonylagos elmozdulás irányára, hatásvonalának helye azonban csak a nyomatékok egyensúlyából határozható meg.

e) A mechanizmus kinetosztatikai vizsgálatát mindig a vezetett tagot magába foglaló csoporton kezdjük el, amelyen tehát a terhelő erő vagy nyomaték hat, és a további sorrendet a kinematikai vizsgálatokhoz is szükséges leválasztási sorrend dönti el.

II.

A 2. ábracsoport első sorában az elemi csoportok különböző változatai láthatók :

a) Mindhárom kinematikai pár forgó mozgást végez ;

b) A belső kinematikai pár haladó mozgást végez, a két külső pedig forgó mozgást ;

c) Az egyik külső kinematikai pár haladó mozgást, míg a másik külső és belső forgó mozgást végez ;

d) Az egyik külső kinematikai pár forgó mozgást, míg a másik külső és belső haladó mozgást végez ;

e) A belső kinematikai pár forgó mozgást végez, a két külső pedig haladó mozgást.

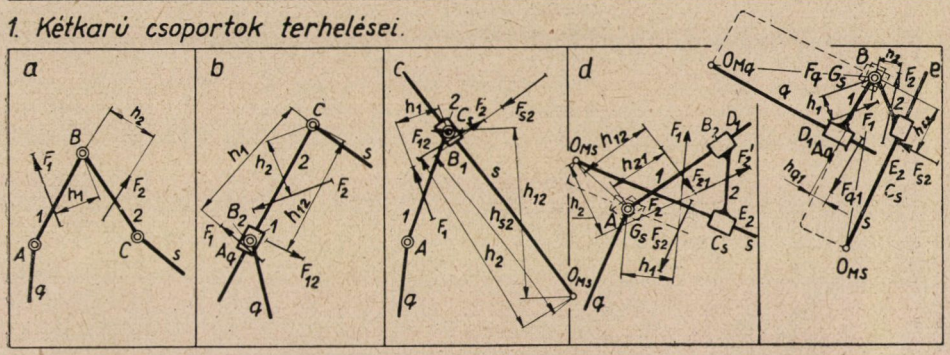
A 2. ábracsoportban F_1 és F_2 külső erők feltételezésével a kapcsolóerők meghatározása látható szerkesztéssel.

A 2/a ábrán látható mechanizmus külső kinematikai párjaiban keletkező támasztó erőket rúdirányú- és rudakra merőleges összetevőikkel helyettesítjük. A szerkesztés sorrendje ezután a következő : *

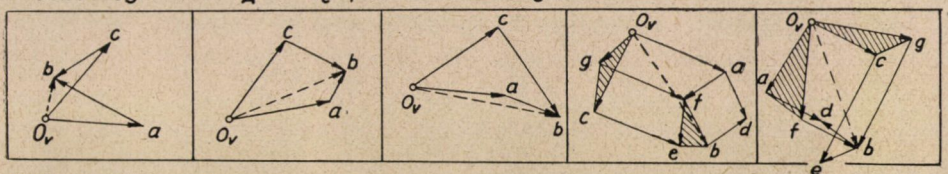
* A kinematikai párokban keletkező kapcsoló (támasztó reakció) erők indexeit úgy jelöljük, hogy első helyre annak a tagnak jelét helyezzük, amelynek hatását a vizsgált tagra keressük, és amely vizsgált tag jele az index második helyén látható. Pl. (F_{q1})t jel a következőket jelenti : a q jelű tag érintő irányú erőhatását az 1-jelű tagra. Az érintő iránya a vizsgált esetben az 1-jelű tagra merőleges.

Kétkarú csoportok általános dinamikai vizsgálata.

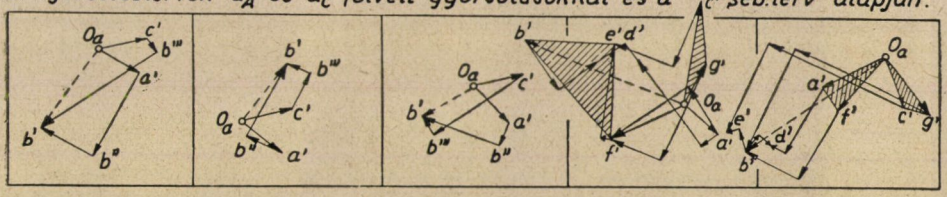
1. Kétkarú csoportok terhelései.



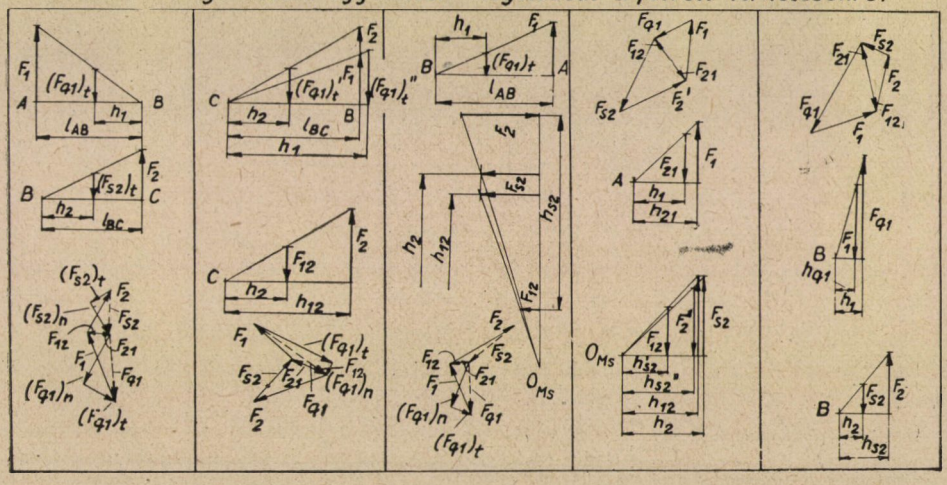
2. Sebességtervek v_A és v_C felvett sebességekkel.



3. Gyorsulástervek a_A és a_C felvett gyorsulásokkal és a c' seb.terv alapján.



4. Erőtervek és nyomatéki egyenletek megoldásai a felvett terhelésekre.



2. ábracsoport. Kétkarú csoportok kinematikai párjaiban fellépő támasztó (reakció) erők meghatározása szerkesztő módszerrel adott külső erők esetén

1. Az 1-jelű tag B pontjára vett nyomatékok összege zérus, tehát

$$h_1 F_1 + l_{AB} (F_{q1})_t = 0 , \tag{6}$$

amelyből $(F_{q1})_t$ az ábrán látható és az ismert *emelőtörvényt felhasználó szerkesztéssel* meghatározható.

2. A 2-jelű tag nyomatéki egyenletéből

$$h_2 F_2 + l_{BC} (F_{s2})_t = 0 \tag{7}$$

$(F_{s2})_t$ szerkeszthető meg hasonló módon.

3. Mivel a vizsgált elemi csoport sztatikailag határozott, az összes erőknek egyensúlyban levő erőrendszert, azaz zárt vektor-sokszöget kell alkotniuk. Az elemi csoportra ható erők vektor-egyenlete :

$$(\mathbf{F}_{q1})_t + (\mathbf{F}_{q1})_n + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_{21} + \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_2 + (\mathbf{F}_{s2})_t + (\mathbf{F}_{s2})_n = 0 . \tag{8}$$

A zárt vektorsokszög rajzolásakor $|F_{21}| = |F_{12}|$ miatt, e két abszolút értékre és irányra nézve azonos, de értelemre nézve ellentétes ismeretlen kapcsoló erő kiesik és az egyenlet két ismeretlene : $(F_{q1})_n$ és $(F_{s2})_n$ meghatározható, mert irányuk ismert.

Miután az 1- és 2-jelű tagra ható erőknek külön-külön is egyensúlyban kell lenniük :

$$\mathbf{F}_{q1} + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_{21} = 0 \quad \text{és} \quad \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_{s2} = 0 \tag{9}$$

és a már megrajzolt erő-sokszögbe $F_{21} = -F_{12}$ is berajzolható. Az így adódó erő-sokszöget *erő-terv*nek nevezzük.

A 2/b ábrán látható feladat megoldásának sorrendje :

1. Az 1—2 jelű tagokból álló elemi csoportra ható erők nyomatékai C pontra :

$$l_{BC} (F_{q1})_t + h_1 F_1 + h_2 F_2 = 0 . \tag{10}$$

A (10) jelű egyenletből $(F_{q1})_t$ meghatározása szerkesztéssel történik.

2. a) Az 1-jelű tagra ható erők egyensúlyából

$$(\mathbf{F}_{q1})_t + (\mathbf{F}_{q1})_n + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_{21} = 0 \tag{11}$$

az erőterv egyik részének meghatározása megtörténhetik, mivel az ismeretlen $(\mathbf{F}_{q1})_t$ és $\mathbf{F}_{21}$ irányát ismerjük.

$$b) \qquad F_{12} = -F_{21} \quad \text{és} \quad \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_{s2} = 0 \tag{12}$$

alapján az erőterv befejezhető.

3. $\mathbf{F}_{12}$ erő h_{12} karjának meghatározása a már alkalmazott *emelőtörvény megfordítása* útján, *szerkesztéssel.*

A 2/c ábrán látható feladat megoldásának sorrendje :

1. Az elemi csoportra ható erők nyomatéka a B pontra és ebből $(F_{q1})_t$ meghatározása.

2. a) Az 1- és 2-jelű csoportra ható erők egyensúlya egyenletéből az erősokszög megrajzolása elvégezhető, mert

$$(\mathbf{F}_{q1})_t + (\mathbf{F}_{q1})_n + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_{s2} = 0 \qquad (13)$$

egyenletből $(\mathbf{F}_{q1})_n$ és $\mathbf{F}_{s2}$ irányait ismerjük.

b) Az erőterv kiegészítése $F_{21} = -F_{12}$-vel.

3. $\mathbf{F}_{s2}$ erő h_{s2} karjának szerkesztés útján történő meghatározása.

A 2/d ábrán látható feladat megoldásának sorrendje :

1. Az elemi csoportra ható erők erőtervének megrajzolása.

2. $\mathbf{F}_{21}$ erő h_{21} karjának szerkesztése.

3. $\mathbf{F}_{s2}$ erő h_{s2} karjának szerkesztése. Mivel h_{s2} erő-kart két ismert nyomaték befolyásolja, a szerkesztésben külön-külön kell megnézni egy-egy nyomaték hatását (h'_{s2} és h''_{s2}), majd a kapott részeredményeket a nyomatékok értelme szerint összegezni.

A 2/e ábrán látható feladat megoldásának sorrendje :

1. Az elemi csoportra ható erők erőtervének megszerkesztése. A feladat egyszerű, mert ismerjük mindkét külső kinematikai párban fellépő támasztóerőnek irányát.

2. $\mathbf{F}_{q1}$ erő h_{q1} karjának, majd

3. $\mathbf{F}_{s2}$ erő h_{s2} karjának meghatározása szerkesztéssel.

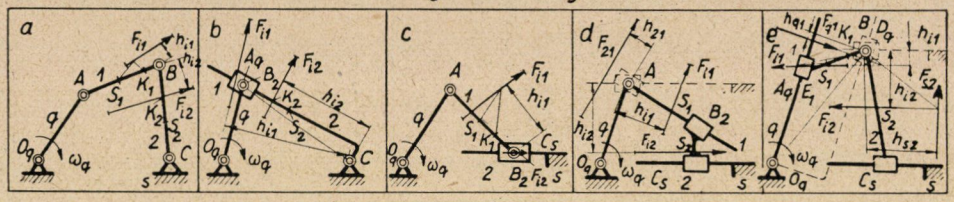
III.

A bevezető részek ismertetése után rá lehet térni síkban mozgó, egy szabadsági fokkal rendelkező egyszerű mechanizmusok vizsgálatára (l. 3. ábra-csoportot). E vizsgálatoknál a feltétel az, hogy a mechanizmus tagjainak mértani kialakítása ismert, s ennek alapján szerkesztő eljárásokkal ismertek a súlypontok és e súlypontokra vonatkozó tehetetlenségi nyomatékok értékei, továbbá az anyag kiválasztásával a tömegek nagysága. E feltételezés megengedi, hogy a vonalasan jelölt tagokon megjelöljük a súlypont (S) és a lengéscentrum (K) helyét. További egyszerűsítést jelent, hogy a kezdőtag tömegeit egyensúlyozva képzeljük el, azaz S_q mindenütt egybeesik O_q-val. Az egyszerűség kedvéért a vizsgálatot *üresjárás*ra végeztük el.

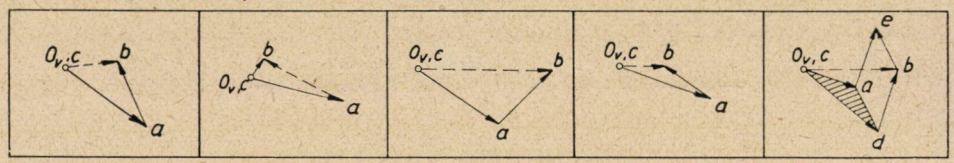
A 3/a ábra oszlopában először a négycsuklós mechanizmus tetszőleges helyzetben megrajzolt vázlata (megjelölve az elemi csoport tagjain a súly-

Egy kezdőtaghoz kapcsolt kétkarú csoportok dinamikai vizsgálata.

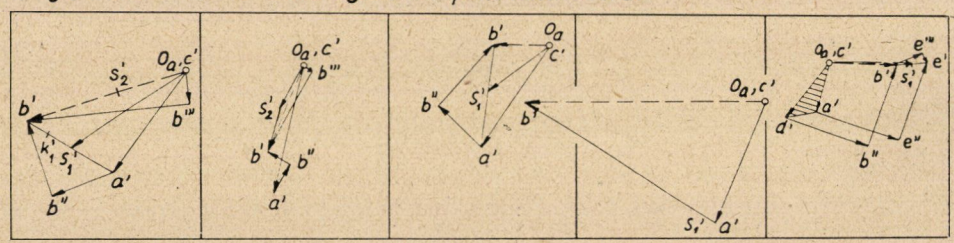
1. A mechanizmusok a tehetetlenségi erők helyének szerkesztésével.



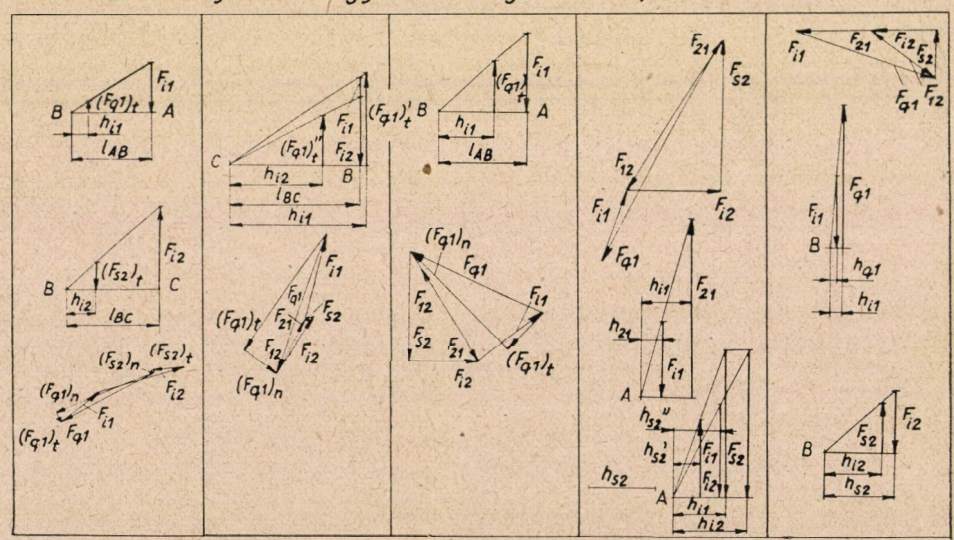
2. Sebességtervek v_A = constans felvételével.



3. Gyorsulástervek a sebességtervek felhasználásával.



4. Erőtervek és nyomatéki egyenletek megoldásai a felvett terhelésekre.



3. ábracsoport. Egy kezdőtaghoz kapcsolt kétkarú csoportok sebesség- és gyorsulástervei, továbbá erőtervei. Az erőtervek meghatározása szerkesztő módszerrel történt

pontok S_1 és S_2 jelű és a lengésközéppontok K_1 és K_2 jelű helyét), a második sorban a sebességterv, és a harmadik sorban pedig a gyorsulásterv látható.

A mechanizmus vázlatán az 1-jelű tagon láthatók annak a segédszerkesztésnek vonalai, amelyekkel az F_{i1} hatásvonalát meghatároztuk az (5) jelű összefüggés értelem szerint történt alkalmazásával. Az F_{i2} támadási helye éppen K_2-n megy át. $F_{iq} = 0$, mert S_q egybeesik O_q-val és $M_{iq} = 0$, mert $\omega_q = \text{constans}$, azaz $\varepsilon_q = 0$.

A gyorsulásterven jól megfigyelhető, hogy s_1' és k_1', továbbá s_2' valóban éppen olyan arányban osztja az $\overline{a'b'}$ és $\overline{b'c'}$ egyenest, mint S_1 és K_1, továbbá S_2 az AB és $\overline{BC}$ egyenest.

A gyorsulástervek $\overline{S_1'O_a}$ és $\overline{S_2'O_a}$ hosszúságai a gyorsulás-lépték figyelembevételével az 1-, és 2-jelű tag súlypontjainak gyorsulásait adják, majd pedig a tömegek ismeretében

$$F_{i1} = -m_1 a_{S1} \quad \text{és} \quad F_{i2} = -m_2 a_{S2}$$

számítással a keletkező tehetetlenségi erők nagyságai és iránya határozható meg.

A tehetetlenségi erők meghatározása és felrajzolása után a feladat visszavezethető nagyjából a 2/a ábrán már megoldott feladatra. Csak annyi a különbség, hogy a q jelű kezdőtagnak határozott a mozgása, az s-jelű tag pedig álló tag.

A feladat megoldását a 2/a ábrán ismertetett szerkesztő eljáráshoz hasonlóan a 3/a ábra negyedik sora mutatja. Az erőterv tehát további magyarázat nélkül áttekinthető.

A 3/b ábrán külön problémát okoz az 1-jelű tag dinamikai vizsgálata. Az 1-jelű tag súlypontja ugyanis A_q-val egybeesik. Ez azt jelenti, hogy súlypont körül forgó tag vizsgálatáról van szó, amelyre a fentiek szerint csak $M_{i1} = -J_1 \varepsilon_1$ nyomaték hat. Amikor tehát az 1-jelű tagra ható F_{i1} tehetetlenségi erőt keressük, akkor először a gyorsulástervből le kell olvasni az 1-jelű tag szöggyorsulását [$\varepsilon_1 = (a_{BC})_t / l_{BC}$], majd ki kell számítani M_{i1}-et, amely nyomaték azután tetszőleges helyre redukált erővel helyettesíthető $M_{i1} = h_{i1} F_{i1}$ alapján. A legtöbb esetben a kulisszakő kis tömege elhanyagolhatóan kis tehetetlenségi nyomatékot ad, úgyhogy M_{i1} hatását nem veszik figyelembe.

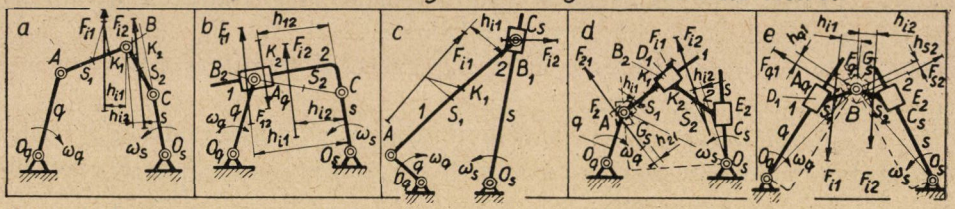
A 3. ábracsoport b)—e) oszlopaiban felrajzolt mechanizmus változatok dinamikai vizsgálatai a fentiek alapján követhetők.

A 4. ábracsoportban példaként olyan síkban mozgó mechanizmusok dinamikai vizsgálata látható, amelyeknél a különböző elemi csoportok két kezdőtaghoz kapcsolódnak.

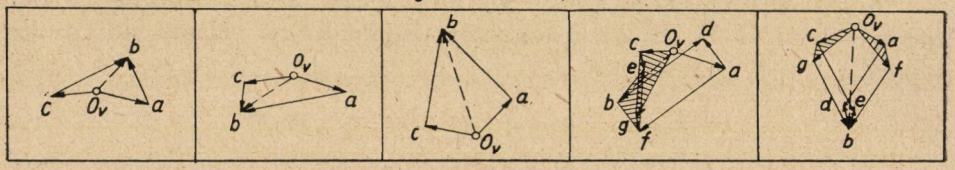
Mivel az egy szabadságfokkal rendelkező mechanizmusok kezdőtagjainak A-val jelölt csuklópontjában meghatároztuk az $F_{q1} = -F_{1q}$ támasztó erőket (a két szabadságfokkal rendelkezőknél pedig még a C pontban az $F_{s2} = -F_{2s}$ támasztó erőket), ezzel megkaptuk tulajdonképpen azt a nyomaté-

Két kezdőtaghoz kapcsolt kétkarú csoportok dinamikai vizsgálata.

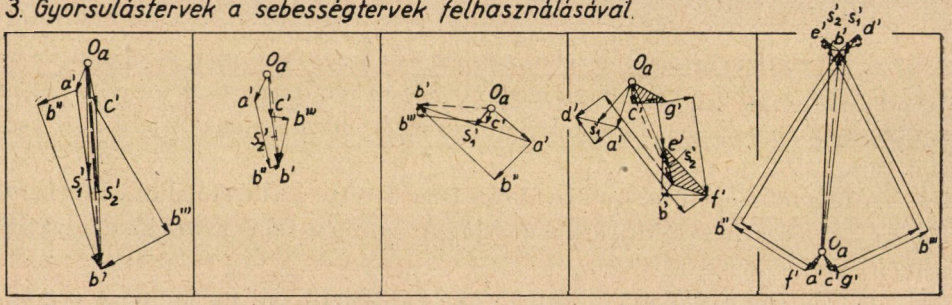
1. A mechanizmusok a tehetetlenségi erők helyének szerkesztéseivel.



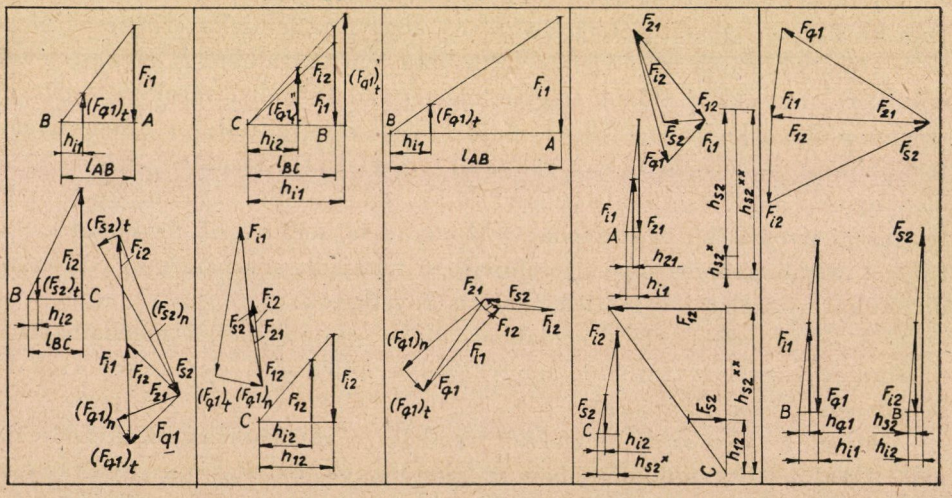
2. Sebességtervek v_A = constans és v_C = constans felvétellel



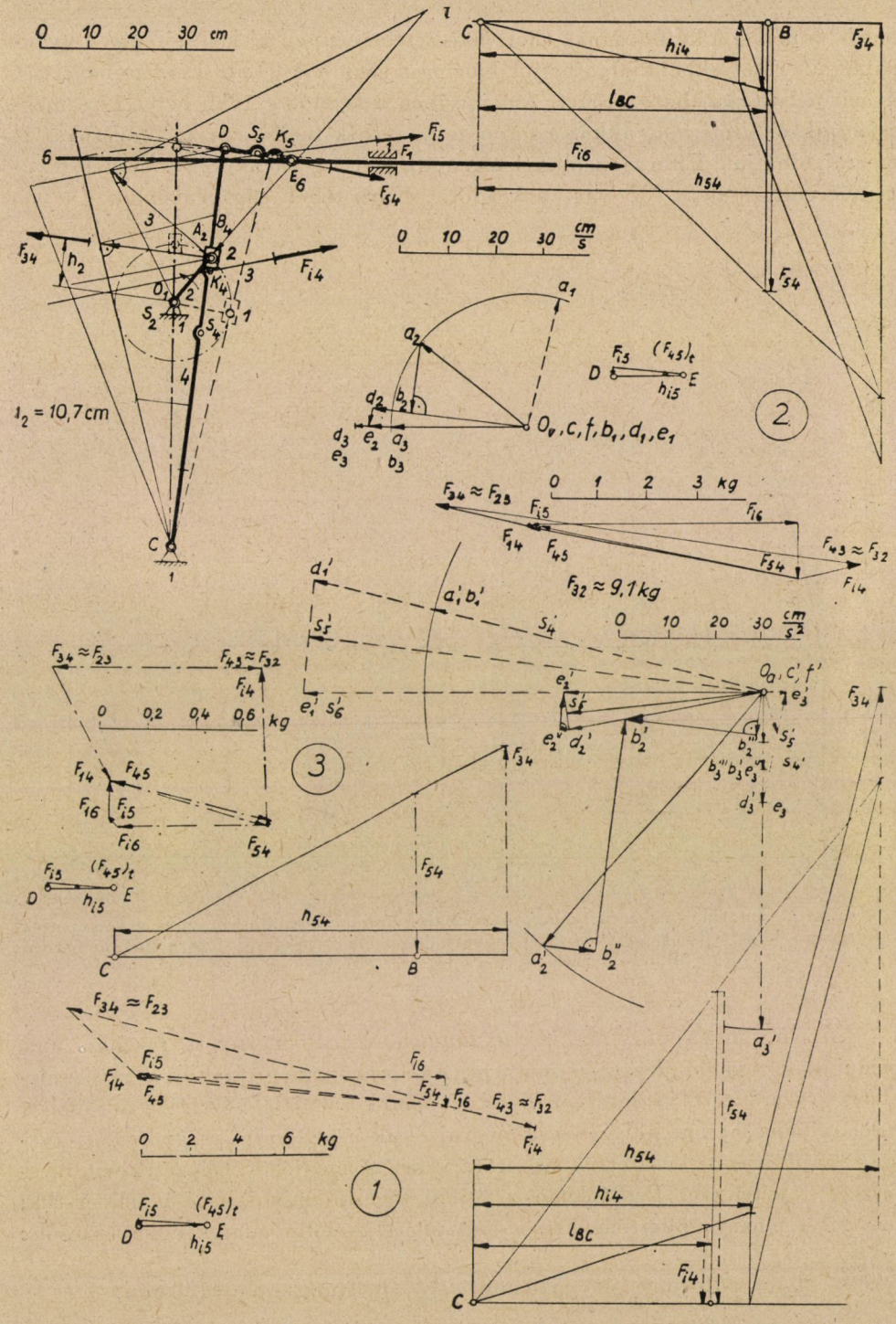
3. Gyorsulástervek a sebességtervek felhasználásával



4. Erőtervek és nyomatéki egyenletek megoldásai a felvett terhelésekre

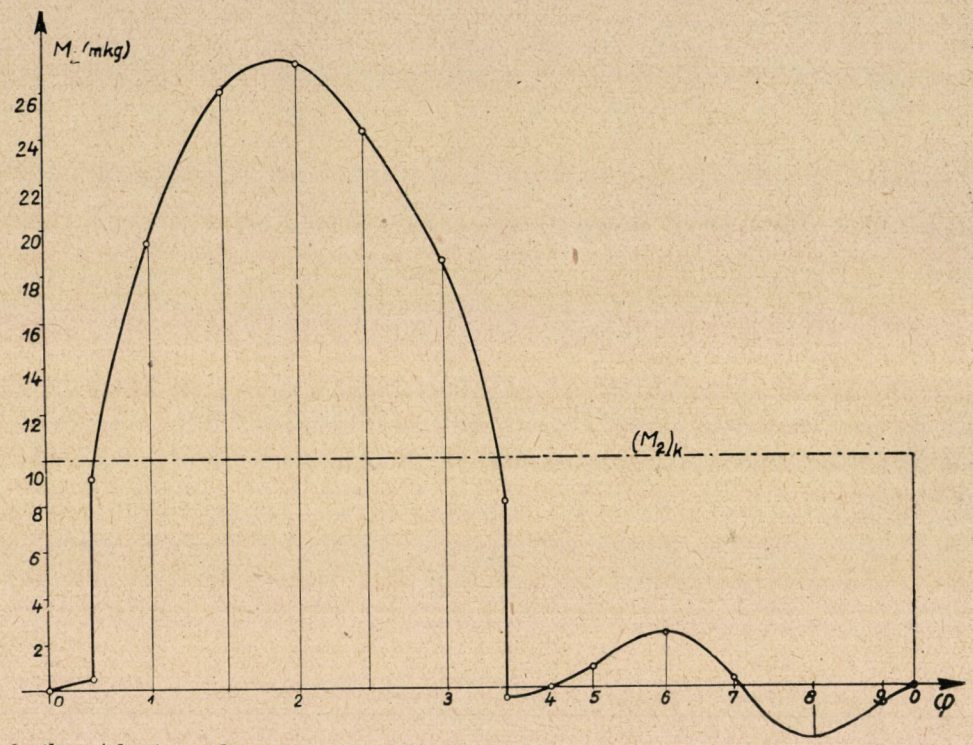


4. ábracsoport. Két kezdőtaghoz kapcsolt kétkarú csoportok sebesség- és gyorsulástervei, továbbá erőtervei. Az erőtervek meghatározása szerkesztő módszerrel történt



5. ábracsoport. Harántgyalu szerszámát mozgató mechanizmusának sebesség- és gyorsulásterve, továbbá erőterve a forgattyúsugár több helyzetében, üresjárás esetén, az erőtervek szerkesztéséhez szükséges segédszerkesztésekkel együtt

kot is, amelyet a kezdőtagnak adott helyzetében éppen ki kell fejtenie. Ugyanakkor az erőtervekből kiolvashatjuk bármely csukló vagy kulissza igénybevételét és bármely tagra ható erőket. Amennyiben a kezdőtag több helyzetére megrajzoljuk az erőtervet, akkor a foronómiai görbék mellé az erőváltozásokat is megrajzolhatjuk. Ehhez azonban ismernünk kell a terhelő erő és terhelő nyomaték változását az idő vagy a kezdőtag helyzetének függvényében.



6. ábra. A harántgyalu szerszámát mozgató mechanizmusának kezdőtagján szükséges nyomaték változása a forgattyúszög függvényében, a súrlódások elhanyagolásával és a lassúmenetben állandó terhelő (forgácsoló) erő feltételezésével

Az 5. ábracsoport az *idézett tanulmányban* ismertetett mechanizmus példájának továbbfejlesztését mutatja. Az ábrában megrajzoltuk a mechanizmus egyszerűsített vázlatát az S és K pontok megjelölésével. Az ábrában a mechanizmus három helyzetében megrajzoltuk a sebesség- és gyorsulásterveket, majd megszerkesztettük az erőterveket a megjelölt helyzetekben üresjáratot feltételezve. Példánkban a 3-jelű tag dinamikai hatását elhagytuk, mert J_{S3} elhanyagolhatóan kis értéket adott. A főbb adatok a következők:

$$l_{CF} = 810 \text{ mm},\ l_{CO} = 510 \text{ mm},\ l_{CD} = 840 \text{ mm},\ l_{DE} = 130 \text{ mm},$$

$$= r_2 = 120 \text{ mm},\ l_{CS4} = 447 \text{ mm},\ l_{CK4} = 587 \text{ mm},\ l_{DS5} = 65 \text{ mm},$$

$$l_{DK5} = 116{,}8\,\text{mm},\ n_2 = 23/\text{min.},\ G_3 \approx 0\,\text{kg},\ G_4 = 58{,}5\,\text{kg},$$
$$G_5 = 3{,}76\,\text{kg},\ G_6 = 125\,\text{kg}.$$

A gyorsulástervből leolvasható gyorsulások segítségével $F_i = ma_S$ alapján a következő tehetetlenségi erők számíthatók ki kg-ban:

	1-eset	2-eset	3-eset
F_{i4}	3,10	1,37	0,66
F_{i5}	0,38	0,16	0,04
F_{i6}	12,60	5,35	0,63

Az 5. ábracsoport 2-jelű részében tetszőleges helyzetre szerkesztettük meg a sebesség-, a gyorsulás- és az erőtervet a szükséges segédszerkesztésekkel együtt. Az ábra 1-jelű részében a lengőkar egyik holtponti-, a 3-jelű részében a lengőkar középhelyzetében láthatók a dinamikai vizsgálathoz szükséges ábrák. Mindhárom dinamikai vizsgálat üresjárásra vonatkozik.

A kezdőtag több helyzetében megszerkesztett erőtervek birtokában a 6. ábrában megrajzoltuk a kezdőtagon szükséges *nyomaték* változását a φ forgattyúszög függvényében, a súrlódások elhanyagolásával és lassú menetben állandó terhelő (forgácsoló) erő feltételezésével.

IV.

A következőkben megvizsgáljuk, hogy forgó és haladó mozgást végző kinematikai párokban mekkora súrlódó ellenállás keletkezik.

A 7. ábrán a forgó mozgást végző kinematikai pár (csukló vagy csap és csapágy) vázlata látható. A támasztó erő F_{12} lemérhető az erőtervekből, az ω_{21} iránya pedig a sebességtervből állapítható meg. Az érintkezés helyén mutatkozó súrlódó ellenállás a támasztó erő irányát ϱ szöggel elhajlítja. Az ábra jelöléseivel a következő egyenlet írható fel:

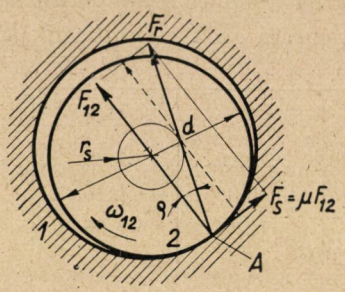
$$M = \frac{d}{2}\mu F_{12} = r_S F_r\ , \tag{14}$$

mivel pedig $F_r \approx F_{12}$,

$$r_S \approx \frac{d}{2}\mu. \tag{15}$$

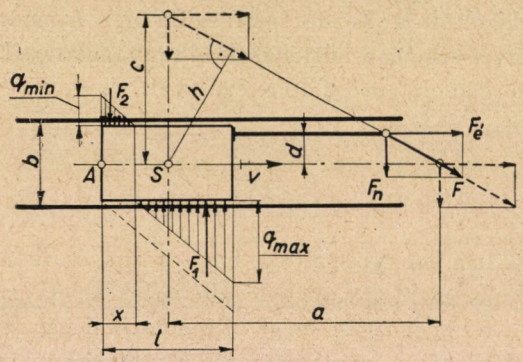
Ha tehát az erőtervek szerkesztésénél a súrlódások hatását is figyelembe akarjuk venni, akkor a csuklókban keletkező erőket nem a csukló mértani

középpontján átmenően rajzoljuk meg, hanem a kiszámított, r_S sugarú ún. *súrlódási körhöz* érintőlegesen azon az oldalon, amelyen a szögsebesség értelmével ellentétes nyomatékot ad (l. az ábrán a szaggatott F_{12} erő felrajzolását).



7. ábra. Forgó mozgást végző kinematikai pár (csukló vagy csap és csapágy) vázlata a súrlódó ellenállás vizsgálatára

A 8. ábrán haladó mozgást végző kinematikai pár vázlata látható. Mivel gyakran előfordul, hogy a támasztóerő nem az S súlypontba esik (pl. l. a 2. és 3. ábracsoportot), célszerű a legáltalánosabb esetet megvizsgálni. Tételezzük



8. ábra. Haladó mozgást végző kinematikai pár (kulissza vagy dugattyú stb.) vázlata a súrlódó ellenállás vizsgálatára

fel, hogy a csúszó tag és a vezeték között a hézag kicsi. Ekkor a gyakorlattal jó egyezést ad az a feltétel, hogy az erőhatásra keletkező támasztó erő lineáris megoszlású.

A legáltalánosabb terhelés az, amikor a súlypontban F_n erő és a csúszótagra $M = hF = aF_n$ nyomaték hat. Ilyen terheléskor a csúszótag vagy csak az egyik vezeték felületéhez nyomódik, vagy elfordul. Határesetben a lineáris megoszlású támasztóerők l alapú háromszöget alkotnak (l. a 8. ábrán a szaggatott vonalat). Az A pontjára felírható a nyomatékok egyensúlya

$$aF_n + \frac{l}{2} F_n - \frac{2}{3} l F_1 \pm \frac{b}{2} \mu F_1 = 0 , \qquad (16)$$

ahol

$$|F_n| = |F_1|,$$

tehát

$$\left(a - \frac{1}{6}l \pm \frac{1}{2}\mu b\right) F_n = 0. \tag{17}$$

Határesetben tehát

$$a = \frac{1}{6}l \mp \frac{1}{2}\mu b. \tag{18}$$

Ha $a < \frac{1}{6}l \mp \frac{1}{2}\mu b$, akkor $F_s = \mu F_n$, és ha $a > \frac{1}{6}l \mp \frac{1}{2}\mu b$, akkor az ábra jelöléseivel

$$F_s = \mu (F_1 + F_2) \qquad \text{és} \qquad F_n = F_1 - F_2.$$

Eme második esetben A pontra a nyomatékok egyensúlya a következő:

$$aF_n + \frac{l}{2}F_n + \frac{1}{3}xF_2 \mp \frac{b}{2}\mu F_2 - \frac{2l+x}{3}F_1 \pm \frac{b}{2}\mu F_1 = 0, \tag{19}$$

továbbá az ábra jelöléseivel

$$F_1 = \frac{q_{max}(l-x)}{2}, \qquad F_2 = \frac{q_{min}\,x}{2} \qquad \text{és} \qquad \frac{q_{max}}{q_{min}} = \frac{l-x}{x}.$$

Mivel

$$F_n = F_1 - F_2 = q_{max}\frac{l-x}{2} - q_{min}\frac{x}{2} = q_{max}\left[\frac{l-x}{2} - \frac{x^2}{2(l-x)}\right],$$

$$q_{max} = \frac{F_n}{l}\,\frac{2(l-x)}{l-2x} \qquad \text{és} \qquad q_{min} = \frac{F_n}{l}\,\frac{2x}{l-2x}. \tag{20}$$

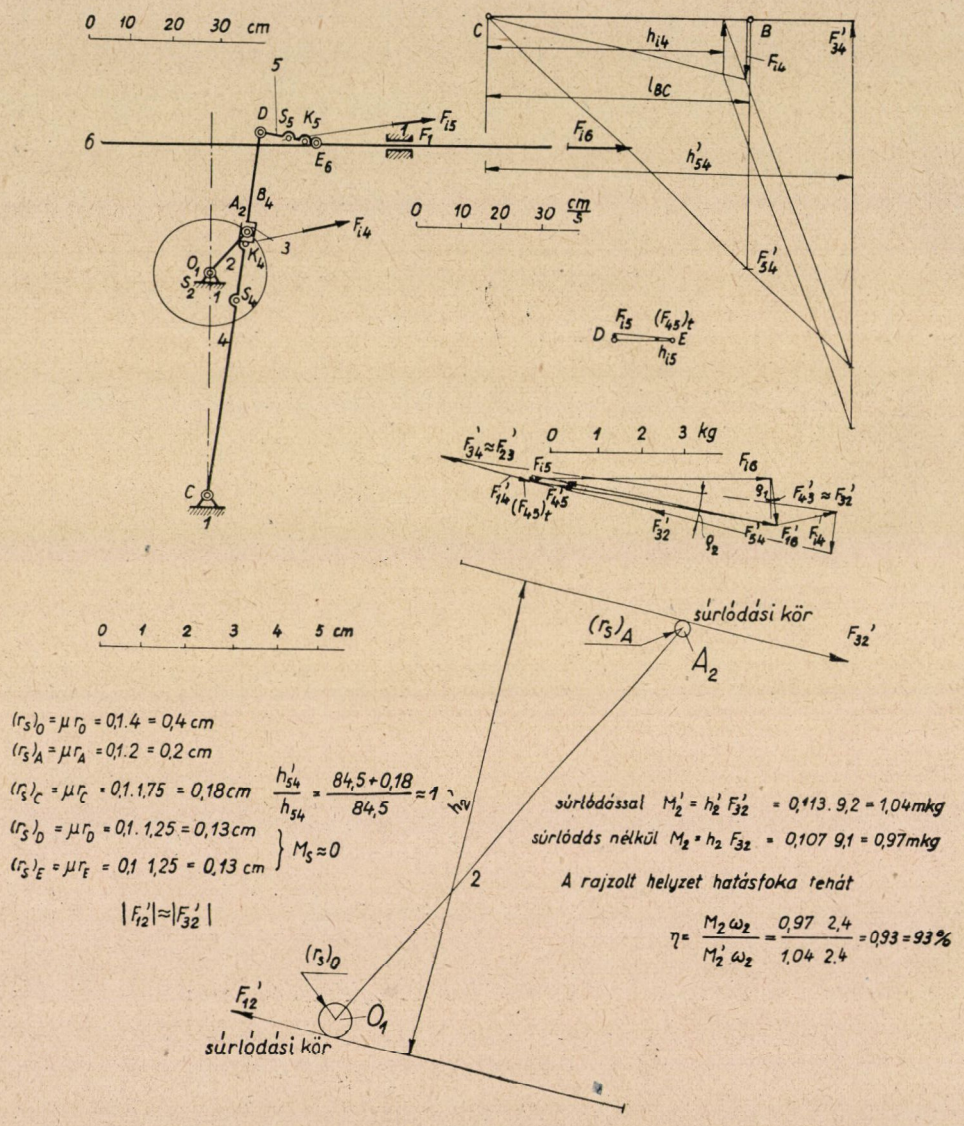
A (19) és (20) összefüggések összevonása után x kiszámítható:

$$x = \frac{l(6a \pm 3\mu b - l)}{6(2a \pm \mu b)} = \frac{l}{6}\,\frac{6 \pm 3\mu\frac{b}{a} - \frac{l}{a}}{2 \pm \mu\frac{b}{a}}. \tag{21}$$

A súrlódó erő pedig

$$F_s = \mu (F_1 + F_2) = \mu F_n \left[1 + \frac{2x^2}{l(l-2x)} \right]; \quad \frac{2x^2}{l(l-2x)} > 0$$

alapján nagyobb, mint akkor, ha a csúszó tag nem fordul el. Ez pedig azt jelenti,



9. ábra. Harántgyalu szerszámát mozgató mechanizmusának a 8. ábrabeli 2-jelű helyzetében megrajzolt erőterve a súrlódó ellenállások figyelembevételével. (A *C*, *D* és *E* jelű csuklókban ébredő súrlódó ellenállások elhanyagolhatók voltak)

hogy $\operatorname{tg} \varrho' = \mu \left[1 + \frac{2x^2}{l(l-2x)}\right]$-ből számítható $\varrho' > \varrho$ erőtervének súrlódási kúpszöget kell alkalmazni (l. 9. ábracsoport erőtervének szerkesztését).

V.

A 9. ábracsoportban az 5. ábracsoport 2-jelű erőtervét már a súrlódó ellenállások figyelembevételével rajzoltuk meg. A részletes vizsgálatok azt mutatták, hogy a *C*, *D* és *E* jelű csuklókban ébredő súrlódások elhanyagolhatók. A két erőterv által kapott F_{32} és F'_{32}, továbbá a szerkesztésből adódó h_2 és h'_2 segítségével a hatásfok értéke meghatározható az adott helyzetben ($\eta \approx 93\%$).

IRODALOM

Артоболевский, И. И.: Теория механизмов и машин. Москва, 1951.
Dyson, F.: Principles of Mechanism. London, 1951.
Кожевников, С. Н.: Теория механизмов и машин. Т. I. и II. Москва, 1949.
(Magyar fordítása: „Mechanizmusok és gépek elmélete" címen, Budapesten 1952-ben és 1953-ban jelent meg.)
Kraemer, O.: Getriebelehre. Karlsruhe, 1950.
Kraus, R.: Getriebelehre. Berlin, 1951.
Левенсон, В. В.: Теория механизмов и машин. Москва, 1948.

ÖSSZEFOGLALÁS

E tanulmány Terplán Z.: „Síkban mozgó egyszerű mechanizmusok kinematikai vizsgálata" c. tanulmányának (MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei XII. k. 1—4. sz.) folytatása. Célja az, hogy a műszaki gyakorlatban előforduló egyszerű mechanizmusok tagjaiban és kinematikai párjaiban keletkező erők egyensúlyát vizsgálja mozgás közben, az ún. *erőterv* megszerkesztésének módszerével, mégpedig először a súrlódás figyelembevétele nélkül, majd a súrlódás tekintetbevételével. Az idézett tanulmányban követett módszerhez hasonlóan, a dinamikai vizsgálat is kizárólag gyors *szerkesztő eljárásokat* alkalmaz. A tanulmány bevezető részeiben a legegyszerűbb elemi csoportokból szerkesztett mechanizmusok dinamikai vizsgálatát tárgyalja, majd konkrét példán mutatja a szerkesztő eljárás alkalmazását.

SÍKBAN MOZGÓ BONYOLULTABB MECHANIZMUSOK KINEMATIKAI ÉS DINAMIKAI VIZSGÁLATA

TERPLÁN ZÉNÓ

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA
NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM, GÉPELEMEK TANSZÉKE, MISKOLC

[Beérkezett 1955. június 9-én]

Vannak olyan síkban mozgó mechanizmusok, amelyek dinamikai vizsgálata nem végezhető olyan egyszerűen, mint azt két előző tanulmányban ismertettük.* Ezek olyan mechanizmusok, amelyeknél a mechanizmusról leválasztható csoportok (azaz a zérus szabadságfokú csoportok) négy- vagy többtagúak úgy, hogy a központi tagok három- vagy több szabad karral rendelkeznek. A következőkben az effajta mechanizmusok kinematikai, majd dinamikai vizsgálatát végezzük el *kizárólag szerkesztő eljárással.*

Az 1a ábrán olyan mechanizmus vázlata látható, amelynek kinematikai párjai két kötöttségi feltételt jelentő csuklók vagy kulisszák, míg F helyen egy kötöttségi feltételt jelentő kinematikai pár látható. Így a szabadságfok :

$$w = 3\,(n - 1) - 2\,p_2 - p_1 = 3\,(5 - 1) - 2{,}5 - 1 = 1\,,$$

ahol n a tagok száma, p_2 a két- és p_1 az egy kötöttségi feltétellel rendelkező kinematikai párok számát jelenti. Az E jelű kinematikai párra mozgástani szempontból nincsen szükség, beépítését kizárólag szilárdságtani okok indokolják.

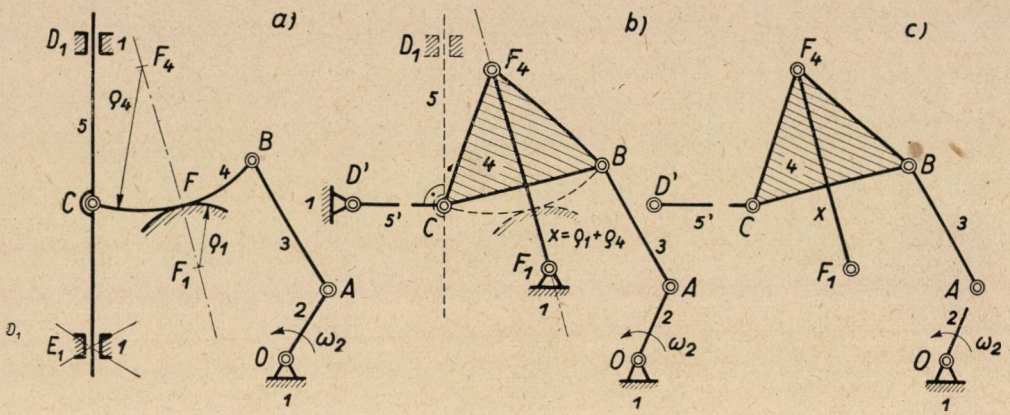
Az egy kötöttségi feltétellel rendelkező kinematikai párt helyettesíthetjük olyan forgó (vagy haladó) mozgást végző kinematikai párokkal rendelkező taggal, amelynek *egy* kötöttségi feltétele van, azaz egy a *negatív szabadságfoka.* Ezzel a feltevéssel :

$$w = -1 = 3\,n - 2\,p_2$$

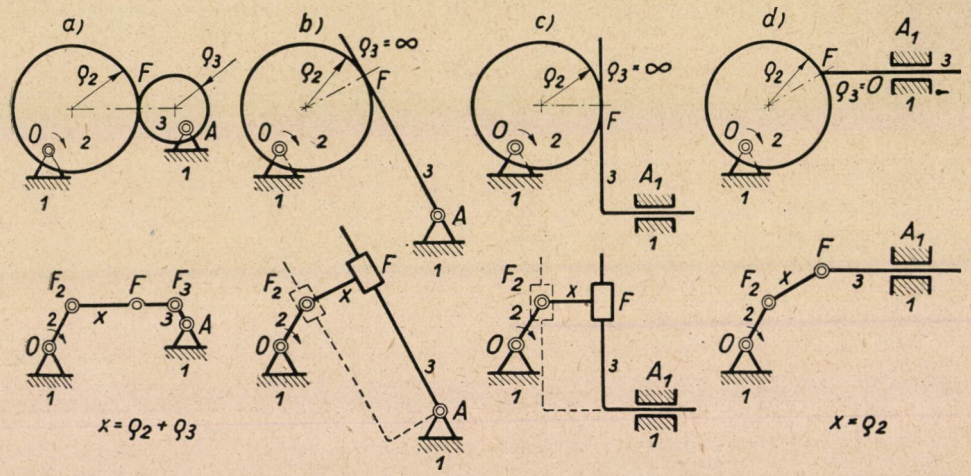
alapján kiszámíthatjuk a helyettesítő tagok és forgó (vagy haladó) mozgást végző kinematikai párok számát. A számításból a legegyszerűbb helyettesítésül $n = 1$ és $p_2 = 2$ adódik. A 2. ábra mutatja a különböző helyettesítések lehetőségeit.

* Lásd *Terplán* Z.: Síkban mozgó egyszerű mechanizmusok kinematikai vizsgálata (MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei XII. kötet 1—4. száma 1954. Budapest) ; *Terplán* Z. — *Drobni* J.: Síkban mozgó egyszerű mechanizmusok dinamikai vizsgálata (MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei XXI., kötet 115/131. l., 1957. Budapest)

A 2a ábra helyettesítését felhasználhatjuk az 1. ábrához. Az 1b ábra mutatja a bütykös érintkezés kiküszöbölését. Az ábrán még alkalmaztunk egy változtatást. A C jelű csukló mozgása végtelen hosszú és az 5-jelű tag eredeti mozgásirányára merőleges taggal is megvalósítható. A mechanizmusról



1. ábra. Bonyolultabb síkbeli mechanizmus vázlata (a), helyettesítő ábrája (b) és csoport leválasztása (c). (Az ábra dugattyús gőzgép szelepes vezérlését hajtó mechanizmusának vázlata)



2. ábra. Egy kötöttséggel rendelkező kinematikai párok helyettesítése forgó vagy haladó mozgást végző kinematikai párokkal (az új tag jele mindegyik esetben x). *a)* Két véges lekerekítési sugarú bütyök; *b)* bütyökkel érintkező lengőkar (a helyettesítő vázlat a kulissza áthelyezését is mutatja); *c)* bütyökkel érintő irányban érintkező vezetett tag; *d)* bütyökkel tűszerűen érintkező vezetett tag

leválasztható egyetlen csoport (l. 1c. ábrát) négytagú ($n = 4$), 6 csuklóval ($p_2 = 6$), egy középponti taggal és három karral

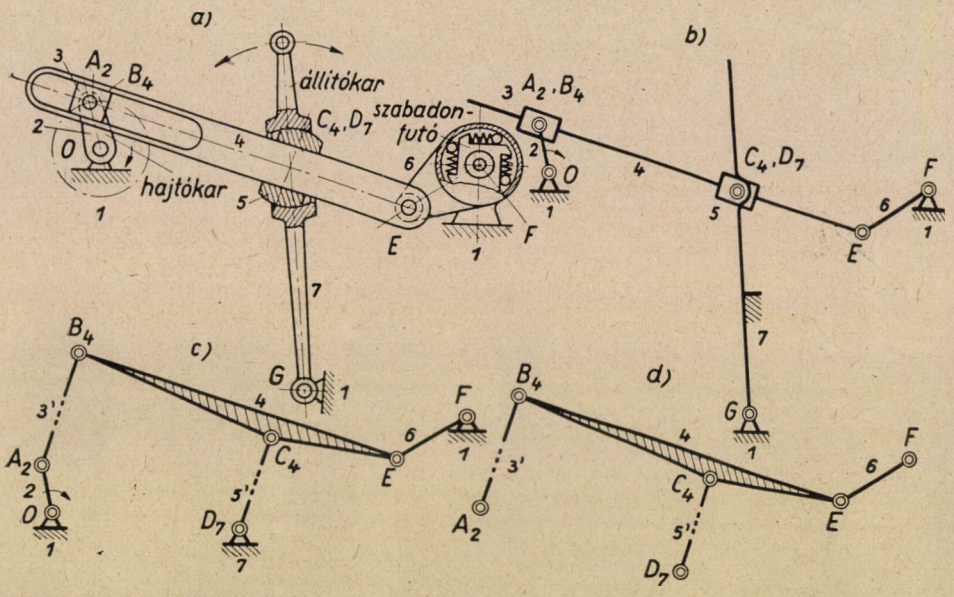
$$w = 3n - 2p_2 = 3.4 - 2.6 = 0$$

szabadságfokkal.

Hasonló eredményre jutunk a 3. ábrán látható fokozatnélküli fordulatszabályozó mechanizmusnál.* A mechanizmus szabadságfoka:

$$w = 3(n-1) - 2p_2 - p_1 = 3(7-1) - 2.8 - 0 = 2,$$

mivel $n = 7$, $p_2 = 8$ és $p_1 = 0$. A két szabadságfokból azonban egyet az állító-

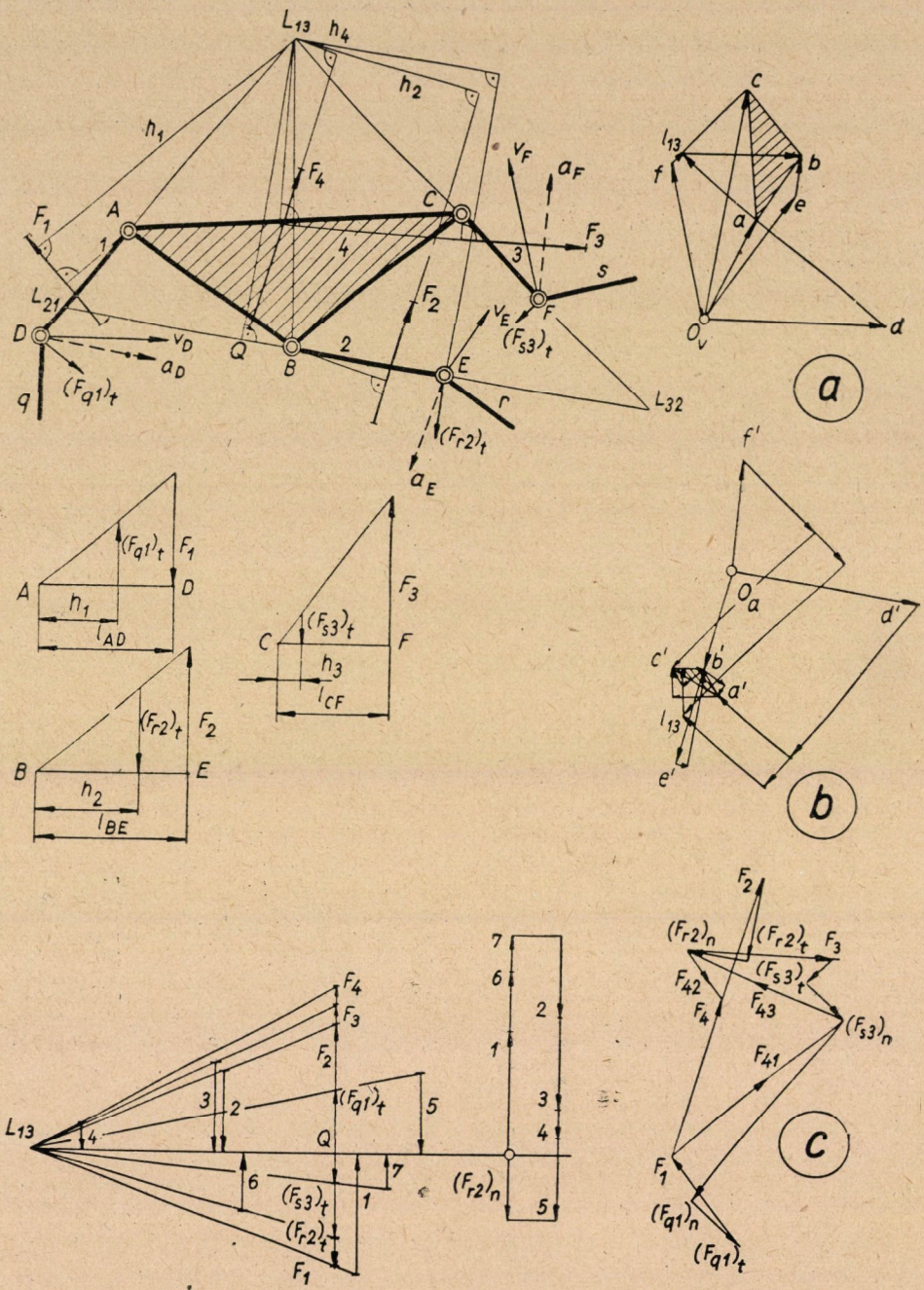


3. ábra. Fokozatnélküli fordulatszabályozó mechanizmusa (a), a mechanizmus vázlata (b), a helyettesítő ábrája (c) és csoport leválasztása (d)

kar foglal le, amely általában rögzített és amelyet csak a fordulatszám változtatásakor kell elmozdítani. A szabadonfutó csak az egyik irányú mozgást közvetíti. A 6-os jelű tag szakaszos mozgást végez. A leírás szerint a 6-os jelű vezetett tag fordulatszámának közel állandóvá tétele céljából három vagy több egybevágó mechanizmust kapcsolnak a hajtószerkezetbe.

A 3b ábra a mechanizmus vázlatát, a 3c ábra a helyettesítő vázlatot, míg a 3d ábra a leválasztott csoportot mutatja.

* A fordulatszabályozó leírását l. F. G. *Altmann:* Antriebselemente und mechanische Getriebe (Z. VDI 1953. 19. sz. 546. o.) cikkében.



4. ábra. Háromkarú központi tag sebesség-, gyorsulás- és erőtervének szerkesztése

1.

Az effajta, bonyolultabb síkban mozgó mechanizmusokat legcélszerűbb úgy vizsgálni, hogy a leválasztott legegyszerűbb csoport legáltalánosabb vizsgálatát végezzük el. Meg kell tehát állapítani a leválasztott csoport sebesség-, gyorsulás- és erőtervét. Az általános megoldások után térhetünk át példák kidolgozására.

A 4. ábrán a leválasztott legegyszerűbb csoportot láthatjuk új jelölésekkel. A szabad karok szabad csuklóiban a sebességek és gyorsulások adottak, ismeretesek továbbá a leválasztott csoportra ható erők. A sebesség-, gyorsulás- és erőtervet legkönnyebben úgy szerkeszthetjük meg, ha megkeressük a középponti tag L_{13}, L_{21} és L_{32} pontjait úgy, hogy a szabad karokat meghosszabbítva a metszéspontokat keressük. A szovjet irodalom e pontokat *Asszur*-pontoknak nevezi. A sebesség- és gyorsulásterv szerkesztése ezek után a következő:

1. Kiválasztva az egyik Asszur-pontot (pl. L_{13}-at), felírhatjuk ennek a pontnak sebességét, és gyorsulását:

$$\mathbf{v}_L = \mathbf{v}_D + \mathbf{v}_{LD}\,, \quad \mathbf{a}_L = \mathbf{a}_D + (\mathbf{a}_{LD})_n + (\mathbf{a}_{LD})_t\,, \quad (\mathbf{a}_{LD})_n = (\mathbf{a}_{AD})_n + (\mathbf{a}_{LA})_n,$$

$$\mathbf{v}_L = \mathbf{v}_F + \mathbf{v}_{LF}\,, \quad \mathbf{a}_L = \mathbf{a}_F + (\mathbf{a}_{LF})_n + (\mathbf{a}_{LF})_t\,, \quad (\mathbf{a}_{LF})_n = (\mathbf{a}_{LC})_n + (\mathbf{a}_{FC})_n,$$

Először a sebességterven (*a*-jelű ábra) az l_{13} pontot célszerű megszerkeszteni, utána v_{LD} és v_{LF} viszonylagos sebességek ismeretében $(a_{LD})_n$ és $(a_{LF})_n$ viszonylagos normálirányú gyorsulás összetevőket megállapítani. E két gyorsulás ismeretében a gyorsulásterven l'_{13} helye meghatározható.

2. l_{13} és l'_{13} pontok ismeretében

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_L + \mathbf{v}_{BL}\,, \qquad \mathbf{a}_B = \mathbf{a}_L + (\mathbf{a}_{BL})_n + (\mathbf{a}_{BL})_t\,,$$

$$\mathbf{v}_B = \mathbf{v}_E + \mathbf{v}_{BE}\,, \qquad \mathbf{a}_B = \mathbf{a}_E + (\mathbf{a}_{BE})_n + (\mathbf{a}_{BE})_t\,.$$

Az ismert módszerrel tehát b és b' pont is meghatározható a sebesség-, illetve gyorsulásterven.

3. b és b' ismeretében a, ill. a', továbbá c és c' a következő vektor-egyenletek segítségével szerkeszthető meg:

$$\mathbf{v}_A = \mathbf{v}_B + \mathbf{v}_{AB}\,, \qquad \mathbf{a}_A = \mathbf{a}_B + (\mathbf{a}_{AB})_n + (\mathbf{a}_{AB})_t\,,$$

$$\mathbf{v}_A = \mathbf{v}_D + \mathbf{v}_{AD}\,, \qquad \mathbf{a}_A = \mathbf{a}_D + (\mathbf{a}_{AD})_n + (\mathbf{a}_{AD})_t\,,$$

$$\mathbf{v}_C = \mathbf{v}_B + \mathbf{v}_{CB}\,, \qquad \mathbf{a}_C = \mathbf{a}_B + (\mathbf{a}_{CB})_n + (\mathbf{a}_{CB})_t\,,$$

$$\mathbf{v}_C = \mathbf{v}_F + \mathbf{v}_{CF}\,, \qquad \mathbf{a}_C = \mathbf{a}_F + (\mathbf{a}_{CF})_n + (\mathbf{a}_{CF})_t\,.$$

Jó ellenőrzést nyújt, hogy $abc\triangle$ és $a'b'c'\triangle$ hasonló $ABC\triangle$-höz.

Tegyük fel, hogy az adott erők már a tehetetlenségi erőket is tartalmazzák. Az erőtervet a következőképpen szerkeszthetjük meg:

4. Nyomatékegyensúlyból $(F_{q1})_t$, $(F_{r2})_t$ és $(F_{s3})_t$ meghatározása:

$$(F_{q1})_t = -\frac{h_1 F_1}{l_1}\,; \quad (F_{r2})_t = \frac{h_2 F_2}{l_2}\,; \quad (F_{s3})_t = \frac{h_3 F_3}{l_3}\,;$$

(l. a 4. ábra megfelelő szerkesztéseit).

5. A szabad csuklók egyikében keletkező rúdirányú, vagyis normálirányú erőt az L_{13} Asszur-pontra felírt nyomatéki egyenletből határozhatjuk meg:

$$(F_{r2})_n = -\frac{M_{L13}}{h_{r2}}\,,$$

(l. a 4. ábra megfelelő szerkesztését, amelynél minden nyomaték hatását külön vizsgáltuk és $(F_{r2})_n$-et helyes összegezéssel kaptuk).

6. A következő vektor-egyenletből

$$(\mathbf{F}_{q1})_n + (\mathbf{F}_{q1})_t + \mathbf{F}_1 + (\mathbf{F}_{r2})_n + (\mathbf{F}_{r2})_t + \mathbf{F}_2 + (\mathbf{F}_{s3})_n + (\mathbf{F}_{s3})_t + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_4 = 0$$

az ismeretlen nagyságrendű, de ismert irányú $(F_{q1})_n$ és $(F_{s3})_n$ megszerkeszthető (l. a 4. ábra *c)* erőtervét).

7. Az *A*, *B* és *C* csuklók támasztó erői az erőtervből leolvashatók az 1, 2 és 3 jelű tagokra felírható következő vektor-egyenletek alapján:

$$\mathbf{F}_{q1} + \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_{41} = 0\,,$$

$$\mathbf{F}_{r2} + \mathbf{F}_2 + \mathbf{F}_{42} = 0\,,$$

$$\mathbf{F}_{s3} + \mathbf{F}_3 + \mathbf{F}_{43} = 0\,.$$

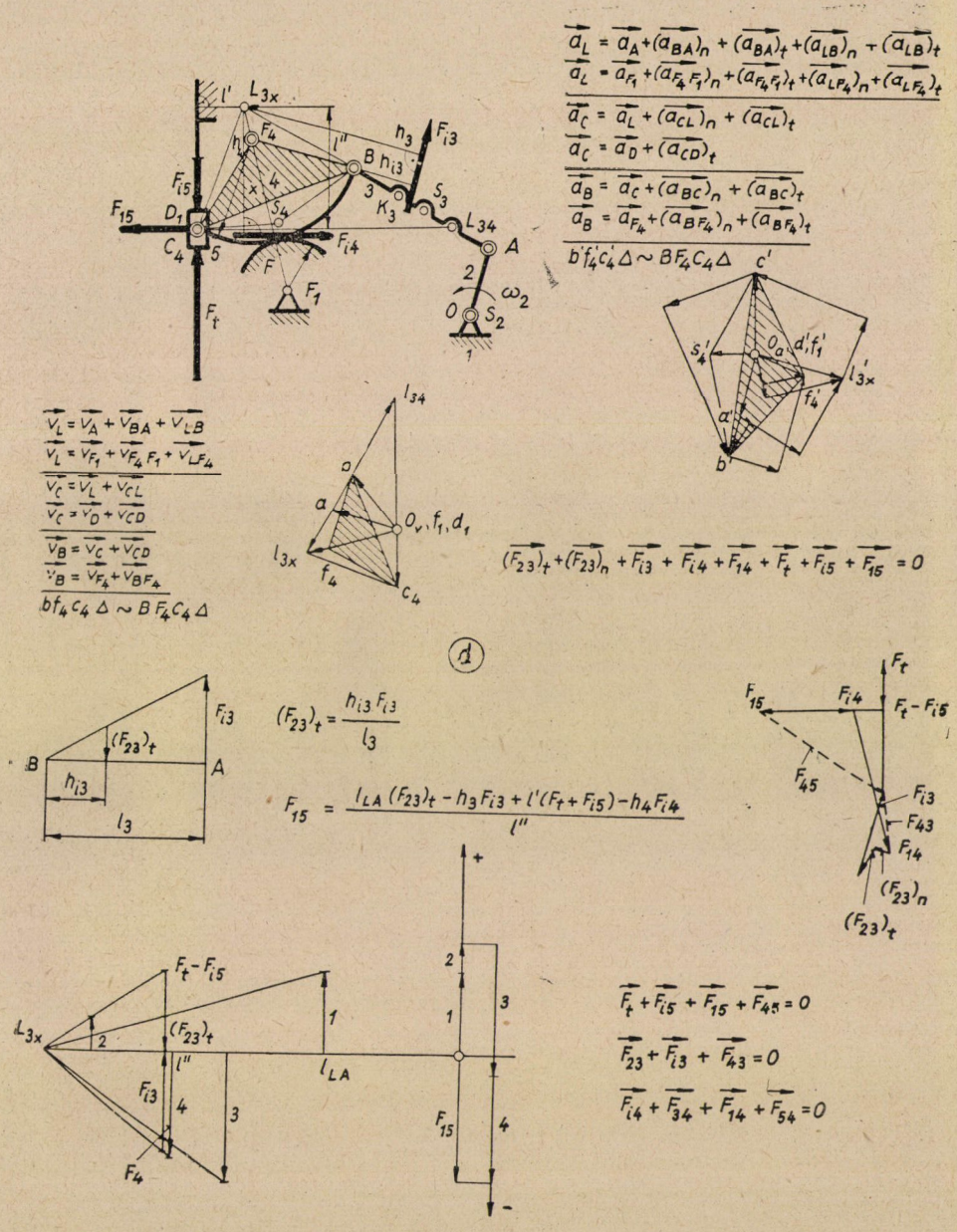
Ezzel a leválasztott csoport teljes vizsgálatát elvégeztük egy adott helyzetben.

II.

Ha az ismertetett módszert az 1. és 3. ábrán bemutatott mechanizmusokra alkalmazni kívánjuk, akkor különbséget csupán az a tény okoz, hogy egy szabadságfokú mechanizmus lévén, a leválasztott csoport két szabad kinematikai párjának sebessége és gyorsulása zérus, továbbá az, hogy a középponti taghoz kapcsolódó tagok helyenként kulisszák.

Az 5. ábrán az 1. ábrán látható mechanizmus sebesség-, gyorsulás- és erőtervét szerkesztettük meg adott helyzetben példaként. A szerkesztés rész-

letes magyarázatot nem kíván, mivel az ismertetett és idézett módszer szerint jártunk el. Segítségül felírtuk a szükséges vektor-egyenleteket. (A leválasztott csoport erőegyensúlyának megállapításakor már nem a helyettesítő vázlatot kell figyelembe venni, l. F_{14} erő irányát.)



5. ábra. Az 1. ábrán látható mechanizmus sebesség-, gyorsulás- és erőterve a forgattyúkar adott helyzetében

A 6. ábrán a 3. ábrán látható mechanizmus sebességterveit szerkesztettük meg a 7-jelű állítókar négy helyzetében. A 6-jelű tag különböző szögsebességeit külön ábrában, a 6-jelű tag szögelmozdulásainak függvényében is megrajzoltuk. Ha három mechanizmust kapcsolnánk 120°-al elékelve párhuzamosan, akkor elegendő a szakaszos szögsebesség-ingadozás közepes értékének meghatározását 120°-on elvégezni. Kiegészítésül az állítókar különböző helyzeteiben a közepes szögsebességek is láthatók. Szembetűnő, hogy az ω_2 szögsebesség környezetében mennyire érzékenyen függ a szögsebesség-váltó berendezés az állítókar elállításától.

Az ismertetett módszer segítségével tehát bonyolultabb síkban mozgó mechanizmusok dinamikai vizsgálatát el tudjuk végezni. A dinamikai vizsgálat megadja azoknak a jellemzőknek változását, amely jellemzők pontos ismeretére a mechanizmusok részelemeinek méretezése során szükségünk van.

IRODALOM

И. И. Артоболевский: : Теория механизмов и машин. Москва, 1951.
F. Dyson: Principles of Mechanism. London. 1951.
С. Н. Кожевников: Теория механизмов и машин. Москва, 1949.
(Magyar fordítása „A mechanizmusok és gépek elmélete" címen Budapesten, 1952-ben jelent meg.)
O. Kraemer: Getriebelehre. Karlsruhe, 1950.
R. Kraus: Getriebelehre. Berlin. 1951.

ÖSSZEFOGLALÁS

E tanulmány két előző tanulmány [*Terplán* Z.: Síkban mozgó egyszerű mechanizmusok kinematikai vizsgálata (MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei XII. k. 1—4. sz.) és *Terplán* Z. — *Drobni* J.: Síkban mozgó egyszerű mechanizmusok dinamikai vizsgálata (MTA Műszaki Tudományok Osztálya Közleményei XXI. k. 1—4. sz.)] folytatása. Célja síkban mozgó bonyolultabb mechanizmusok kinematikai és dinamikai vizsgálata az idézett két tanulmányban ismertetett gyors szerkesztő módszerrel. Az általános elvek ismertetése után konkrét példák egyes problémáinak megoldásai láthatók.

$\vec{v}_L = \vec{v}_A + \vec{v}_{LA}$

$\vec{v}_L = \vec{v}_F + \vec{v}_{LF}$

$\vec{v}_C = \vec{v}_D + \vec{v}_{CD}$

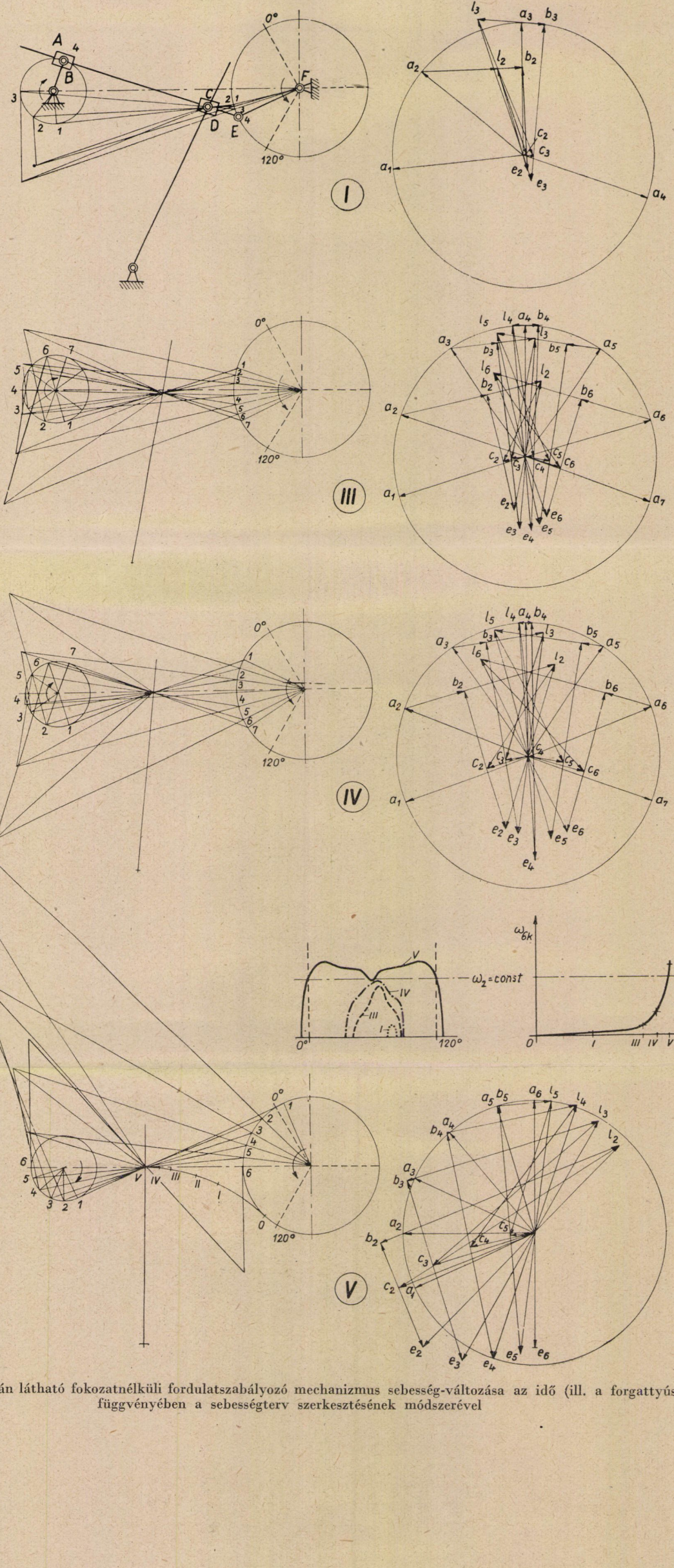
$\vec{v}_C = \vec{v}_L + \vec{v}_{CL}$

$\vec{v}_B = \vec{v}_A + \vec{v}_{BA}$

$\vec{v}_B = \vec{v}_C + \vec{v}_{BC}$

$\vec{v}_E = \vec{v}_C + \vec{v}_{EC}$

$\vec{v}_E = \vec{v}_F + \vec{v}_{EF}$



6. ábra. A 3. ábrán látható fokozatnélküli fordulatszabályozó mechanizmus sebesség-változása az idő (ill. a forgattyúszög) függvényében a sebességterv szerkesztésének módszerével

A CSŐHÚZÁSNÁL KELETKEZŐ ERŐK VIZSGÁLATA

HANTOS REZSŐ, HEERINGER JÓZSEF

és

SCHEY JÁNOS

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA

[Beérkezett 1955. július 25-én]

Az iparban felhasznált acél- és fémcsövek jelentős részét hideg állapotban a húzás műveletével alakítják készre.

A csőhúzópadok teljesítőképességének helyes kihasználásához, a legjobb gyártási módszer kialakításához ismerni kell a húzásnál keletkező erőket. A húzóerők nagyságára a húzott anyag minőségén,a keresztmetszetcsökkenésen és a szerszám alakján kívül hatással van a szerszám felületi minősége és az alkalmazott kenőanyag is. Az eddig végzett mérések [1, 2] fémes felületű csövek húzásánál folyadéknyomásos vagy membrános erőmérők segítségével határozták meg a húzóerőket. A jelen kísérletsorozatban villamos ellenállásos nyúlásmérők segítségével mértük a foszfátozott felületű acélcsöveknek dugón végzett húzásánál keletkező erőket.

A húzásnál jelentkező erők számítására a vonatkozó irodalomban számos képlet található. Vizsgálataink egyik célja volt az is, hogy ezek — és különösen a szórványos vizsgálatokkal már több ízben helyesnek talált Geleji-féle képletek [3—4] — érvényességét rendszeres, összefüggő kísérletsorozattal ellenőrizzük.

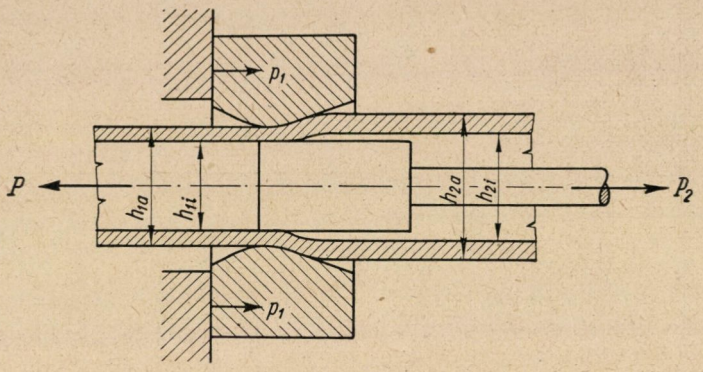
a) *A kísérleti berendezés leírása*

A dugón való csőhúzás (1. ábra) esetében a húzóerő P a húzókocsin mérhető. A P húzóerő a húzógyűrű felfekvő felületén jelentkező P_1 és a dugószárban jelentkező P_2 reakcióerők összegével egyenlő. A P húzóerőt a húzókocsiba beszerelt erőmérővel mértük. Mivel a húzás műveletére a dugó munkája igen jellemző, ezért a kísérletek folyamán egy másik erőmérő segítségével a dugószárban jelentkező erőt is mértük.

A húzóerő méréséhez a húzókocsi kampóját kiszereltük, helyére egy, az erőmérő csavaros végének befogadására alkalmas közdarabot helyeztünk (2. ábra). Az erőmérő másik végéhez csatlakozik két kerékre szerelve a húzókampó.

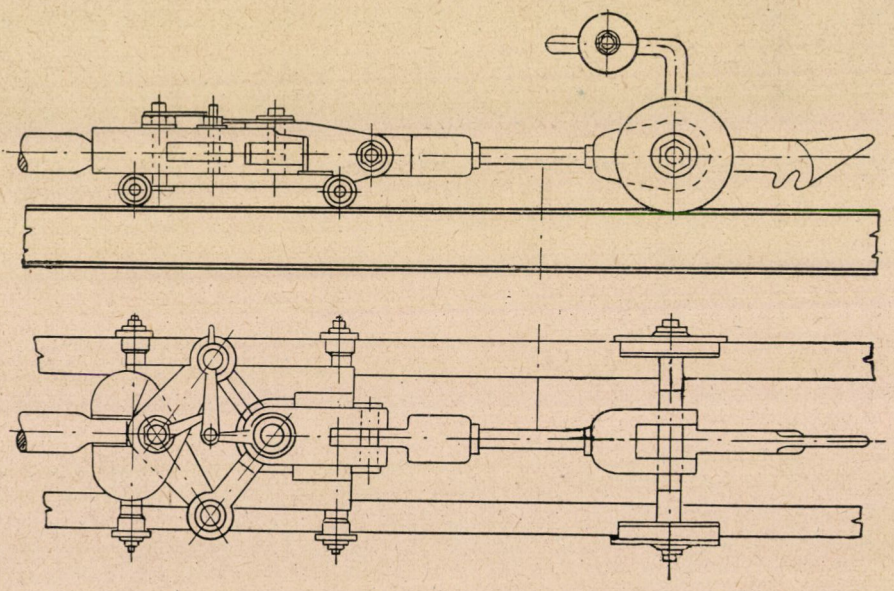
Az erőmérő rajza a 3. ábrán látható. Anyaga C = 0,45%, Si = 0,25%, Cr = 1,25% és V = 0,25% összetételű acél, mely a forgácsoló megmunkálás után $\sigma_B = 125$ kg/mm^2 szilárdságúra nemesíthető. Az erőmérőben megenged-

hető legnagyobb igénybevételt — figyelembe véve az esetleges lökésszerű igénybevételt és túlterhelést — 30 kg/mm²-re választottuk. 15 t legnagyobb húzóerőre számítva kaptuk a 3. ábrán megadott méreteket.



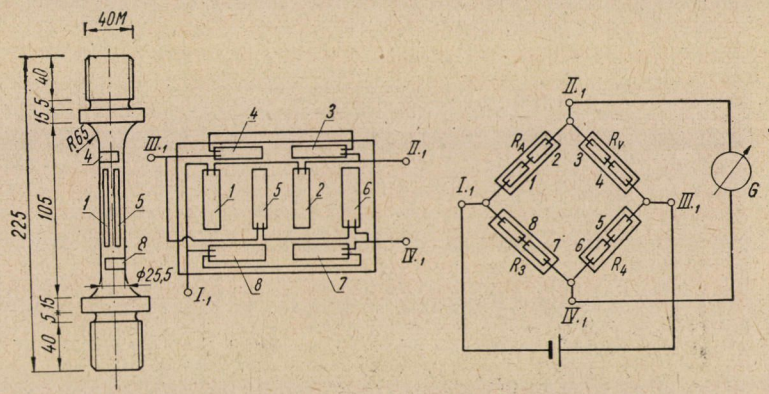
1. ábra. Csőhúzás dugóval

Az erőmérőre a 3. ábrán látható módon 8 db GM 4473 típusú, 120 ohm névleges ellenállású, $k = 2{,}1$ áttételi számú bélyeget ragasztottunk, négyet az alkotó, négyet pedig a kerület mentén. A bélyegeket a 3. ábra szerint kapcsol-

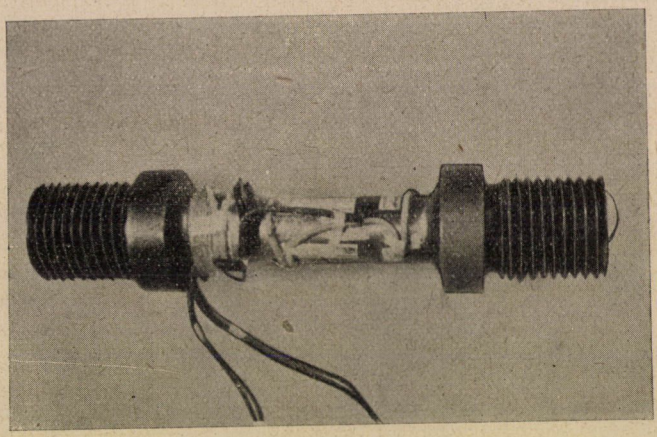


2. ábra. Az erőmérő beszerelése a húzókocsiba

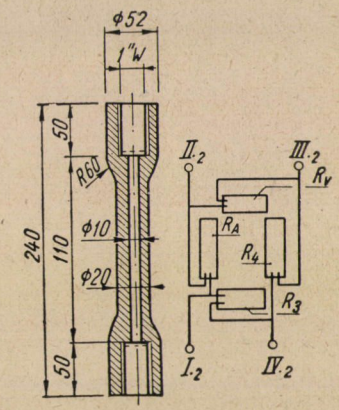
tuk. Ennek a módszernek előnye, hogy az excentrikus befogásból származó vagy más hajlítóigénybevételre az erőmérő érzéketlen. További előny, hogy mind a négy hídág aktív, és a hőmérsékletváltozás a mérésekre nincsen hatással.



3. ábra. Erőmérő a húzókocsihoz

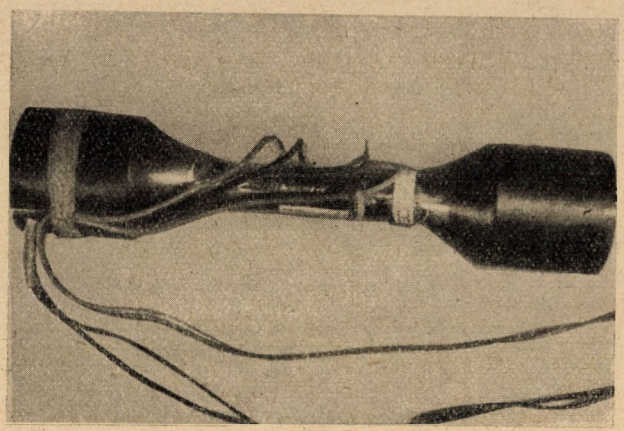


4. ábra. A 3. ábrán vázolt erőmérő képe

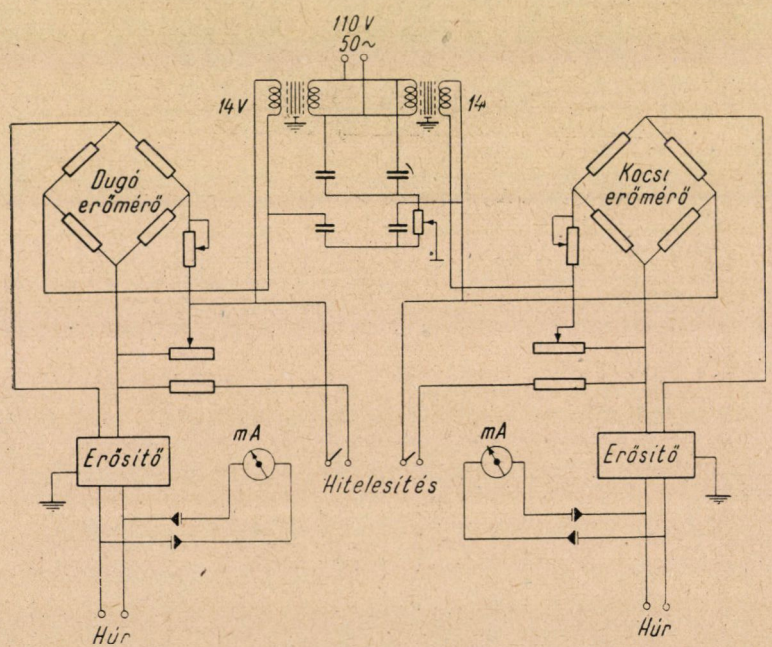


5. ábra. Dugóerőmérő

A két tengelyirányú (R_A és R_4) hídág kétszeresre növeli az érzékenységet, a két keresztirányú (R_V és R_3) pedig a Poisson-tényező értékének megfelelően kb. kétszer 0,3-mal. Az alkalmazott elrendezés tehát egyetlen aktív hídággal szemben több mint kétszeres érzékenységű.

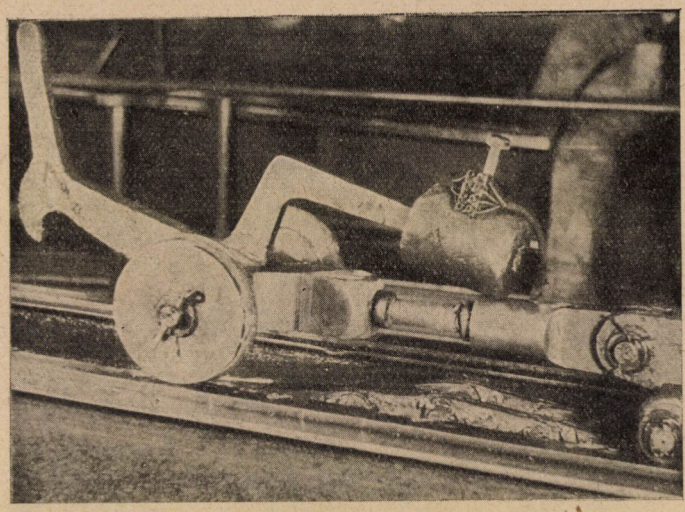


6. ábra. Dugóerőmérő képe

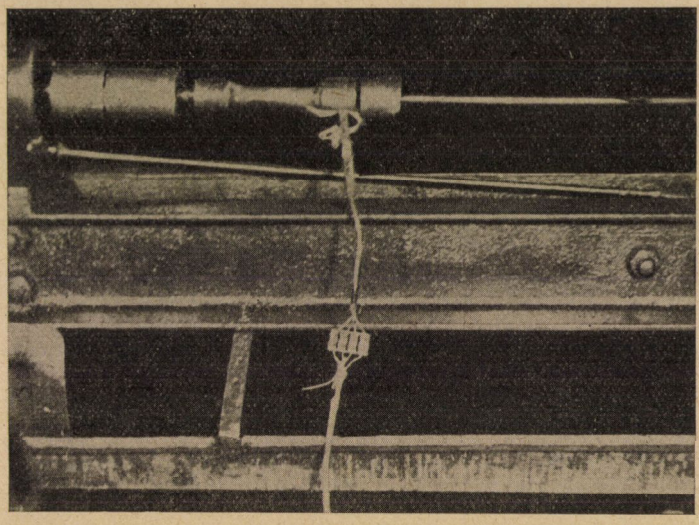


7. ábra. Az erőmérő berendezés kapcsolási vázlata

Az erőmérő a felragasztott és összekapcsolt bélyegekkel a 4. ábrán látható. Azt a részt, melyre a bélyegeket ragasztottuk, paraffinréteggel és csőburkolattal védtük a nedvesség és mechanikai sérülések ellen.



8. ábra. Húzókocsiba szerelt erőmérő



9. ábra. Beszerelt dugóerőmérő

A dugó szárában keletkező P_2 reakcióerő mérésére egy kisebb erőmérő készült. Ennek méretei és a bélyegek kapcsolása az 5. ábrán látható. A kész erőmérő képét a felragasztott bélyegekkel a 6. ábra mutatja.

Mindkét erőmérőt transzformátoron keresztül váltóáramú hálózatról tápláltuk, a hídáram változását erősítőn keresztül hurkos oszcillográf segítségével fényképeztük. Az egész berendezés kapcsolását vázlatosan a 7. ábra mutatja. Beszerelés előtt mindkét erőmérőt szakítógépen hitelesítettük. A húzókocsiba szerelt erőmérőt lazán fektetett kábel kötötte össze a mérőműszerekkel. A beszerelt erőmérő és a kábelcsatlakozás a 8. ábrán látható. A dugóerőmérőt a 9. ábrán látható módon a dugótartó rúd végén szereltük be.

b) *A mérések végrehajtása*

A kísérletsorozat anyagául az egyik gyártási szériából 180 db 29,3 mm külső átmérőjű, 2,4 mm falvastagságú csövet választottunk ki. Minden tizedik csőből teljes elemzést készíttettünk. Az így kapott átlagos összetétel:

$$\underset{\text{C}}{0{,}7-0{,}11\%} \sim \underset{\text{Si}}{0{,}10\%} \sim \underset{\text{Mn}}{0{,}50\%} < \underset{\text{P}}{0{,}04\%} < \underset{\text{S}}{0{,}04\%}.$$

Valamennyi csövet az egyenletes szilárdsági tulajdonságok elérése végett 680—700 C°-on izzítottuk, majd sósavas fürdőben pácoltuk és mostuk. A számozott csöveket ezután kisebb (de legalább tíz darabból álló) csoportokba osztva foszfátoztuk, majd kenőanyagba mártva különböző fogyásokkal húztuk. Húzás után a csövet újból kenőanyagba mártva tovább húztuk mindaddig, míg a foszfátréteg hatékony maradt, és a keményedés izzítást nem tett szükségessé.

A foszfátozás minden esetben a „Foszfatin" elnevezésű cinkfoszfát fürdőben történt, 90 C° hőmérsékleten. A kenőanyagot egyes csoportoknál változtattuk. A használt kenőanyagok összetétele a táblázatokban alkalmazott jelölések szerint:

I. kenőanyag: 4 m^3 víz, 600 kg fúróolaj, 70 kg repceolaj, 15 kg faggyú, 6 kg lúgkő, 30 kg kenőszappan;

II. kenőanyag: 25 kg iszapolt kréta, 10 kg vazelin, 0,5 kg szappanpehely, 10 kg repceolaj;

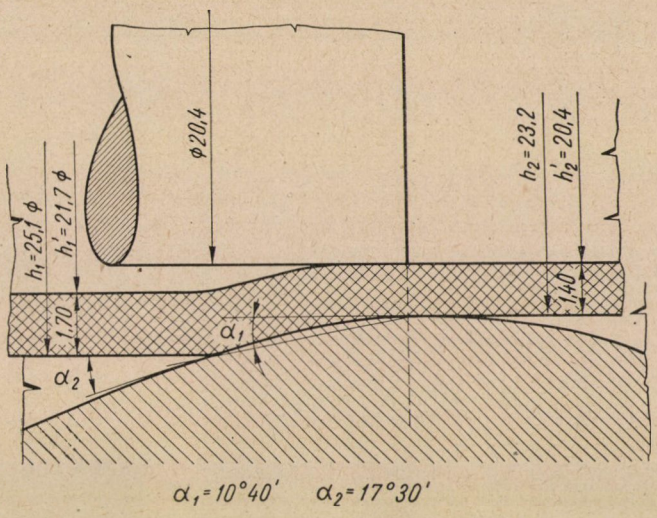
III. kenőanyag: hengerolaj;

IV. kenőanyag: alumíniumpornak és szappanpornak 1 : 7 térfogatarányú keveréke.

A fentieken kívül a dugó kenésére pehelygrafitot is használtunk; a cső nyitott végét grafitba mártottuk, majd felállítva a grafitot a belső felületre szétráztuk. A táblázatokban ezt az eljárást „grafit" szóval jeleztük.

A szerszámok anyaga CrS 5 szabványjelű, $C = 1{,}2-1{,}5\%$; $Mn \leqq 0{,}4\%$; $Si \leqq 0{,}35\%$; $Cr = 0{,}2-0{,}5\%$ tartalmú szerszámacél. Egyes gyűrűk és dugók felülete keménykróm réteggel borított, ezt a táblázatokban „króm" szóval jeleztük.

A dugó alakja pontosan hengeres. A húzógyűrű alakjának megállapitására egyszerű módszert vezettünk be : A húzógyűrű üregét két oldalról, két részletben ólommal öntöttük ki, az így kapott test körvonalát profilvetítőgépen kivetítve lerajzoltuk. Egy húzógyűrűnek ily módon meghatározott alakja a 10. ábrán látható. A gyűrűbe befutó csövet berajzolva kapjuk a húzószögeket:



10. ábra. Húzógyűrű alakja

α_1 a húzásra jellemző átlagos húzószög, α_2 a befutás pillanatában érvényesülő nagyobb szög. A felhasznált húzógyűrűk húzószögeit a táblázatokban ugyanezekkel a jelölésekkel feltüntettük.

Minden csőből húzás előtt és után szakítópróbát vettünk és meghatároztuk a szakítószilárdság (σ_B), folyási határ ($\sigma_{0,2}$) és a nyúlás (δ_{10}) értékeit.

1. táblázat

A kísérletek folyamán alkalmazott üzemi fogyási terv

Húzás száma	Cső névleges mérete húzás előtt mm		Szerszám átmérő, mm		Fogyás, %	
	külső átm.	belső átm.	gyűrű	dugó	húzásonként	összes
1.	29,3	24,5	27,4	23,0	14,1	14,1
2.	27,4	23,0	25,1	21,5	24,4	35,0
3.	25,1	21,5	23,4	20,5	24,1	50,8
4.	23,4	20,5	21,9	19,5	21,9	61,4

A csövek húzása az 1. táblázatban megadott fogyási terv szerint történt ; a legtöbb cső négy húzást (összesen kb. 60% fogyással) bírt ki szakadás nélkül.

2. táblázat

29,3×2,4 mm foszfátozott felületű lágyacélcsövek húzása 27,36×2,17 mm méretre. Kenőanyag I.; a dugó ezenkívül grafitozva is. Húzási sebesség 15 m/perc. Húzószerszámok anyaga CrS 5. Húzószög $\alpha_1 = 7°$; $\alpha_2 = 12°50'$

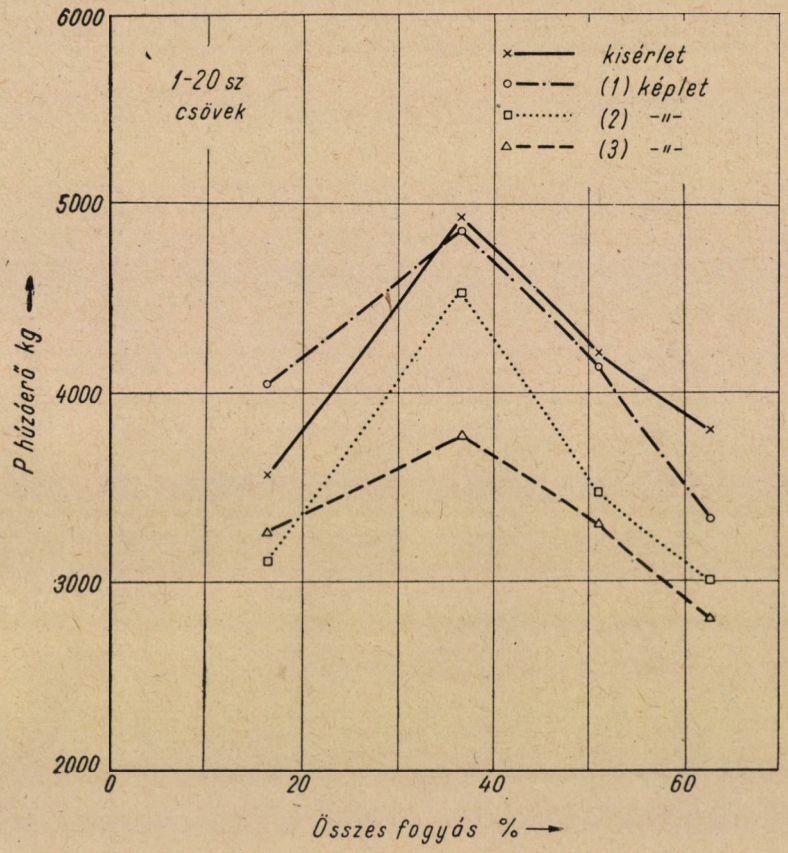
Sorszám	Szakítószilárdság σ_B kg/mm²		Folyási határ $\sigma_{0,2}$ kg/mm²		Teljes húzóerő, kg	A dugóra ható erő, kg
	húzás előtt	húzás után	húzás előtt	húzás után		
121	51,0	74,2	44,1	68,2	3910	322
122	53,2	69,5	46,3	65,1	3868	453
123	54,6	70,6	47,3	64,1	3655	431
124	38,8	52,8	26,7	52,5	3145	369
125	43,8	70,5	31,2	66,8	4165	416
126	52,3	66,7	45,2	62,9	3825	416
127	51,6	67,3	45,2	61,3	3995	322
128	57,7	66,8	54,6	65,0	3230	379
129	46,8	60,9	39,8	56,8	3400	374
130	58,7	59,9	55,2	57,1	3400	379
131	50,2	62,4	41,6	61,5	4250	557
132	50,7	62,1	45,5	61,0	4250	338
133	47,4	61,1	37,4	60,5	3700	473
134	55,8	66,6	51,5	64,5	4123	645
135	50,5	62,4	43,3	61,2	3825	494
136	44,5	58,3	32,5	56,4	3825	483
137	48,0	59,0	41,0	57,6	3783	499
138	46,1	56,6	35,2	55,5	3230	577
139	42,7	63,4	32,2	61,3	4080	338
140	40,8	52,0	27,2	50,7	3485	338
	50,8	63,2	43,5	60,7	3690	430

A mérési eredmények bemutatására a 2. táblázatban a 121—140. sorszámú csövek első húzásakor kapott értékeket közöljük.

A mérési eredmények összefoglalását a 3. táblázat tartalmazza. A megadott szilárdsági értékek (8., 9., 10. és 11. oszlop) és húzóerők (18. és 19. oszlop) az egyes mérések számtani közepesei.

Mivel a foszfátozásnak a súrlódási tényező nagyságára gyakorolt hatása még igen kevéssé ismert, összehasonlító méréseket végeztünk 10—10 csövön. A 161—170. sorszámú csöveket az eddigiekhez teljesen hasonló módon kezeltük; lágyítás és sósavas fürdőben való pácolás után 90 C° hőmérsékletű „Foszfatin" fürdőben foszfátoztuk, majd az I. kenőanyaggal (a dugót ezenkívül grafitozva is) húztuk. A húzószerszámok anyaga CrS 5 szerszámacél volt.

A 171—180. sorszámú csöveket lágyítás és sósavas fürdőben való pácolás után forró mészfürdőbe mártottuk. A meszezett csöveket ezután az előbbihez hasonló módon, I. kenőanyaggal (a dugót grafitozva) húztuk. A húzógyűrű ugyanaz volt, mint a 161—170. számú csöveknél, a dugót azonban a 171. számú cső leszakadása után krómozott felületűre cseréltük ki.



11. ábra. Az 1—20. sz. csövek húzásánál mért erők összehasonlítása a számított értékekkel

Az első húzás 23,0 × 1,5 mm-ről 22,0 × 1,3 mm-re történt, műszerhiba miatt ennek a húzásnak mérési adatai megbízhatatlanok. A második húzást 22,0 × 1,3 mm-ről 20,0 × 1,0 mm-re végeztük (fogyás 29,5%), ennek adatait a 4. táblázat tartalmazza. Ezeknél a csöveknél mértük és regisztráltuk a csőhúzópadot meghajtó motor teljesítményét is ; az egyes csöveknél kapott értékek számtani közepesét a 4. táblázat 9. oszlopában találjuk. Üresjáratban a motor teljesítménye 2,1 kW volt.

A kísérletek folyamán kapott oszcillogramokon jól megfigyelhető, hogy a húzás elején, amikor a dugó még nem foglalja el helyét a gyűrűben — tehát

3. táb-

Foszfátozott felületű lágyacél csövek

Húzási sebesség

Sorszám	Húzás	Mért csövek száma, db	Csőméret, mm		Fogyás, %		Szakítószilárdság σ_B kg/mm²	
			húzás előtt	húzás után	húzásonként	összes	húzás előtt	húzás után
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
1—10	1	10	29,3×2,4	27,3×2,15	16,3	16,3	49,9	62,9
1—10	2	10	27,3×2,15	25,1×1,7	26,5	38,4	62,9	74,8
1—10	3	9	25,1×1,7	23,3×1,45	20,4	51,0	74,8	76,8
1—10	4	3	23,3×1,45	21,9×1,15	24,6	63,1	76,8	78,4
11—20	1	7	29,3×2,4	27,3×2,15	16,3	16,3	49,8	62,9
11—20	2	10	27,3×2,15	25,1×1,75	24,4	36,6	62,9	71,1
11—20	3	9	25,1×1,75	23,3×1,45	22,5	51,0	71,1	75,9
11—20	4	7	23,3×1,45	21,96×1,18	22,8	62,2	75,9	78,2
21—30	1	10	29,3×2,4	27,3×2,08	18,6	18,6	50,8	68,6
21—30	2	10	27,3×2,08	25,1×1,75	22,0	36,6	68,6	73,1
21—30	3	10	25,1×1,75	23,2×1,42	24,5	52,3	73,1	78,2
21—30	4	8	23,2×1,42	21,9×1,15	22,6	63,1	78,2	79,1
31—40	1	10	29,3×2,4	27,3×2,08	18,6	18,6	53,3	68,6
31—40	2	10	27,3×2,08	25,1×1,7	24,3	38,4	68,6	74,2
31—40	3	10	25,1×1,7	23,2×1,4	20,8	51,3	74,2	78,5
31—40	4	10	23,2×1,4	21,9×1,15	24,3	63,1	78,5	79,7
41—60	1	19	29,3×2,4	27,1×2,0	22,4	22,4	52,2	68,0
41—60	2	20	27,1×2,0	24,3×1,5	31,9	47,0	68,0	79,2
61—70	1	9	29,3×2,4	27,1×2,0	22,4	22,4	49,4	67,6
61—70	2	10	27,1×2,0	24,3× 1,5	31,9	47,0	67,6	75,6
71—80	1	10	29,3×2,4	27,1×2,0	22,4	22,4	55,2	67,5
71—80	2	10	27,1×2,0	24,3×1,5	31,9	47,0	67,5	77,2
81—100	1	20	29,3×2,4	27,35×2,17	15,8	15,8	50,7	64,1
81—100	2	20	27,35×2,17	25,2×1,85	20,6	33,2	64,1	68,4
81—100	3	20	25,2×1,85	23,3×1,45	26,5	51,0	68,4	77,6
81—100	4	20	23,3×1,45	21,9×1,2	21,6	61,6	77,6	80,4
101—110	1	10	29,3×2,4	27,1×2,0	22,4	22,4	49,5	67,6
111—120	1	10	29,3×2,4	27,1×2,0	22,4	22,4	50,5	67,7
121—140	1	20	29,3×2,4	27,35×2,17	15,8	15,8	50,8	63,2
121—140	2	20	27,35×2,17	25,2×1,85	20,6	33,2	63,2	68,6
121—140	3	20	25,2×1,85	23,3×1,45	26,5	51,0	68,6	76,3
121—140	4	20	23,3×1,45	21,9×1,2	21,6	61,6	76,3	80,0
141—150	1	9	29,3×2,4	27,1×2,0	22,4	22,4	46,3	65,6
151—160	1	9	29,3×2,4	27,1×2,0	22,4	22,4	45,8	62,7

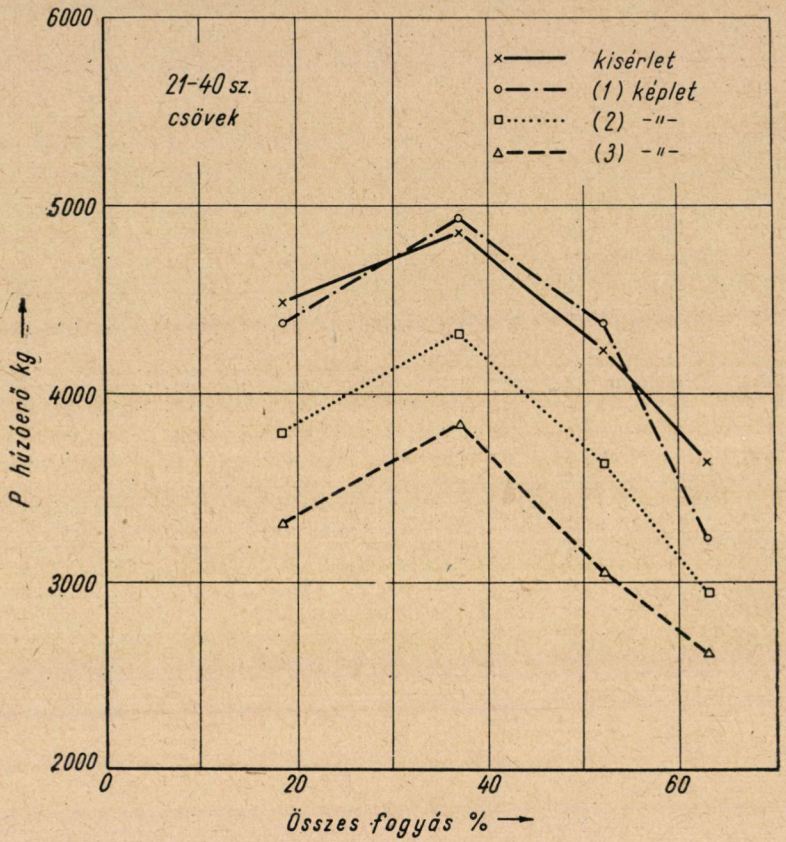
lázat

húzásánál mért értékek

15 *m/perc*

Folyási határ $\sigma_{0,2}$ kg/mm²		Gyűrű anyaga	Dugó anyaga	Gyűrű kúpszög		Kenőanyag		Mért erő, kg	
húzás előtt	húzás után			α_1	α_2	kívül	belül	összes	dugó
10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.
40,6	57,9	CrS 5	CrS 5	7°	12°50′	I.	I+grafit	3590	350
57,9	71,8	«	króm	11°	17°15′	«	«	5190	655
71,8	72,1	«	«	7°40′	11°50′	«	«	4160	600
72,1	74,8	«	«	7°40′	12°45′	«	«	4090	645
41,3	57,9	CrS 5	CrS 5	7°	12°50′	I.	grafit	3590	350
57,9	66,2	«	«	11°	17°15′	«	«	4660	435
66,2	73,0	«	«	7°40′	11°50′	«	«	4420	530
73,0	75,4	«	°	7°40′	12°45′	«	«	3650	555
42,7	63,1	króm	króm	10°10′	16°30′	I.	I+grafit	4490	540
63,1	68,3	«	CrS 5	9°40′	16°30′	«	«	4820	540
68,3	72,9	«	«	10°40′	17°30′	«	«	4270	590
72,9	73,1	«	«	9°	14°50′	«	«	3590	720
46,1	63,1	króm	króm	10°10′	16°30′	I.	grafit	4490	540
63,1	70,9	«	«	9°40′	16°30′	«	«	4960	690
70,9	76,3	«	«	10°40′	17°30′	«	«	4230	735
76,3	77,2	«	«	9°	14°50′	«	«	3720	880
45,5	65,3	CrS 5	CrS 5	10°	16°40′	I.	I+grafit	4880	550
65,3	76,6	«	«	13°30′	17°40′	«	«	5630	390
41,3	64,8	CrS 5	CrS 5	10°	16°40′	II.	II.	5050	640
64,8	73,9	«	«	13°30′	17°40′	«	«	5380	420
48,8	64,7	CrS 5	CrS 5	10°	16°40′	II.	grafit	5560	630
64,7	74,9	«	«	13°30′	17°40′	«	«	5740	510
43,3	62,8	CrS 5	CrS 5	7°	12°50′	I.	I+grafit	3690	425
62,8	63,5	«	«	11°	17°15′	«	«	4730	375
63,5	74,3	króm	króm	10°40′	17°30′	«	«	4660	740
74,3	76,9	«	«	9°	14°50′	«	«	3380	680
40,4	62,2	CrS 5	CrS 5	10°	16°40′	III.	III.	5160	725
43,7	62,2	CrS 5	CrS 5	10°	16°40	III.	grafit	5120	520
43,5	60,7	CrS 5	CrS 5	7°	12°50′	I.	I+grafit	3690	430
60,7	64,4	«	«	11°	17°15′	«	«	4730	385
64,4	72,7	«	«	7°40′	11°50′	«	«	4060	540
72,7	75,1	«	«	7°40′	12°45′	«	«	3610	450
36,8	63,5	CrS 5	CrS 5	10°	16°40′	IV.	IV.	4770	700
36,1	60,0	CrS 5	CrS 5	10°	16°40′	IV.	grafit	4260	510

az üres húzás esetében — a húzóerő a dugón való húzásnál keletkező erőnek csak 25—35 %-a. A dugó helyre zökkentése után a húzóerő gyakorlatilag teljesen állandó. A mérések zöménél ezért oszcillogram felvételét mellőztük és a húzóerőt mA-mérőn olvastuk le.



12. ábra. A 21—40. sz. csövek húzásánál mért erők összehasonlítása a számított értékekkel

4. táblázat

Lágyacél csövek húzása 22,0×1,3 *mm-ről* 20,0×1,0 *mm-re.*
Húzási sebesség 20 *m/perc. Húzószög* $\alpha_1 = 7°40'$; $\alpha_2 = 15°20'$

Sorszám	Mért csövek száma, db	Szakítószilárdság σ_B kg/mm²		Folyási határ $\sigma_{0,2}$ kg/mm²		Kenőanyag	Összes erő, kg	Motor teljesítm. kW
		húzás előtt	húzás után	húzás előtt	húzás után			
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
161—170	10	52,0	66,5	48,5	64,2	foszfátozás I+grafit	2850	15,2
171—180	9	50,4	63,4	46,9	59,5	meszezés I+grafit	2800	13,2

C) *A mérési eredmények értékelése*

Az elvégzett kísérletek és mérések alapján megállapítható, hogy a húzóerő a dugón való csőhúzás esetében az egész húzás folyamán állandó. A méréseinknél alkalmazott viszonyok között a dugón jelentkező súrlódási erő az összes húzóerőnek 10—15%-a.

A húzószerszám anyaga és felületi minősége nem volt lényeges hatással a húzóerőre. Az alkalmazott húzógyűrűk alakja nem teszi lehetővé a húzószög hatásának pontos meghatározását; a gyűrűkön mért $\alpha_1 = 7°$ és $\alpha_1 = 11°$ határok között a húzóerő számottevően nem változik.

A különböző kenőanyagok hatásának vizsgálatára a 3. táblázatból a 29,3 × 2,4 mm méretű csöveknek első, 27,4 × 2,2 mm-re végzett húzásánál mért erőket hasonlíthatjuk össze. Figyelembe véve az egyes csoportok csöveinek eltérő szilárdsági tulajdonságait, arra a következtetésre juthatunk, hogy a vizsgált kenőanyagok a húzóerőnek legfeljebb ±10%-os változását okozhatják. Részletesebb meghatározás — éppen az üzemi kísérletekkel elkerülhetetlenül járó pontatlanságok miatt — nem látszik eléggé megalapozottnak.

A csőhúzásnál keletkező erők számítására a vonatkozó irodalomban található képletek közül GELEJI [3]

$$P = k_m (F + \mu Q_1 + \mu Q_2) + 0{,}77 f_2 k_{fm} \alpha \tag{1}$$

SIEBEL [5]

$$P = k_{fm} \left[F \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} \right) + \frac{2}{3} f_2 \alpha \right] \tag{2}$$

és JEMELJANYENKO—ALJESEVSZKIJ [2]

$$P = 1{,}05 \, \sigma_{Bm} k_1 f_2 \frac{F}{f_1} \tag{3}$$

képleteit ellenőriztük. Ezekben

f_1 = a cső keresztmetszete húzás előtt, mm²
f_2 = a cső keresztmetszete húzás után, mm²
F = $f_1 - f_2$ = a fogyás, mm²
α = a húzószög ívmértékben
μ = a súrlódási tényező
k_{fm} = a közepes folyási határ, kg/mm²
σ_{B_m} = a közepes szakítószilárdság, kg/mm²
k_m = a közepes alakítási ellenállás GELEJI szerint

$$k_m = \frac{k_{fm}}{1 + \dfrac{F + \mu (Q_1 + Q_2)}{2 f_2}}$$

Q_1 = a húzógyűrű dolgozó felülete

$$Q_1 = \frac{(h_{1a}^2 - h_{2a}^2)\,\pi}{4 \sin \alpha}$$

Q_2 = a dugó dolgozó felülete

$$Q_2 = \frac{h_{2i}\,\pi}{2 \operatorname{tg} \alpha} \left[(h_{1a} - h_{2a}) - (h_{1i} - h_{2i})\right]$$

k_1 = szorzótényező JEMELJANYENKO—ALJASEVSZKIJ szerint

$$k_1 \cong 1 + \frac{\mu}{\alpha}\left(1 + \frac{r_1}{r_2}\right).$$

5. táblázat

A mért és az (1) képletből számított húzóerők összehasonlítása

Cső sorszáma	Húzás	Cső keresztmetszet, mm²		Fogyás, mm²		Közepes szakítószilárdság σ_{Bm} kg/mm²	Közepes folyási határ k_{fm} kg/mm²	Gyűrű kúpszög $\widehat{\alpha_1}$	Mért húzóerő, kg	Számított húzóerő	
		húzás előtt f_1	húzás után f_2	F	%					P kg	eltérés, %
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
1—20	1	203	170,0	33,0	16,3	56,4	49,4	0,122	3590	4040	+12,5
1—20	2	170,0	127,3	42,7	25,0	67,8	63,4	0,192	4930	4860	— 1,0
1—20	3	127,3	99,5	27,8	21,8	74,6	70,8	0,134	4210	4130	— 2,0
1—20	4	99,5	76,2	23,3	23,4	77,3	73,9	0,134	3800	3330	—13,0
21—40	1	203	165,0	38,0	18,6	60,3	53,8	0,177	4490	4390	— 2,0
21—40	2	165,0	126,7	38,3	23,3	71,1	66,3	0,169	4890	4920	+ 0,5
21—40	3	126,7	98,0	28,7	22,6	76,0	72,1	0,186	4250	4390	+ 3,0
21—40	4	98,0	75,0	23,0	23,5	78,8	74,8	0,157	3660	3220	—12,0
41—80	1	203	157,7	45,3	22,4	60,0	55,1	0,174	5100	4820	— 5,5
41—80	2	157,7	107,5	50,2	31,9	72,9	70,2	0,236	5600	5930	+ 6,0
81—100	1	203	171,0	32,0	15,8	57,4	53,1	0,122	3690	4260	+15,0
81—100	2	171,0	135,7	35,3	20,6	66,2	63,2	0,192	4730	4620	— 2,0
81—100	3	135,7	99,5	36,2	26,5	73,0	68,9	0,186	4660	4300	— 5,5
81—100	4	99,5	78,0	21,5	21,6	79,0	75,6	0,157	3380	3310	— 2,0
101—120	1	203	157,7	45,3	22,4	58,8	52,1	0,174	5140	4560	—11,0
121—140	1	203	171,0	32,0	15,8	57,0	52,1	0,122	3690	4200	+14,0
121—140	2	171,0	135,7	35,3	20,6	65,9	62,6	0,192	4730	4580	— 3,0
121—140	3	135,7	99,5	36,2	26,5	72,5	68,6	0,134	4060	4420	+ 8,5
121—140	4	99,5	78,0	21,5	21,6	78,2	73,9	0,134	3610	3240	—10,0

Az 5. táblázatban feltüntettük a számításhoz szükséges adatokat. Az azonos húzószögű gyűrűkben húzott csoportokat összevontuk.

Az összehasonlító mérések tanulsága szerint (4. táblázat) a foszfátozott felületű csövek húzásakor ugyanakkora erő keletkezik, mint a meszezett felületűeknél. A súrlódási tényező értékének kiválasztásánál ezért a foszfátozás hatását nem kell tekintenünk.

Lágyacél húzására az irodalomban [6, 7] $\mu = 0{,}04-0{,}07$ értéket adnak meg; számításainknál a fenti megfontolások alapján $\mu = 0{,}06$ értéket használtunk.

Az 5. táblázat 11. oszlopa GELEJI (1) képletével számított húzóerőket tartalmazza; az eltérés a mért értékekhez viszonyítva $\pm 15\%$ határon belül marad.

A 11. és 12. ábrákon feltüntettük az 1—20 és 21—40 sorszámú csövekre a mért és az (1), (2) és (3) képletekkel számolt erőket. A kísérleti értékekkel legjobban az (1) képletből számított erők egyeznek, a (2) és (3) képletből számítottak általában kisebb értéket adnak.

IRODALOM

1. A. POMP, W. ALBERT: Über den Kraftbedarf beim Rohrziehen Mitt. Kaiser Wilhelm Inst. f. Eisenforschung IX. (1927) 95/111.
2. P. I. ORRO—JA. E. OSZADA: Proizvodsztvo sztalnich tonkosztennih veszsovnih trub p. 45—64. Metallurgizdat, Moszkva 1951.
3. A. GELEJI: Die Berechnung der Kräfte und des Kraftbedarfs bei der Formgebung im bildsamen Zustande der Metalle p. 176—178. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1952.
4. A. GELEJI—J. SCHEY: Die graphische Ermittlung von Ziehplänen für Rohre Acta Technica IV (1952) 1—4; p. 347—364.
5. E. SIEBEL: Der derzeitige Stand der Erkentnisse über die mechanischen Vorgänge beim Drahtziehen Stahl und Eisen 66/67 (1947) 171/180.
6. G. SACHS: Praktische Metallkunde Bd II. p. 132 Springer, Berlin 1934.
7. W. LUEG, K. H. TREPTOW: Schmierstoffe und Schmierstoffträger beim Ziehen von Stahldraht Stahl und Eisen 72 (1952) 399/416.

ÖSSZEFOGLALÁS

Üzemi kísérleteink folyamán mértük a foszfátozott felületű lágyacél csöveknek dugón való húzásakor keletkező erőket. A mérésekhez villamos ellenállásos nyúlásmérőket használtunk.

A húzóerő a húzás folyamán teljesen állandó. Különböző kenőanyagok csak jelentéktelenül változtatták a húzóerőt. Összehasonlító kísérletek szerint a foszfátozott felületű csöveket ugyanakkora erővel lehet húzni, mint a meszezett felületűeket. A dugószárra ható erő az összes húzóerőnek kb. 10—20%-a volt.

A csőhúzásnál keletkező erők számítására szolgáló képletek közül néhányat a mérési eredményekkel összehasonlítottunk. A számítások alapján a legjobb értékeket GELEJI képlete adja.

A SOROS KONDENZÁTOR HATÁSA A SZINKRON GÉP ÜZEMÉRE*

CSÁKI FRIGYES

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK KANDIDÁTUSA, BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM

[Beérkezett 1955. november 10-én]

Két elméleti vonatkozású dolgozat [1, 2] a szinkron gépből és soros kondenzátorból álló rendszer CRARY [3] által megadott alap egyenleteit fejleszti tovább: *a*) az egyenleteket egyszerűbb és szemléletesebb alakra hozza, *b*) figyelembe veszi a csillapítótekercsek hatását is, *c*) különböző egyszerűsítő feltevésekkel bizonyos esetekre általános megoldást ad. Fontosabb eredmények a következők:

1. A szinkron gép alapegyenleteit, ha soros kondenzátor van az armaturakörben, az alábbi alakban adja meg:

$$
\begin{aligned}
u_d &= p\,\psi_d - \omega\,\psi_q + r\,i_d + \frac{p}{C\,(p^2+\omega^2)}\,i_d + \frac{\omega}{C\,(p^2+\omega^2)}\,i_q \\
u_q &= p\,\psi_q + \omega\,\psi_d + r\,i_q + \frac{p}{C\,(p^2+\omega^2)}\,i_q - \frac{\omega}{C\,(p^2+\omega^2)}\,i_d \\
u_0 &= p\,\psi_0 + r\,i_0 + \frac{1}{Cp}\,i_0\,.
\end{aligned}
\tag{1}
$$

a) A fenti egyenletrendszer az

$$
\underline{u_S} = p\,\underline{\psi_S} + r\,\underline{i_S} + \frac{1}{Cp}\,\underline{i_S} \tag{2}
$$

állórész koordináta-rendszerben felírt *vektoregyenletből* származó

$$
\underline{u_R} = \underline{\underline{R}}^{-1}\,p\,\underline{\underline{R}}\,\underline{\psi_R} + r\,\underline{i_R} + \underline{\underline{R}}^{-1}\,\frac{1}{Cp}\,\underline{\underline{R}}\,\underline{i_R} \tag{3}
$$

* Kivonat szerzőnek az Acta Technica XII. és XV. kötetében, két részben, angol nyelven megjelent ily című tanulmányából.

forgórésszel együttforgó koordináta-rendszerbe áttranszformált *vektoregyenlet* rendezőkben kiírt alakja, ahol

$$\underline{v_S} = \begin{array}{|c|c|c|}\hline v_a & v_b & v_c \\ \hline \end{array} \qquad \underline{v_R} = \begin{array}{|c|c|c|}\hline v_d & v_q & v_0 \\ \hline \end{array} \tag{4}$$

$$(v = u, \psi, i)$$

és

$$\underline{\underline{R}} = \begin{array}{|c|c|c|}\hline \cos\Theta & -\sin\Theta & 1 \\ \hline \cos\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\Theta - \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \hline \cos\left(\Theta + \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\Theta + \frac{2\pi}{3}\right) & 1 \\ \hline \end{array} \tag{5}$$

b) A fenti (1) egyenletrendszer első két egyenlete az

$$\bar{u}_S = p\,\bar{\psi}_S + r\,\bar{i}_S + \frac{1}{Cp}\,\bar{i}_S \tag{6}$$

komplex mennyiségekkel felírt egyenletekhez hasonló

$$\bar{u}_R = (p + j\omega)\,\bar{\psi}_R + r\,\bar{i}_R + \frac{1}{C(p + j\omega)}\,\bar{i}_R \tag{7}$$

komplex egyenlet *d* és *q* irányú összetevőinek valós alakja.

c) A fenti (1) egyenletrendszer előnyei:

Az u_d, u_q, u_o feszültségösszetevők explicite szerepelnek. Magának a szinkron gépnek az alapegyenlete $1/C = 0$ helyettesítéssel azonnal megkapható, így közvetlenül látszik a soros kondenzátor okozta változás. Az egyes feszültségösszetevők jellege világosan látszik.

2. A forgórészen keresztirányban *k* csillapítótekercset, hosszirányban pedig *f* gerjesztőtekercset és *h* csillapítótekercset feltételezve (továbbá *d*, *f*, *h között azonos nagyságú* kölcsönös induktivitást véve) az [1] cikk megadja a *d*, *f*, *h*, *q*, *k*, *o* körök feszültségegyenletét. Ebből kiegyenlített üzemre és állandó gerjesztés esetére az alábbi egyenletrendszer kapható meg:

$$\begin{aligned} u_d &= \left[p\,l_d(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega^2)}\right] i_d - \left[\omega\,l_q(p) - \frac{\omega}{C(p^2 + \omega^2)}\right] i_q \\ u_q &= \left[\omega\,l_d(p) - \frac{\omega}{C(p^2 + \omega^2)}\right] i_d + \left[p\,l_q(p) + r + \frac{p}{C(p^2 + \omega^2)}\right] i_q \end{aligned} \tag{8}$$

ahol

$$l_q(p) = \frac{x_q}{\omega_0} \frac{p T''_q + 1}{p T''_{q0} + 1} \tag{9}$$

és

$$l_d(p) = \frac{x_d}{\omega_0} \frac{p^2 T''_d T'_d + p(T' + T'_d) + 1}{p^2 T''_{do} T'_{do} + p(T'_0 + T'_{do}) + 1} \,. \tag{10}$$

$1/C = 0$ helyettesítéssel (8)-ból ismét magának a szinkron gépnek alapegyenletrendszere kapható meg.

3. A fenti alapegyenletrendszer segítségével megvizsgálhatók a szinkron gépből és soros kondenzátorból álló rendszer különböző üzemállapotai.

Így például megállapítható, hogy a csillapítótekercs jelenléte a csillapítótekercs nélküli gép első öngerjedési tartományát egyáltalán nem, a második öngerjedési tartományt gyakorlatilag nem befolyásolja. A csillapítótekercs jelenléte miatt azonban a fentieken kívül újabb öngerjedési tartományok jönnek létre.

4. Ha a szinkron gép soros kondenzátoron keresztül kerül háromfázisú rövidzárlatba, a következők állapíthatók meg: A (8) egyenletekbe u_d és u_q helyébe a terhelési állapotnak megfelelő $-u_{do}$ és $-u_{qo}$ kezdeti feszültségeket behelyettesítve, és $\omega = \omega_0$ figyelembevételével, a rövidzárlati áram szuperpozíciós összetevői:

$$i_d = -\frac{\left[p\, l_q(p) + r + \frac{p}{C(p^2+\omega_0^2)}\right] u_{d0} + \left[\omega_0 l_q(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2+\omega_0^2)}\right] u_{q0}}{Z(p)}$$

$$i_q = \frac{\left[\omega_0 l_d(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2+\omega_0^2)}\right] u_{d0} - \left[p\, l_d(p) + r + \frac{p}{C(p^2+\omega_0^2)}\right] u_{q0}}{Z(p)} \,, \tag{11}$$

ahol

$$Z(p) = \left[p\, l_d(p) + r + \frac{p}{C(p^2+\omega_0^2)}\right]\left[p\, l_q(p) + r + \frac{p}{C(p^2+\omega_0^2)}\right] + \left[\omega_0 l_d(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2+\omega_0^2)}\right]\left[\omega_0 l_q(p) - \frac{\omega_0}{C(p^2+\omega_0^2)}\right] . \tag{12}$$

A fenti (11) egyenletrendszerből numerikus értékek behelyettesítése után meghatározható a rövidzárlati áram. Általános alakban azonban a (11) egyenletrendszer nem oldható meg. Ezért néhány egyszerűsítő feltevés segítségével igyekszünk megközelíteni a rövidzárlati áram fizikáját.

Egyes esetekben sikerült zárt alakban közelítő kifejezéseket megadni az állórész rövidzárlati áramának ω_0 körfrekvenciájú összetevőjére, másrészt sikerült közelítő kifejezéseket találni a szabad rezgések körfrekvenciájára és

időállandójára. Bár a rövidzárlati áram teljes kifejezését nem tudjuk megadni, a közelítések alapján felvázolható a rövidzárlati áram lefolyása.

5. A dolgozat második része [2] a szinkronozó és csillapító nyomatékokkal foglalkozik. Mint ismeretes [4], kis amplitudójú lengés esetén a nyomatékváltozás és szögváltozás között kapcsolatot létesítő

$$\Delta T = -f(p)\,\Delta\delta \tag{13}$$

függvény segítségével kiszámítható a szinkronozó nyomaték:

$$T_s = Re\, f(jv)\,, \tag{14}$$

a csillapító nyomaték pedig:

$$vT_d = Im\, f(jv)\,. \tag{15}$$

A (13) összefüggést az alábbi alakban adtuk meg:

$$\begin{aligned}
&[\psi_{do} - i_{do}\, l_q(p)] \times \\
&\times \left[\left(u_{do} + \psi_{do}\, p + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\, i_{do} - \frac{1}{C\omega_0}\,\frac{p^2}{p^2+\omega_0^2}\, i_{qo}\right) \times \right. \\
&\qquad \times \left(p l_d(p) + r + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\right) + \\
&+ \left(u_{qo} + \psi_{qo}\, p + \frac{1}{C\omega_0}\,\frac{p^2}{p^2+\omega_0^2}\, i_{do} + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\, i_{qo}\right) \times \\
&\qquad \left. \times \left(\omega_0 l_d(p) - \frac{1}{C}\,\frac{\omega_0}{p^2+\omega_0^2}\right)\right] - \\
&\qquad - [\psi_{qo} - i_{qo}\, l_d(p)] \times \\
&\times \left[\left(u_{do} + \psi_{qo}\, p + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\, i_{do} - \frac{1}{C\omega_0}\,\frac{p^2}{p^2+\omega_0^2}\, i_{qo}\right) \times \right. \\
&\qquad \times \left(\omega_0 l_q(p) - \frac{1}{C}\,\frac{\omega_0}{p^2+\omega_0^2}\right) - \\
&- \left(u_{qo} + \psi_{qo}\, p + \frac{1}{C\omega_0}\,\frac{p^2}{p^2+\omega_0^2}\, i_{do} + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\, i_{qo}\right) \times \\
&\qquad \left. \times \left(p l_q(p) + r + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\right)\right]
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\Delta T = -\frac{}{\left(p l_d(p) + r + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\right)\left(p l_q(p) + r + \frac{1}{C}\,\frac{p}{p^2+\omega_0^2}\right) + \left(\omega_0 l_d(p) - \frac{1}{C}\,\frac{\omega_0}{p^2+\omega_0^2}\right)\left(\omega_0 l_q(p) - \frac{1}{C}\,\frac{\omega_0}{p^2+\omega_0^2}\right)}\,\Delta\delta\,.$$

Az $f(p)$ megadott kifejezése közvetlen általánosítása az $1/C = 0$ esetre kiszámítható $f(p)$ függvénynek.

Néhány különleges esetre (igen lassú, szinkron, igen gyors forgórészlengések, üresjárási állapot stb.) kiszámítottuk a szinkronozó és csillapító nyomatékot. A vizsgálatok során két kérdést tartottunk szem előtt: Milyen változást idéz elő a soros kondenzátor az $X_C = 0$ esethez képest? Milyen változást jelent a csillapítótekercs figyelembevétele?

IRODALOM

1. Csáki, F.: Influence of Series Capacitors on the operation of Synchronous Machines. Acta Technica XII/1—2. 49. old.
2. Csáki, F.: Influence of Series Capacitors on the operation of Synchronous Machines. (Continued.) Synchronizing and Damping Torques. Acta Technica XV/3—4. 457. old.
3. Crary, S. B.: Two Reaction Theories of Synchronous Machines. Electrical Engineering Transactions 1937. 27. old.
4. Park, R. H.: Two Reaction Theories of Synchronous Machines. I—II. AIEE Transactions 1929. 716. old. AIEE Transactions 1933. 352. old.

SZIGETELŐ FOLYADÉKOK VILLAMOS SZILÁRDSÁGA

VAJDA GYÖRGY

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA MÉRÉSTECHNIKAI ÉS MŰSZERÜGYI INTÉZETE, BUDAPEST

[Beérkezett 1956. január 30-án]

Jelölések

U feszültség, V
T hőmérséklet, K°
n töltéshordozók koncentrációja, 1/cm³
d elektródatávolság, cm
α ionozási együttható, 1/cm
G áramsűrűség, A/cm²
σ vezetőképesség, 1/ohm, cm
t hőmérséklet, C°
E térerősség, V/cm
b mozgékonyság $\frac{\text{cm/mp}}{\text{V/cm}}$
ε relatív dielektromos állandó
ε_0 a légüres tér dielektromos állandója, $8{,}86 \cdot 10^{-14}$ Amp/Vcm.

A műszaki fizika és a gyakorlati elektrotechnika számára egyaránt fontos és régóta vizsgált kérdés a különböző halmazállapotú szigetelő anyagok átütése [1]. Gázokat illetőleg az alapvető kérdések és számos részletkérdés is mind elméleti, mind gyakorlati vonatkozásban ma már tisztázottnak tekinthető [5]. Szilárd szigetelőknél az elméleti tárgyalás az utolsó két évtizedben sok tekintetben megközelítette a viszonyokat, egyes kísérleti kérdésekben is jelentős haladás tapasztalható [6]. Ugyanakkor a folyadékok átütése terén elméleti és kísérleti vonatkozásban alig lehet számottevő haladásról beszámolni. Időnként egy-egy közlemény tájékoztat néhány kísérletről, minden szerző vázolja az átütésre saját feltevését, de rendszerint már a szerzők maguk rámutatnak saját munkájuk gyenge pontjaira és végleges következtetésektől tartózkodnak. Egyesek [7] már egyenesen arra a következtetésre jutottak, hogy a folyadékok átütését elméletileg nem is lehet követni, és nincs értelme az ilyen irányú törekvéseknek.

Jelen tanulmány rövid áttekintést kíván adni az átütési elméletek fejlődéséről, a kialakult bizonytalanság magyarázatáról és a fejlődés néhány lehetséges lépéséről.

1. Töltéshordozók szigetelő folyadékokban

Mindmáig vitatott kérdés a különböző töltéshordozók jelentősége szigetelő folyadékokban. Gyenge tereknél minden valószínűség szerint túlnyomóan ionok elmozdulása történik [2, 3], a térerősség növekedésével előtérbe kerül az elektronok jelentősége is [8].

A töltéshordozók egy része a folyadékban, különböző sugárzások (ultraibolya, röntgen stb.) ionizáló hatására jön létre, más része a folyadékmolekulák disszociációja és kolloidális részecskék feltöltődése során képződik. Ugyanakkor az elektródákról is lépnek ionok és elektronok a folyadékba. Gázokhoz képest a kis mozgékonyság következtében nő az újraegyesülés, valamint annak valószínűsége, hogy az elektronok semleges molekulákhoz kapcsolódnak. Zavarólag hat, hogy a folyadékok mindig tartalmaznak szennyezéseket, ezek többnyire feltöltődnek, nagy részük a folyadékban disszociál és az így képződő töltött részecskék is részt vesznek az áramban (kataforetikus áram).

2. Az átütéssel foglalkozó elméletek

Kezdetben a leghasználatosabb szigetelő folyadékon, az olajon szerzett tapasztalatok alapján indultak el a kutatások. A kísérleti körülmények azokban olyan nehezek voltak, hogy célszerűbbnek látszott egyszerűbb szerkezetű, könnyebben tisztítható és reprodukálhatóbb eredményeket szolgáltató folyadékokra áttérni (hexán, xilol stb.).

Az átütés folyamatáról kialakult legelső elképzeléseket *melegedési elméletek* elnevezés alatt lehet összefoglalni.

Az e csoportba tartozó feltevések abból a tapasztalatból indulnak ki, hogy a folyadékok és gázok átütése sok tekintetben hasonló törvényszerűségeknek hódol.

Erre támaszkodva folyadékok átütését burkolt gázkisülésnek tekintik és a gázképződést hőfejlődés segítségével magyarázzák.

Günthersculze [9] a folyadékban levő szabad ionok súrlódásában jelölte meg a gőzképződés okát, az ionok mögött képződő keskeny gőzcsatornában keletkező gázkisülés az átütés kezdete.

Gemant [10] egyrészt a melegedés hatására az elektrodák felületén abszorbeált gázbuborékok kiterjedését és növekedését tételezte fel. Másrészt a folyadékban levő vízrészecskék elpárolgását vizsgálta és ezt a két folyamatot jelölte meg az átütést megelőző gőzképződés fő alakjaként.

A leginkább elfogadott elméletet [1] Inge és Walther [11] dolgozták ki. Szerintük a folyadékban levő oldott gázbuborékokban ionizáció indul meg. A gázkisülés hatására a folyadék felmelegszik, elgőzölög, a buborék nő, és ha a fejlődő meleget a környezet nem képes elvezetni, a folyamat önmagát erősítve

elvezet a teljes átütésig. Az átütés feltételeként a

$$cU^n \geqslant \beta (T_p - T_f) + Q$$

egyenlet adható meg. A baloldalon levő tag a buborékban fejlődő hő, ahol c anyagállandóktól és elrendezéstől függő arányossági tényező, U a feszültség, n 2 és 3 között mozgó kísérleti állandó. A jobboldal első tagja a környezettel elvezetett hő, β a gáz és folyadék közötti hőátadási tényező, T_p a folyadék párolgási hőmérséklete (a gázbuboréknak ilyen hőmérsékleten kell legalább lenni), T_f a hideg folyadék hőmérséklete. Az egyenletben Q a párolgás rejtett hője a buboréknak megfelelő térfogatra vonatkoztatva.

Az elmélet a továbbiakban nem vizsgálja, hogy az így keletkező gázbuborékban az ionozás hogyan megy végbe. Mivel a folyadékokban a térerősségek többszörösen meghaladják a gázokban lehetséges értékeket, továbbá a gáz dielektromos állandója kisebb, mint a folyadéké, a lökésionizáció feltétele mindig kielégül és feltételezhető, hogy a gázkisülések törvényei minden további nélkül alkalmazhatóak.

Az elmélet sokban hasonlít a szilárd anyagokra kidolgozott melegedési elmélethez, a kísérletek azt több tekintetben alátámasztják, segítségével sok tapasztalati tény magyarázható (a nyomás és hőmérséklet befolyása, frekvencia függőség stb. [1]), és a tartós igénybevétel hatására történő átütést — ha vegyi bomlás nem történik — ez a felfogás valószínűleg jól megközelíti. Alkalmatlan azonban a lökőátütés magyarázatára és így az átütés általános elméleteként nem fogadható el.

Burkolt melegedési elméletek az irodalomban külön tárgyalt *mechanikai elméletek is*. Ezek a gázbuborékok keletkezését az elektróda felületén adszorbeált gázhatárrétegnek a villamos tér hatására bekövetkezett leszakadására [10], illetve a térben a szennyező buborékok deformálódására [12] vezetik vissza. Nem valószínű azonban, hogy az így leváló vagy keletkező gázbuborékok az elektróda-közt áthidalják, így itt is segítségül kell hívni a melegedést a további buborékok létrejöttének magyarázatára. Egy időben különösen KOPPELMANN [12] elméletét értékelték nagyra, azonban ez arra a képtelen eredményre vezet, hogy a légköri viszonyoktól nem nagyon eltérő feltételek között az átütési feszültség zérus.

A melegedési elméletek korlátai az átütés *villamos jellegű magyarázata* felé irányították a kutatók figyelmét. Már SCHUMANN és PEEK is felvetette, hogy a gázok átütésének mechanizmusát át lehet ültetni folyadékokra is. JOFFE [13] és munkatársai vizsgálták elsőnek folyadékban a lökésionizációt és 10^{-3}—10^{-6} cm-es elektródatávolságoknál valószínűsítették a lavina kialakulásának lehetőségét.

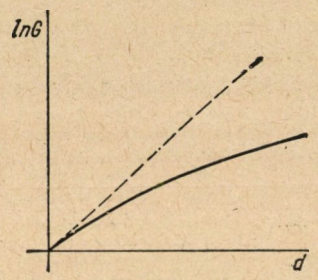
Az ilyen irányú fejlődést ösztönözte az a tapasztalat is, hogy lökőfeszültségeknél a nyomás, hőmérséklet és más tényezők befolyása elhanyagolható.

Feltételezhető, hogy folyadékokban hasonló elemi folyamatok játszódnak le, mint gázokban, de néhány, a gázokban elhanyagolható jelenséget is figyelembe kell venni a lavinában. HIPPEL az elektronok koncentrációjára a lavinában

$$n = n_0 e^{\int_0^d (\alpha - c + r)\, dx} \quad {}^1/_{cm^3}$$

összefüggést tételezi fel.

A képletben α a lökésionizáció együtthatója (megfelel a TOWNSEND-féle első ionizációs együtthatónak), c az elektronok semleges molekulákhoz való



1. ábra

kapcsolódásának valószínűsége, r a befogott elektronok újból kiszabadított része.

NIKURADSE [4] és munkatársai az 1930-as években nagyarányú elméleti és kísérleti munkát végeztek, hogy lényegében TOWNSEND elméletét* kiterjesszék a folyadékok területére is.

Felfogásuk szerint folyadékban is az ütközési ionizáció az alapvető; elektronlavina alakul ki, és a kisülés folytonosságát különböző másodlagos folyamatok biztosítják. Nézetüket azokra a méréseikre alapították, amelyek az elektródatávolság függvényében az áram növekedését tükrözik (1. ábra). Bár az áram logaritmusának növekedése nem arányos, ami gázokban a lavina kialakulására jellemző, mégis a lavinajelleget tekintették felfogásuk alapjának.

Az eltérés azzal magyarázható, hogy a keletkező elektronok egy része rekombináció vagy elektronbefogás miatt nem vesz részt a további ionozásban, NIKURADSE [4] a töltéshordozók TOWNSEND-féle differenciálegyenleteit alkalmazva az áramsűrűségre a

$$G = G_0 - \frac{\alpha}{\alpha - \beta}\left(e^{(\alpha-\beta)\,d} - \frac{\beta}{\alpha}\right) \quad {}^A/_{cm^2}$$

összefüggést vezette le.

* A stacionér gázkisülés elmélete (pl. 5.).

Az egyenletben G_0 a kezdeti áramsűrűség, α és β 1 cm úthosszon a keletkező pozitív és negatív ionok száma. $\alpha = \alpha' + \varkappa$, $\beta = \beta' + \varkappa$, ahol α' a keletkező elektronok, β' a semleges részecskékhez kapcsolódó elektronok száma, $\varkappa$ a disszociáció és más hatások során keletkező és rekombináció során megsemmisülő ionpárok számának különbsége. NIKURADSE számszerű adatokat is közöl mérései alapján [4] α és β értékeire a térerősség függvényében és kísérletet tesz az átütés meghatározására is.

NIKURADSE szemléletmódja közel egy évtizedig általánosan elfogadott volt, jóllehet a kísérletek egy része azt nem támasztotta alá. Ugyanakkor az elméleti igényeket sem mindenben elégítette ki. Alapvető nehézséget jelentett, hogy az elektronok lehetséges szabad úthossza folyadékokban 10^{-7}—10^{-8} cm nagyságrendű, és bár a folyékony halmazállapotban az ionizációs energia kisebb, a szabad úthossz sokszorosának befutása szükséges az ionizációs energia összegyűjtéséhez. A lavina kialakulásához így szükséges nagy idő nem egyeztethető össze az átütés kialakulása idejének nagyságrendjével.

Ezt a problémát a különböző kutatók vagy az *emissziós* vagy a *disszociációs* hipotézis alapján próbálták megoldani, de nem nagy sikerrel. Ennek ellenére NIKURADSE eredményeit mellőzték, csupán RUHLE [14] tett kísérletet azok felelevenítésére.

A lökésionizációt elvetve az áramot REISS a molekuláris szennyeződéseknek a villamos tér hatására bekövetkező spontán ionizációjával próbálta magyarázni, azonban ezt a lehetőséget maga a szerző el is vetette [15].

PLUMLEY [16] az emissziós felfogást támadva, azt állította, hogy a folyadék molekuláinak disszociációja alapvető a tér hatására. Rendkívül szigorú körülmények között és nagy tisztasággal végzett kísérleteinek is azonban olyan nagy volt a szórása, hogy nem sikerült eldöntenie, van-e az elektródafelület minőségének befolyása az átütésre, ami az emissziót igazolná, vagy nincs. Ugyanakkor tisztázatlan maradt, hogy a viszonylag nagy disszociációs energiát a molekulák honnan kapják.

Az elektronemisszión alapuló magyarázatok előtt kell megemlíteni, hogy a kérdések vizsgálatában magyar kutató is kivette a részét. EISLER [17, 18] feltevése szerint az igénybevétel növekedésével az áram folytonosan növekszik, az átütés előtt és alatt azonos törvényszerűségek érvényesek. Megfontolásai szerint az áram egy része elektrolitikus jellegű, másik része elektrosztatikus ionizáció eredményeképp jön létre. A vezetőképességre

$$\sigma = ae^{\left(t - \frac{b}{t}\right)} + ce^{\left(dt - \frac{f}{E}\right)} \quad {}^{1}/_{\text{ohm, cm}}$$

összefüggést vezette le, a képlet kifejezi a térerősség (E) és a hőmérséklet (t) befolyását.

Az átütés környékén a vezetőképesség rohamosan nő. Ki kell emelni, hogy ez a megközelítés az egyetlen, amely az áram elektrolitikus jellegű kompo-

nensén keresztül lehetővé teszi a szennyeződések kvalitatív figyelembevételét. EISLER felfogásmódja alapján a hő és villamos átütés tárgyalását közös nevezőre lehet hozni [17].

INGE és WALTHER [19] vetette fel, hogy az elektrosztatikus téremisszió folyadékok átütésénél számottevő jelentőségű lehet. BAKER és BOLTZ [20] az átütés előtti áramot termikus elektronemissziónak tekintette, feltételezve, hogy a folyadék jelenléte a kilépési munkát annyira csökkenti, hogy szobahőmérsékleten is van emisszió. Ezen az alapon LA PAGE és DU BRIDGE [21], DORNTE [22] és mások sok kísérletet végeztek, de ezek nem döntötték el, hogy lökésionizáció vagy termikus emisszió az alapvető jelenség. A termikus emisszió feltételezése azonban nagyon erőltetettnek tűnik, a jelenlevő térerősségek alapján sokkal kézenfekvőbb az elektrosztatikus emisszió keletkezése.

Egyedül a katódemisszió alapján azonban nem magyarázhatók az átütési jelenségek, például az áram erős megnövekedése, ezért a lökésionizációt, vagy a tértöltéseket hívják segítségül az átütés magyarázatához.

Az átütéssel foglalkozó jelenlegi munkák lényegében egyesítik az ionizációs és emissziós elméleteket [27, 28, 29, 30 stb.]. Eszerint a katódról elektrosztatikus emisszió indul ki, a folyadékban az elektronok ütközéssel ionizálnak, lavina keletkezik, a lavina tértöltést eredményez, ami a villamos tér eloszlását módosítja, a katódon a villamos igénybevétel és ezzel az emisszió nő, és így tovább. Amikor a viszonyok labilissá válnak, bekövetkezik az átütés.

Legjobban GOODWIN és MACFADYEN elmélete van kidolgozva [8, 24]. Szerintük a katódról elektrosztatikus emisszió következtében kilépő elektronáram a Fowler—Nordheim-törvényt követi.* A katód közelében ütközési ionizáció van, távolabb az elektronokat a molekulák befogják ugyan, de a hőmozgás következtében ionpárok jönnek létre, és az áramot ezek elmozdulása jelenti. A kialakuló tértöltés a teret eltorzítja, a katódán a térerősség megváltozott értéke homogén térben

$$E_k = E_a + \frac{G_k\, d\, e^{ad}}{2\,\varepsilon_0\,\varepsilon\, b_p\, E_a} \qquad \text{V/cm}.$$

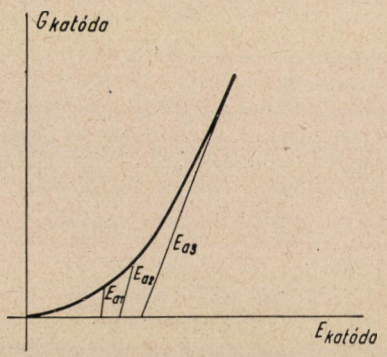
A képletben $E_a = \frac{U}{d}$ az átlagos térerősség, a az ionozási együttható, b_p a pozitív ionok mozgékonysága, ε a folyadék dielektromos állandója, $\varepsilon_0 = 8{,}86 \cdot 10^{-14}$ Amp/Vcm a légüres tér dielektromos állandója.

Az összefüggés szerint a katódán levő térerősség a tértöltések, és közvetve az emissziós áram lineáris függvénye. Különböző E_a átlagos igénybevételek esetét tünteti fel a 2. ábra. Ha ez az egyenes metszi az emissziós karakterisztikát,

* A Fowler—Nordheim-összefüggés szerint az áramsűrűség a katódon uralkodó térerősség függvénye, $G_k = aE_k^2\, e^{-b/E_k}$ A/cm².

egyensúly következik be, ha metszéspont nincs, a helyzet labilis, bekövetkezik az átütés. Néhány tiszta folyadékban a mérések meglepően jól alátámasztják az elméletet, igaz, hogy a számításokban önkényesen meghatározott állandók is vannak [24].

Vitatott a tértöltések kialakulásának módja, GREEN [25] a disszociációra igyekszik visszavezetni, mások [26] az anódból ionemissziót tételeznek fel. LEWIS [27, 28] és mások [24, 29] a lökésionizációt tartják fontosnak, sőt igyekeznek a jelenségek tárgyalásakor az amorf szilárd anyagokra kidolgozott elméletet [6] folyadékokra is alkalmazni [24, 27].



2. ábra

Ez utóbbi felfogásmód abból indul ki, hogy a különböző halmazállapotban a folyamatok lényegében azonosak, csupán szerepük és befolyásuk különböző. Gázokban az elektronok energiavesztesége túlnyomóan az atomok és molekulák gerjesztésére fordítódik, szilárd halmazállapotban ez elhanyagolható, viszont a rácspontok hőrezgéseinek gerjesztése kerül előtérbe. Mivel a folyadékmolekulák kölcsönhatásának nagysága jobban megközelíti a szilárd halmazállapotot, mint a gázállapotot, feltevésük szerint az elemi folyamatok is hasonlók lehetnek, erre azonban még bizonyítékunk nincs.

A fentebb kifejtett felfogások mindegyikének alátámasztására lehet az irodalomban kísérleti anyagot találni, ugyanakkor olyan mérések is szép számmal vannak, amelyek az adott elmélet kereteibe nem illeszthetők be. Mindez azt eredményezi, hogy az átütés kérdésében még távolról sem alakult ki egységes felfogás, és a jelenségek tárgyalásmódjában is sok bizonytalanság tapasztalható, amiről a fejlődés megtorpanására lehet következtetni.

A fejlődés viszonylagos elmaradásának több oka van. A főbb tényezők a következők:

1. A folyadékokban lejátszódó folyamatok elméleti tárgyalását nehézzé teszi, hogy a gáznemű és szilárd halmazállapottal szemben a folyékony halmazállapot jelenségeinek tárgyalására még nem sikerült kialakítani megfelelő szemléletet, mely az elemi részecskék kölcsönhatásán alapulna.

2. Nagyon hiányosak ismereteink folyadékokban az elemi részecskékről, és a közöttük lejátszódó folyamatokról, ami pedig az átütés magyarázatához elengedhetetlenül szükséges lenne.

3. A kísérletek során a mérési eredmények szórása oly nagy, hogy az egyértelmű értékelést gyakran lehetetlenné teszi.

3. Az átütési szilárdság kísérleti meghatározása

A mérésekhez használt elektróda elrendezések és kísérleti berendezések — a szigetelő olajok vizsgálatára használt szabványosított elrendezés [1] kivételével — rendkívül változatosak, ismertetésük helyett elég az irodalomra utalni [pl. 23, 26, 27, 28, 29, 30 stb.]. A kísérletek értékelésében a legnagyobb problémát az eredmények szórása okozza. A legnagyobb tisztasággal és gondossággal végzett kísérletek során is 20—30%-os szórás már elfogadható eredménynek tekintendő, és nem rendkívüliek még a nagyságrendi eltérések sem. A mérési pontosságot messze meghaladó nagy szórás oka még nem tisztázott. Az átütési feszültségek szórását a következőkre lehet visszavezetni :

a) Eltérés az igénybevétel tartamában.

b) Eltérés a feszültségnövelés sebességében.

c) Az előző átütések következtében a folyadék és az elektródák elváltozása (buborékok, égéstermékek, az elektróda felületek elváltozása stb.).

d) A szennyeződések befolyása.

e) A folyadék fizikai tulajdonságai.

Az *igénybevételek időtartamát* és a *feszültségnövelés sebességét* a mérések körültekintő és gondos kivitelezésével, és megfelelő önműködő szabályozó elemek beiktatásával állandó értéken lehet tartani, így e két tényező hatása viszonylag egyszerű eszközökkel kiküszöbölhető.

Az átütéseknél sohasem lehet megelégedni egy méréssel, hanem mindig több mérés középértékét kell figyelembe venni. Kevéssé veszik azonban figyelembe, hogy a mérési eredményeket az *előző átütés termékei* is befolyásolják. Gázokban az átütés termékei a diffúzió következtében viszonylag hamar eltűnnek, szilárd anyagokban az átütést ugyanazon a helyen megismételni nem lehet, folyadékoknál azonban az átütés termékei többnyire nehezen távoznak el az elektródaközből.

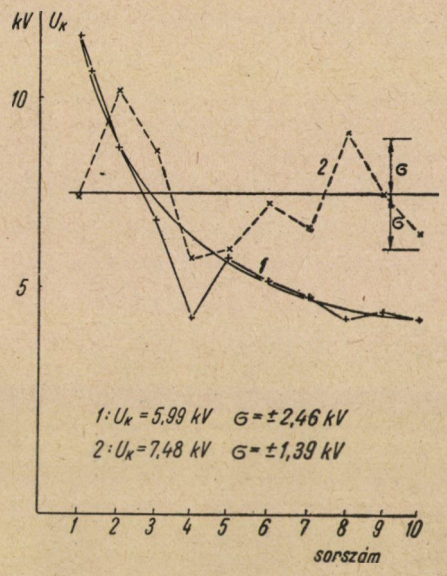
1 cm átmérőjű, egymástól 0,25 mm távolságra levő gömbökkel olajban végzett kísérletek azt mutatják, hogy az átütött olaj nagy viszkozitása következtében az elektródák között marad.

A 3. ábrán az 1 mérési sorozat egymást követő átütési feszültség értékeket tüntet fel az átütések sorszámának függvényében. Az egyes átütések között 3 percig pihentettük az olajat. A 2 sorozat ugyanabban az olajban azonos körülmények között végzett kísérletek eredményeit tükrözi, azzal a különbséggel,

hogy minden átütés után az elektródákról benzinnel eltávolítottuk a hozzátapadt olajat, majd a benzint elpárologtattuk.

A 2. sorozat értékei a szokásos szórást mutatják. Az olaj mechanikai kavarása a kis elektródatávolság következtében nem változtatott az eredményeken. Hasonlók az eredmények nagyobb elektródatávolságok esetén is, körülbelül 1,5 mm-ig.

A kísérletek során mindig meg kell vizsgálni, hogy az átütés termékei eltávoztak-e az elektródaközből és az elektródák felülete nem rongálódott-e



3. ábra

meg. (Az utóbbi hatásra vonatkozó kísérletek folyamatban vannak.) Rendkívül gondos kísérleti módszerekkel, bonyolult kísérleti berendezésekkel (az átütött folyadék cseréje, az elektródák elforgatása stb.) az előző átütés hatását is ki lehet küszöbölni.

Sokkal nehezebb a *szennyeződések* befolyását közömbösíteni. A gyakorlati célokra kidolgozott módszerek [1. 228—235. old.] alapján megtisztított folyadékokban még mindig marad annyi idegen anyag, hogy elvi következtetéseket nehéz levonni.

Gyakorlatilag ugyanis egyetlen folyadékot sem lehet teljesen tisztának és homogénnek tekinteni, a folyadék egyik jellegzetes tulajdonsága, hogy könnyen old fel idegen anyagokat, a szigetelő folyadékokban mindig kimutathatók szennyeződések, nedvesség, gázbuborékok stb.

A szennyező részecskék szilárd, folyékony vagy gáznemű halmazállapotban lehetnek, méretük a jelentős kiterjedésű szálaktól a kolloidális részecskéken keresztül egyes oldott molekulákig terjedhet. A kísérletek szerint csak

nyomokban előforduló szennyeződések is alapvetően befolyásolják a szigetelő folyadékok villamos tulajdonságait, köztük az átütési feszültséget (1,4). Hatásuk a következőkben foglalható össze :

α) A folyadékétól eltérő dielektromos állandó az igénybevétel helyi megnövekedését okozza. Olajban levő szabályos gömb alakú vízcsepp esetén a határfelület egyes pontjain az igénybevétel

$$E_m = \frac{3\,\varepsilon_{viz}}{\varepsilon_{viz} + 2\,\varepsilon_{olaj}} E = \frac{3 \cdot 80}{80 + 2 \cdot 2{,}2} E = 2{,}85\,E \quad {}^{V}/_{cm},$$

vagyis közel háromszorosra nő. Más geometriai alak esetében a növekedés még nagyobb. Inhomogén térben a dielektromos állandók különbségének megfelelő erő is hat a részecskékre (akkor is, ha nincs töltésük).

β) A szennyező részecskék többnyire töltéssel rendelkeznek. Feltöltődésük oka lehet a különböző dielektromos állandójú és kilépési munkájú anyagok érintkezésének megfelelő sztatikus feltöltődés, lehet elektronok vagy ionok befogása, és végül disszociáció. A töltött részecskék egyrészt a villamos előteret helyileg eltorzítják, az igénybevételt egyes pontokban megnövelik. A töltött részecskék másrészt résztvesznek az áramban, és a nagy töltéshordozók gyakran a környező folyadékot is magukkal viszik.

γ) Tapasztalatok szerint a szennyezett folyadékok fényelnyelési együtthatója megnő (olajban bizonyos hullámhosszaknál 15—20%-kal). Az elnyelt fényenergia növeli a szennyező részecskék energiáját, az ionok keletkezésének valószínűsége nő.

δ) A szennyező molekulák a folyadékmolekulák közötti mikrotérbe kerülnek, ahol a térerősség 10^6—10^7 V/cm nagyságrendű és könnyen olyan energiaállapotba kerülhetnek, hogy viszonylag kis energia hatására (fénysugárzás, ütközés kis kinetikai energiájú elektronnal stb.) ionizálódnak.

ε) A folyadékban levő gázbuborékokban belső kisülések indulhatnak, ez a folyadékot melegíti és a buborékból töltéshordozók kerülnek a folyadékba. Az ionizált gázbuborék deformálja a villamos erőteret és megnő másutt is az igénybevétel. Az ionizáció olyan nagy is lehet, hogy hatására hőátütés következik be.

A szennyezések hatása tehát három irányban lényeges, a villamos igénybevétel helyileg megnő, a folyadékban könnyebben jönnek létre töltéshordozók, és villamos, valamint folyadék áramlások indulnak meg.

A tapasztalatok szerint [31; 87—88. old.] az átütési feszültséget a vegyileg oldódó anyagok gyakorlatilag nem befolyásolják, az elektrokémiailag oldódók kismértékben csökkentik, a folyadékban nem oldódó idegen anyagok erősen csökkentik, ez utóbbi anyagok rendszerint kolloidális méretű részecskék. Különösen rohamos ez a csökkenés, ha a szennyeződés vezető jellegű hidat alkot az elektródák között [1].

A szennyezések jelentőségét sokan [4, 11, 16 stb.] alapvetőnek tartották, véleményük szerint az ideálisan tiszta folyadékban a szórás a mérési pontosságon belül van, azonban a folyadékoknak a technikailag lehetséges határig történő tisztítása — bár némiképp csökkentette —, de nem küszöbölte ki a szórást [8,27].

Többen osztják azt a nézetet, hogy a szórás a *folyadékok vegyi és fizikai tulajdonságaiból* fakad. Pontosabban az elemi folyamatok kvantummechanikai statisztikai ingadozása a lavinán keresztül sokszorosan felnagyítva jut kifejezésre a szórásban.

Annak eldöntése, hogy a szórást a szennyezések vagy az elemi folyamatok statisztikai jellege okozzák, csupán elvi érdekességű, hiszen a gyakorlatban használt folyadékok tisztasága mindig korlátozott.

Feltehető, hogy mindkét kérdés közrejátszik a mért értékek eltérésében. A szórást azonban minden körülmény között mutatkozó elkerülhetetlen jelenségnek kell tekintenünk.

Nem célravezetők azok a törekvések, amelyek pontosabb mérési módszerek kidolgozásával kísérlik meg a szórás csökkentését, hiszen az a folyadék természetéből adódik és messze meghaladja a durvább mérések pontosságát is. A szórás csökkentésére irányuló erőfeszítések helyett a szórások valószínűségi értékelésére kellene a hangsúlyt fektetni, amely a méretezésnél használatos biztonsági tényező megállapításához adna biztonságosabb alapokat [32]. Bizonytalan még az egyértelmű értékeléshez szükséges mérések minimális számának meghatározása, valószínű, hogy 10 mérés gyakorlati célokra elegendő [28, 32].

A szennyezések nagy befolyásából pedig azt a következtetést kellene levonni, hogy a vizsgálatra szánt olajok különleges tisztítása nem célszerű. Bár az ilyen eljárás jobban reprodukálható eredményeket ad, meghamisítja a szigetelő folyadékok tényleges használhatóságáról nyerhető képet. Ezért a méréseket olyan szennyezettséggel kellene végezni, amilyen a tényleges használat körülményeinek megfelel. Különleges körülmények között legcélszerűbb a tényleges viszonyok közelítőleg hű másolása lenne.

Befejezés

A folyadékok átütésével foglalkozó kutatások körülbelül abba a szakaszba kerültek, hogy ismereteink határai kezdenek kirajzolódni. Több hipotézissel rendelkezünk, amelyek kísérletet tesznek az átütés folyamatának magyarázatára, de ezek még nem tekinthetők az átütés elméletének. Az átütés sokrétű folyamat, egyidejűleg villamos, hő, fény, hang-mechanikai és kémiai jelenségek mutatkoznak. Valószínű, hogy a villamos igénybevétel jellegétől és tartamától, valamint a szigetelő folyadék szerkezetétől függően többféle módon következhetik be az átütés. Feltehető, hogy hosszabb ideig tartó melegedéskor hőátütés-

sel, lökő-igénybevételkor tiszta villamos átütéssel van dolgunk. Közbenső esetnek tekinthető a gáz-zárványokban kifejlődött ionizációval előmozdított átütés. Elfogadható az a feltevés is, hogy a villamos igénybevétel a szigetelő folyadék vegyi bomlását is elősegíti, ami a villamos szilárdság csökkenését eredményezi.

Az elméleti kérdések tisztázására irányuló törekvések áttekintése alapján arra a következtetésre kell jutni, hogy az átütés elméletének kidolgozása folyékony szigetelőanyagokra — bár nagyon hasznos lenne — még nem időszerű. E helyett a leglényegesebb a folyadékban lejátszódó elemi folyamatok szétválasztása alapján az elemi folyamatok kísérleti tanulmányozása, az elemi részecskék kölcsönhatásának vizsgálata lenne és az így szerzett tapasztalatok alapján lenne mód bizonyos következtetések és összefüggések megállapítására. Tudományos ismereteink bővülésén túlmenően már az ilyen eredmények is előmozdítanák a szigetelő folyadékokat tartalmazó villamos készülékek tudományosabb és biztonságosabb alapon történő tervezését.

IRODALOM

1. Verebély, L.: Villamos erőátvitel. I. Tankönyvkiadó. Bp. 1953.
2. Szkanavi, G. I.: A dielektrikumok fizikája. Akadémiai Kiadó. Bp. 1953.
3. Frenkel, Ja. I.: Kineticseszkaja teorija zsidkosztyej. IAN. Moszkva. 1945.
4. Nikuradse, A.: Das flüssige Dielektrikum. Springer. Berlin. 1934.
5. Vajda György : Gázok villamos szilárdsága. MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. 18. k. 1—4. (1956.)
6. Vajda György : Szilárd szigetelőanyagok átütése. Elektrotechnika. *49.* 4. (1956)
7. Baligin, I. E.: Elektricseszkij proboj zsidkih dielektrikov. Elektricsesztvo. 1954. dec. 89.
8. Macfadyen, K. A.: Some researches into the electrical conduction and breakdown of liquid dielectrics. Brit. J. Appl. Phys. *6.* 1. (1955).
9. Günthersсhulze, A.: Die dielektrische Festigkeit von Flüssigkeiten, und festen Körpern, Jahrb. d. Rad. u. Elektronik. *19.* 92. (1922).
10. Gemant, A.: Elektrophysik der Isolierstoffe. Springer, Berlin. 1930.
11. Inge, L., Walther, A.: Durchschlag von flüssigen Isolatoren. A. f. El. *23.* 279. (1930).
12. Koppelmann, F.: Der elektrische Durchschlag in isolierenden Flüssigkeiten. Z. techn. Phys. *16.* 125. (1935). A. f. El. *28.* 519. (1934).
13. Joffe, A., Kurchatoff, T., Sinjelnyikoff, K.: J. of Math. and Phys. *23.* 279. (1927).
14. Ruhle, F.: Über die Stromleitung in dielektrischen Flüssigkeiten bei hohen elektrischen Feldern. Phys. Z. *44.* 89. (1943).
15. Reiss, K. H.: Versuche zum Stromleitungsmechanismus in Flüssigkeiten niedriger Dielektrizitätskonstante. Ann. Phys. *28.* 325. (1937). *30.* 34. (1937).
16. Plumley, H. J.: Conduction of dielectric liquids of high field strength. *59.* 200. (1941).
17. Eisler, J.: Der Durchschlag als statische Ionisation. Z. f. Phys. *79.* 266. (1932).
18. Eisler, J.: A megengedhető villamos igénybevétel átütés nélküli megállapításának a lehetősége és ennek elméleti igazolása. Elektrotechnika. *28.* 214. (1935), *29.* 5. (1936), *29.* 29. (1936).
19. Inge, L., Walther, A.: Zs. T. F. *1.* 539. (1935).
20. Baker, E. B., Boltz, H. A.: Thermionic emisszion into dielectric liquids. Phys. Rev. *51.* 275. (1937).
21. Le Page, W. R., Du Bridge, L. A. A.: Electron emission into dielectric liquids. Phys. Rev. *58.* 61. (1940).
22. Dornte, R. W.: Electrical conduction in dielectric liquids. Ind. Eng. Chem. *32.* 1529. (1940).
23. Goodwin, D. W., Macfadyen, K. A.: Electrical conduction and breakdown in liquid dielectrics Proc. Phys. Soc. B. *66.* 85. (1953).
24. O'Dwyer, J. J.: The influence of cathode material on measured breakdown strength of solid and liquid dielectrics. Austral. J. Phys. *7.* 400. (1954).

25. GREEN, W. B.: Conduction and breakdown in hexane. J. Appl. Phys. *26.* 1257. (1955).
26. GROWE, R. W., BRAGG, J. K., SHARBOUGH, A. H.: On the electric strength of aliphatic hydrocarbons. J. Appl. Phys. *25.* 392. (1954).
27. LEWIS, T. J.: Electrical breakdown in organic liquids. Proc. I. E. E. *100.* Pt. II/A. 141. (1953).
28. LEWIS, T. J.: The depandence of the dielectric strength of pure liquids on cathode material. Proc. Phys. Soc. B. *66.* 425. (1953).
29. YOUNG, D. R.: Electric brakdown in CO_2 from low pressures to the liquid state. J. Appl. Phys. *21.* 222. (1950).
30. SALVAGE, B.: The dielectric breakdown of some simple organic liquids. Proc. I. E. E. *98.* Pt. IV. 15. (1951). Pt. I. 227. (1951).
31. MIHAJLOV, M. M.: Elektromaterialovedenie. GEI. Moszkva. 1953.
32. EISLER, J.: Villamos szilárdság mérése. Az MTA Erősáramú Mérések Szakbizottsága előtt tartott beszámoló. 1955. XII. 14.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány áttekinti a szigetelő folyadékok átütésével foglalkozó elméletek fejlődését és az elmélet jelenlegi helyzetét. Rámutat a további fejlődés elméleti akadályaira és a kutató munkát nehezítő kísérleti problémákra. A folyadékok villamos szilárdságának megbízható mérését több tényező nehezíti, a szerző — részben saját kísérletei alapján — kitér arra, hogy lehet a zavaró tényezők hatását csökkenteni. Foglalkozik a szennyeződéseknek az átütéssel kapcsolatos hatásával, valamint a mért értékek szórásával és a szórás értékelésével. Vitatja azoknak a nézeteknek helyességét, amelyek feleslegesnek tartják a folyadékok átütését leíró elmélet kialakítását, csupán még nem tartja időszerűnek ezt a feladatot. Felhívja a figyelmet néhány kérdés behatóbb vizsgálatára, melyek nézete szerint a további fejlődés feltételét képezik.

CSŐNYÚJTÓHENGERLÉSNÉL KELETKEZŐ ERŐK MÉRÉSE ÉS SZÁMÍTÁSA

DR. GELEJI SÁNDOR akadémikus,
SCHEY JÁNOS a műszaki tudományok kandidátusa,
FINK KONRÁD, HANTOS REZSŐ és KÖVES FERENC

NEHÉZIPARI MŰSZAKI EGYETEM KOHÓGÉPTANI ÉS KÉPLÉKENY ALAKÍTÁSI TANSZÉKE, MISKOLC
ÉS CSEPELI VAS- ÉS FÉMMŰVEK, BUDAPEST–CSEPEL

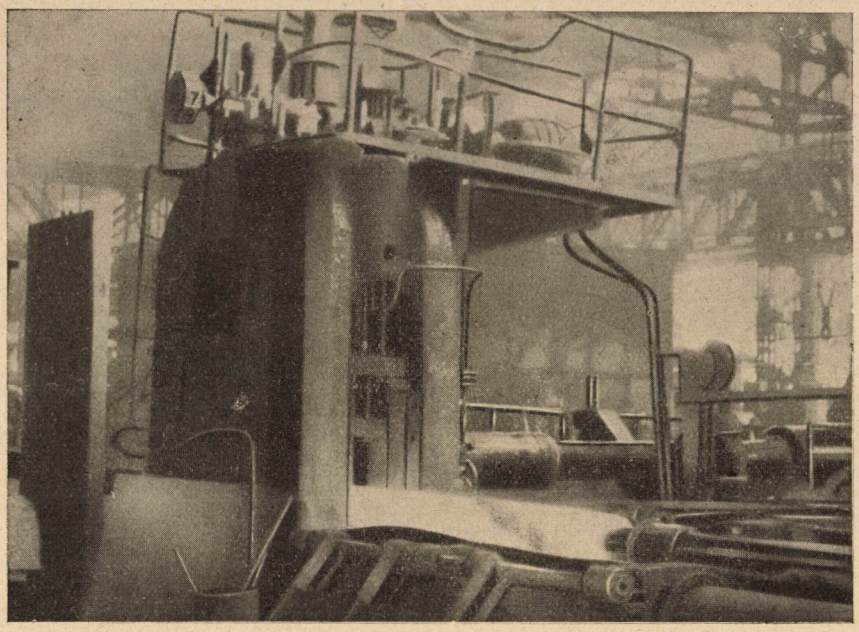
[Beérkezett 1956. február 13-án]

Ma már több mint hat évtizede annak, hogy sikerült vékonyfalú varratnélküli acélcsövet nyújtóhengerléssel, az ún. pilgerezéssel előállítani. Az eljárás azóta természetesen technikailag sokat tökéletesedett. A nyújtóhengerléskor mutatkozó jelenségek tudományos feltárása azonban nem tartott lépést a technikai tökéletesedéssel. A pilgerezéskor keletkező erőket legelőször G. B. LOBKOWITZ mérte 1927-ben [1]. Foglalkozott ezen erők mérésével F. KOCKS [2] is egy 1933-ban megjelent közlemény szerint, azonban eredményeit sajnos nem közölte. A csőnyújtóhengerléskor keletkező erőknek számítás útján történő meghatározására legelőször GELEJI S. dolgozott ki eljárást [3], amely erre a célra még ma is az egyetlen. GELEJI számítási eljárásának megbízhatóságát LOBKOWITZ kísérleti adatai igazolják, azonban a rendelkezésre álló kisszámú kísérleti adatot még nem tartottuk eléggé meggyőzőnek a számítási eljárás megbízhatóságának bizonyítására. A számítási eljárás helyességének igazolására további kísérleti adatokra volt szükségünk, és ezért erő- és teljesítménymméréseket végeztünk egyik csőgyárunkban (1. ábra).

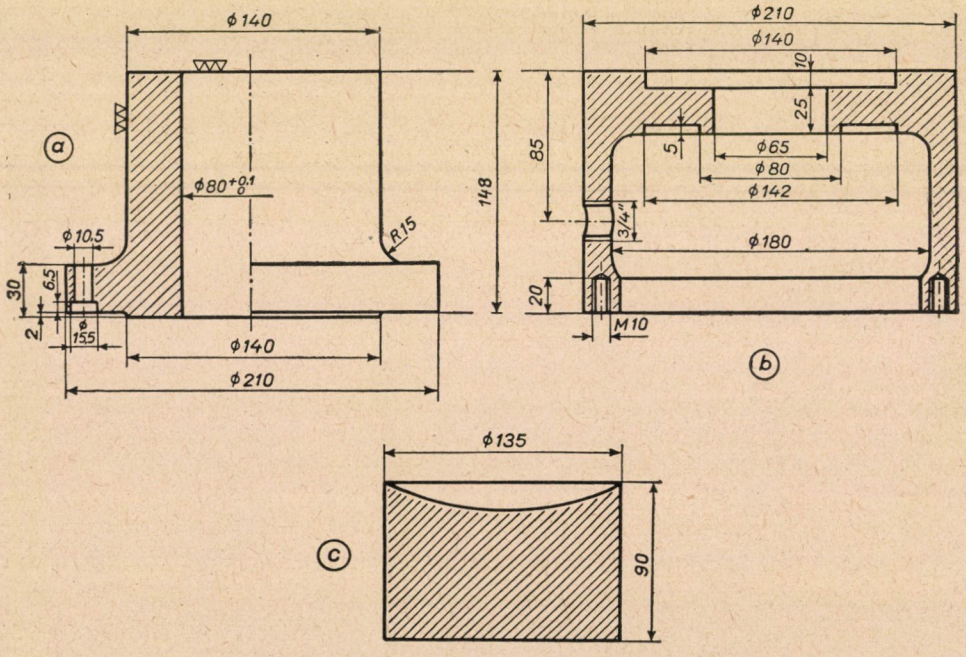
Az alábbiakban a végzett mérések eredményeit ismertetjük.

A kísérleti berendezés leírása

A nyújtóhengerléskor keletkező csapnyomásokat első mérési kísérleteinknél induktív-mérődobozokkal (SCHILDKNECHT—Zürich), a hozzátartozó erősítőberendezéssel és háromhúros katódsugár oszcillográffal mértük. A méréseket néhány cső hengerlése után abba kellett hagyni, mert az induktív-mérődobozok a pilgerhengerléskor keletkező dinamikai igénybevételeket nem bírták ki. Folytonosan hibásak lettek, amellett a hitelesítési adatok sem bizonyultak megbízhatóknak. Kísérleteink további folyamán kénytelenek voltunk az induktív-mérődobozok használatát mellőzni, és helyettük nyúlásmérő drótkígyókkal felszerelt mérődobozokat készítettünk megfelelő erősítővel. A Wheatstone-hídba kapcsolt nyúlásmérő drótkígyókat 8000 Hz vivőfrekvenciával tápláltuk, az ellenállás változását erősítőn és demodulátoron keresztül húros oszcillográf segítségével regisztráltuk fényérzékeny papírra.

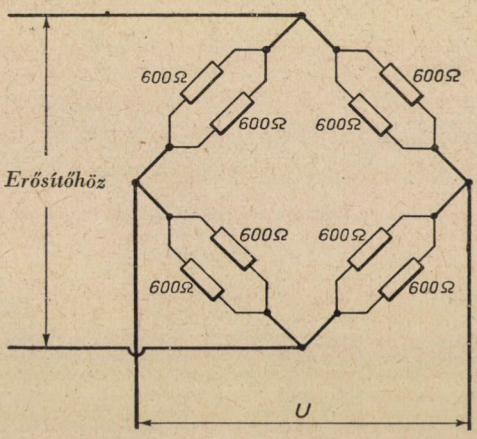


1. ábra. A kísérleti hengermű



2. ábra. Mérődoboz 300 t-ig

A méréseknél felhasznált 300 tonnás mérődoboz rajzát a 2. ábra mutatja. A dobozok CrV150 acélból készültek, hőkezelés utáni szilárdságuk 110—130 kg/mm² volt. A nyúlásmérő drótkígyók felragasztása a mérőtest hengerpalástjára úgy történt, hogy az egymással szemben levő oldalakra párosával 600 Ω ellenállású $k = 2{,}0$ érzékenységű nyúlásmérő drótkígyókat ragasztottunk párhuzamosan kapcsolva hossz-, illetőleg keresztirányban. A kapcsolási vázlatot a 3. ábra mutatja. A nyúlásmérő drótkígyók keresztirányú elhelyezésével $k = 2 \cdot (1 + k) = 2{,}6$-os tényezővel növeltük az érzékenységet, az excentrikus igénybevétel hatását messzemenően kiküszöböltük, egyúttal a hőmérséklet-



3. ábra. A nyúlásmérő szalagok kapcsolása a Wheatstone-hídban

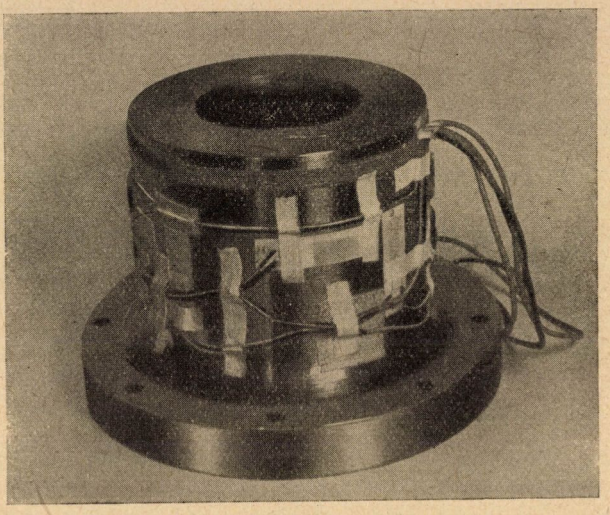
kompenzációt is elvégeztük. A nyúlásmérő drótkígyókkal felszerelt mérőtestet a 4. ábrán láthatjuk. Erre a mérőtestre még rákerül az acél védőköpeny (2*b* ábra). A dobozok terhelése az állítócsavarok domború végének megfelelő kördarab (2*c* ábra) segítségével történik. Az összeépített mérődobozok hitelesítése 500 tonnás nyomóprésen történt.

A mérődobozokat az állítóorsó és a tőke közé szereltük be a törőbak helyébe. A dobozokat beszerelt állapotukban az 5. ábra mutatja. A mérőerősítők és az oszcillográf a 6. ábrán láthatók.

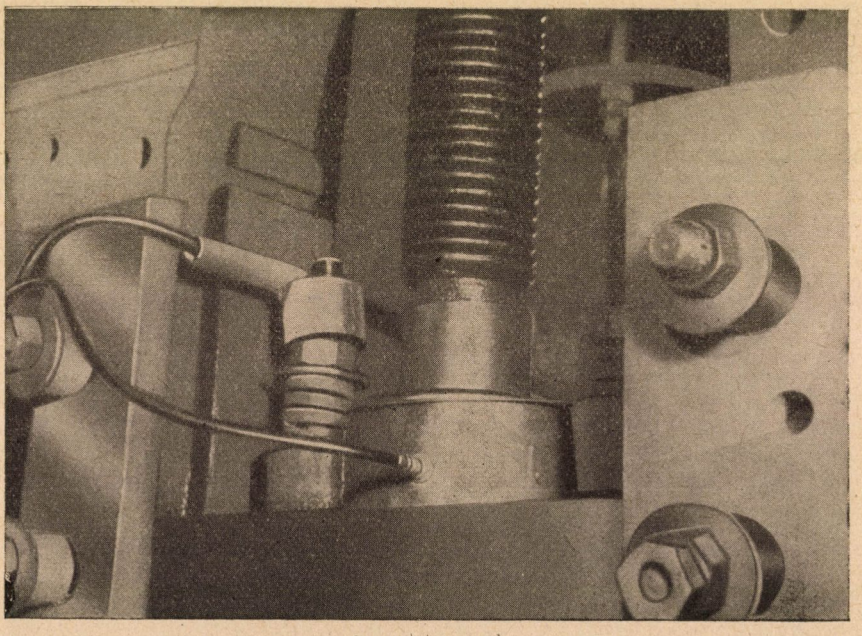
A teljesítmény mérésére regisztráló wattmérő szolgált. A hengersort slipszabályozóval felszerelt forgóáramú motor hajtotta. A teljesítménycsúcsok kiegyenlítését a motor tengelyére ékelt lendítőkerék végezte. A regisztráló műszer a hajtómotor mindenkori áramerősség-felvételét, valamint a teljesítményeket jegyezte fel. Ez a regisztráló berendezés a 7. ábrán látható.

Az etetőkészülék előtolásának mérése oly módon történt, hogy az etetőkészülék ágyára szerelt mérőléc, valamint a szánkóra szerelt mutató segítségével a 30 ütésre eső előtolási távolságot lemértük. A mérési eredményeket tartalmazó táblázatban az egy ütésre jutó átlagos előtolást tüntettük fel.

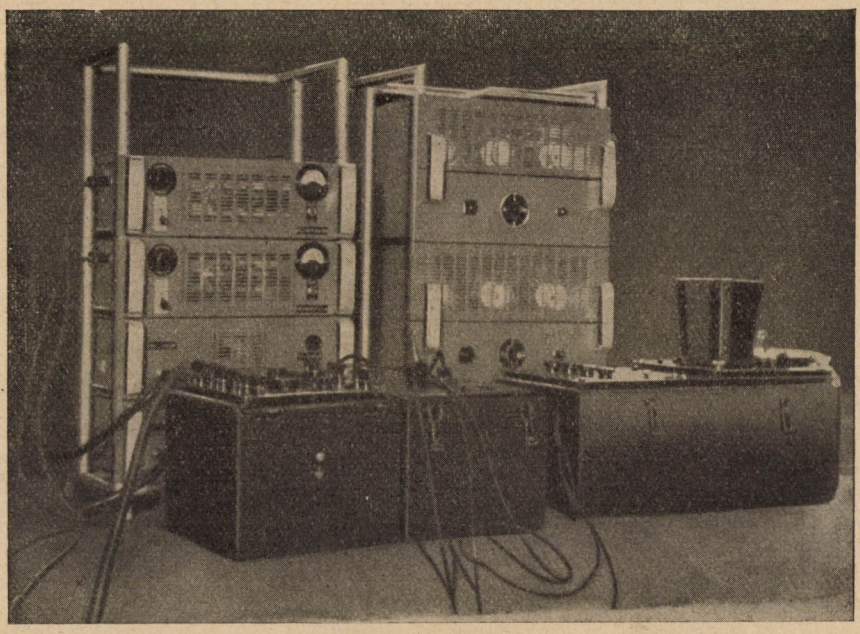
Az ütések közötti elfordítás mértékét a tüsketartóra helyezett jel segítségével mértük. Általában 30 ütésenként megszámoltuk, hány fordulatot tett meg a tüsketartóra helyezett jel. Ebből állapítottuk meg az elfordulás közepes mértékét.



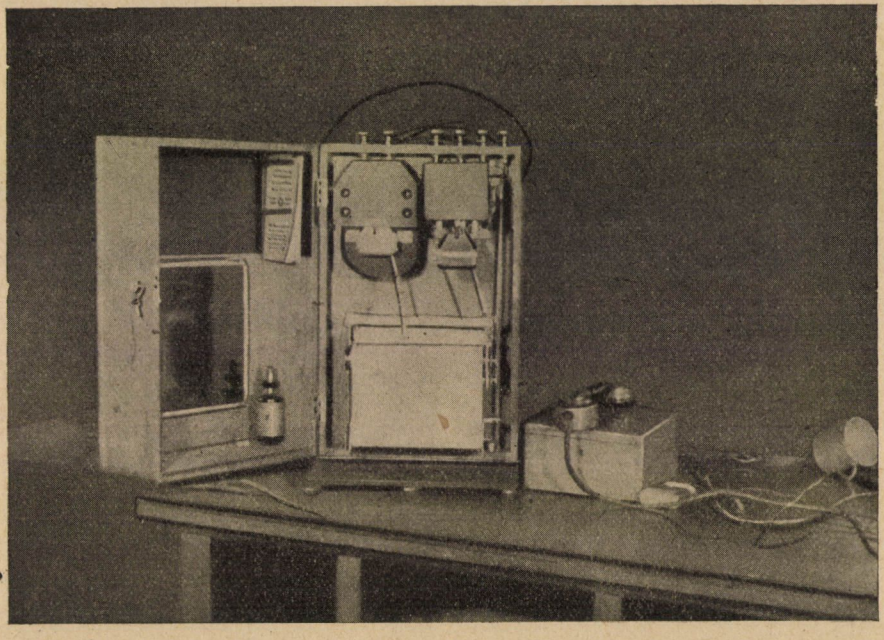
4. ábra. A nyúlásmérő szalagokkal felszerelt mérőtest



5. ábra. A törőbak helyére beszerelt mérődoboz



6. ábra. Az oszcillográf és az erősítő



7. ábra. Regisztráló watt- és ampermérő

A hengerek fordulatszámát néhány cső hengerlése folyamán tachométer-dinamó segítségével regisztráltuk. Megállapítható volt, hogy a lendítőkerék a hengersor egyenletes járását biztosítja, a fordulatszám sem az egyes ütések, sem a cső kihengerlése folyamán nem változott észrevehetően. Így a további méréseknél a fordulatszámmérés tachométerrel történt regisztrálás nélkül. A darabok hőmérsékletét optikai pirométerrel mértük.

A nyújtóhengerek méretei

A kísérletezésnél alkalmazott nyújtóhengerek jellemző főméretei a 8. ábrán és az 1. táblázatban találhatók.

1. táblázat

D_2	R_1	R_2	R_3	R_4	A	B
135	145,5	145,5	105,5	20	250	426
161	144,0	144,0	104,0	24	250	440
171	153,0	153,0	118,0	24	250	480
193	140,0	140,0	100,0	24	250	460

A számítási eljárás ismertetése [3]

Jelmagyarázat

D_0 az etetőkészülék tüskéjének átmérője,
D_1 a lyukas rúd külső átmérője (9. ábra),
D_2 a kinyújtott cső külső átmérője,
D_3 a lyukas rúd belső átmérője,
m az etető előtolása egy hengerfordulat alatt,
r a henger dolgozó üregéhez tartozó félátmérő,
Q_1 a lyukas rúd keresztmetszetének területe,
Q_2 a kész cső keresztmetszetének területe,
K_k a maximális közepes alakítási ellenállás
k_k a közepes alakítási ellenállás,
k_f az alakítási szilárdság,
h_1 a lyukasrúd falvastagsága,
h_2 a kész cső falvastagsága,
t a hengerelt darab hőmérséklete [C°],
v a hengerlési sebesség = a hengerek kerületi sebessége (m/sec),
l_1 a lyukas rúd hossza,
l_2 a kinyújtott cső hossza.
n a hengerek fordulatszáma percenként

$$l_d = \sqrt{m \cdot r} \tag{1}$$

a befogás íve a tüske tengelyén keresztülmenő és a hengerek tengelyére merőleges metszet síkjában,

$$b = \frac{D_1 + D_2}{2} \tag{2}$$

a nyomott felületnek a nyomás irányára merőleges síkba eső vetületének szélessége,

$$S = \frac{2}{3} \cdot l_d \cdot b = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{D_1 + D_2}{2} \right) \cdot \sqrt{m \cdot r} \tag{3}$$

a nyomott felület vetülete közelítőleg,

$$K_k = k_f \cdot \left(1 + 5{,}5 \cdot \mu \cdot \frac{l_d}{h} \cdot \sqrt[4]{v} \right) \tag{4}$$

a közepes alakítási ellenállás a hengerrésben,

$$\mu = 1{,}05 - 0{,}0005 \cdot t - 0{,}056 \cdot v \tag{5}$$

a henger felülete és a darab között mutatkozó súrlódási tényező,

$$\boxed{P = S \cdot K_k} \tag{6}$$

a hengerre ható nyomás,

$$e = \frac{Q_1}{Q_2} \tag{7}$$

a meghosszabbodás a hengerlés folyamán,

$$l_k = m \cdot e \tag{8}$$

egy fordulat alatt kihengerelt hossz,

$$\boxed{N = \eta \cdot \frac{F \cdot k_k \cdot v_k}{75}} \tag{9}$$

a tiszta alakítási munka teljesítményszükséglete lóerőben,

$$\eta = 1{,}05 - 0{,}8 \cdot \frac{\Delta h}{h_1} \tag{10}$$

korrekciós tényező,

$$F = Q_1 - Q_2 \tag{11}$$

a fogyás vagyis a keresztmetszetcsökkenés,

$$\Delta h = h_1 - h_2 \tag{12}$$

a falvastagság csökkenése,

$$v_k = \frac{l_2}{i} = \frac{n \cdot m}{60} \tag{13}$$

a cső átlagos kihengerlési sebessége (m/sec),

$$i = \frac{60 \cdot l_2}{n \cdot m} \tag{14}$$

a cső kihengerlésének tartama,

$$k_k = \frac{k_f + K_k}{2} \tag{15}$$

a (8) egyenletben előforduló átlagos közepes ellenállás.

A kísérlethez felhasznált anyag

A kísérletekhez MNOSz 111 számú szabvány szerinti A 34,11-es acélt használtunk. A pontos összetételt a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat

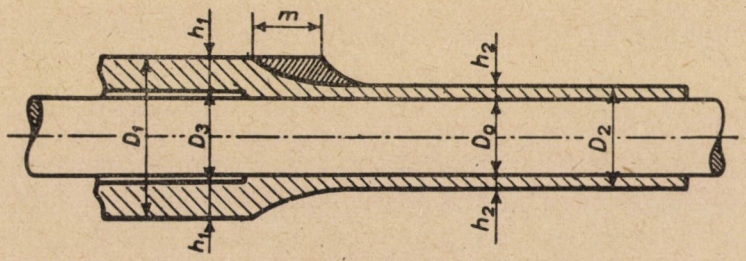
Szám	%				
	C	Si	Mn	S	P
1	0,11	0,29	0,42	0,033	0,015
2	0,11	0,32	0,49	0,030	0,025
3	0,11	0,32	0,49	0,030	0,025
4	0,11	0,32	0,49	0,030	0,025
5	0,14	0,17	0,45	0,044	0,032
6	0,12	0,25	0,56	0,039	0,028
7	0,10	0,15	0,40	0,045	0,025
8	0,12	0,37	0,48	0,037	0,027
9	0,15	0,28	0,50	0,038	0,031
10	0,16	0,22	0,48	0,037	0,027

A felhasznált acél mechanikai tulajdonságai:

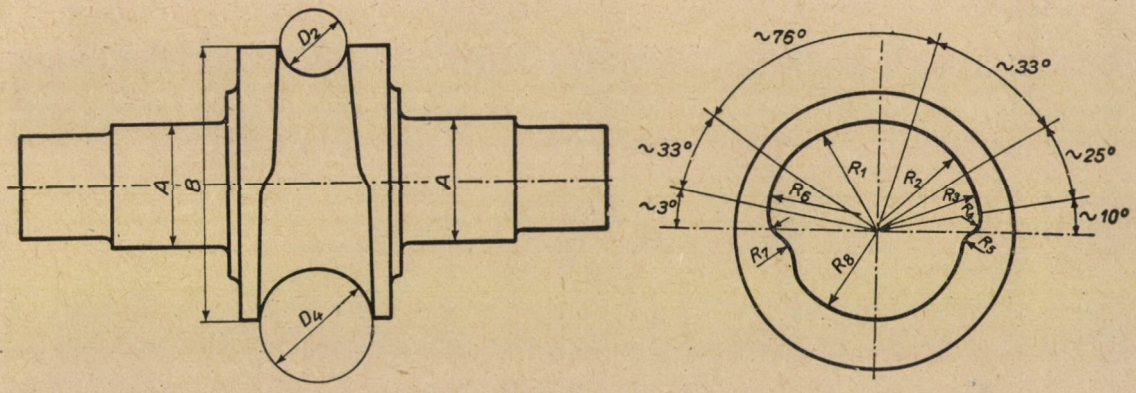
20 C°-on $\sigma_{0,2}$=23,1 — 24,8 kg/mm², σ_B=40,3 — 41,2 kg/mm², δ_{10}=26,5 — — 27,3%; a melegszilárdság 1000 C°-on 2,84 — 3,3 kg/mm².

A kísérleti eredmények értékelése

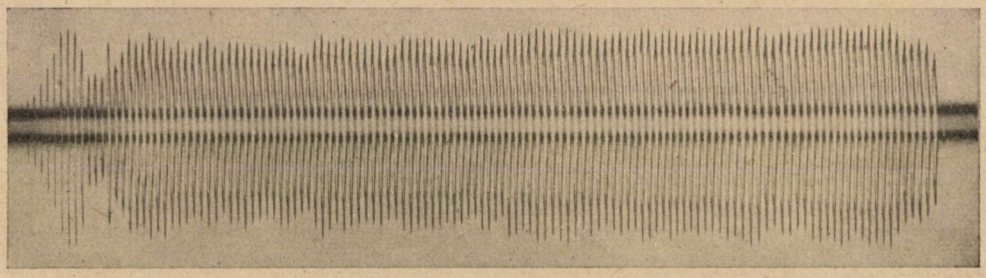
Mint már említettük, minden egyes darab hőmérsékletét közvetlenül a hengerlés megkezdése előtt optikai pirométerrel mértük meg. A hengerlés folyamán történt hőmérsékletmérések bizonytalanok voltak, éppen ezért a 3. táblázatban feltüntetett adatok mind a hengerlés kezdeti stádiumára vonatkoznak.



8. ábra. A hengerlési folyamat vázlatos ábrázolása

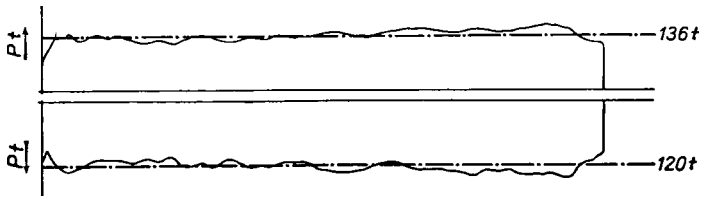


9. ábra. A kísérleti hengerek



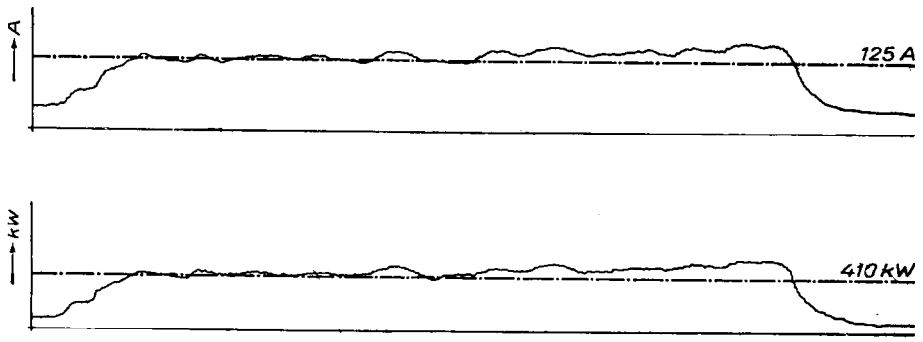
10. ábra. A külső és belső hengernyomás oszcillogramja 246/65 mm-es üreges tuskónak 171/158 mm-es csővé hengerlésekor

A csapnyomásokat, mint már mondtuk, oszcillográffal vettük fel. A külső és belső csapon mért csapnyomások a fényérzékeny papírra egymás mellé, de ellenkező előjellel vannak felvéve, mint az a 10. ábrán látható. Az oszcillogramok kiegyenlítő vonalai a 11. ábrán vannak feltüntetve. A 3. táblázatban



11. ábra. Az oszcillogramok burkológörbéi

feltüntetett hengernyomás a külső és belső csapnyomások összegét jelenti, mégpedig a hőmérsékletmérés bizonytalansága miatt a csőnyújtás kezdeti stádiumában, miután a befogás befejeződött.



12. ábra. A hengermű motorjának teljesítményi és áramerősségi diagramja 246/165 mm-es üreges tuskónak 171/158 mm-es csővé hengerlésekor

A hengersorvonómotorral felvett áramerősséget (A) és a teljesítményt (kW) a regisztráló műszerrel (7. ábra) egymás mellett egy papírszalagra vettük fel. Minthogy a motor tengelyére szerelt lendítőkerék elvégzi a mindenkori munkakiegyenlítést, a teljesítménymérő a motor teljesítményszükségletét, azaz az alakítási munka közepes teljesítményszükségletének (8. egyenlet) motorteljesítményszükségletét regisztrálja. A táblázatban a kihengerlés kezdetére vonatkoztatott teljesítményszükséglet van feltüntetve.

A hengerlési nyomás és teljesítményszükséglet kiszámítása

A számítási eljárás bemutatására az alábbiakban példaképpen közöljük a 171/158,5 mm méretű acélcsőnek 246|155 mm lyukas rúdból való kihengerlésekor keletkező hengerlési nyomás és teljesítményszükséglet számítás útján történő meghatározását. A 8. ábra és az 1. és 3. táblázat értelmében

$D_0 = 158{,}5$ mm,
$D_1 = 246{,}0$ mm,
$D_2 = 171{,}0$ mm,
$D_3 = 165{,}0$ mm,
$m = 16{,}75$ mm,
$r = 118$ mm,
$Q_1 = 26146{,}7$ mm^2,
$Q_2 = 3182{,}3$ mm,
$h_1 = \frac{D_1 - D_3}{2}$ mm,
$h_2 = \frac{D_2 - D_0}{2}$ mm,
$t = 1000$ C°,
$n = 68$/perc,
$R_3 = 118$ mm^2.

A nyomott felületnek a nyomás irányára merőleges síkba eső vetületének szélessége (2. egyenlet):

$$b = \frac{246 + 171}{2} = 207{,}5 \text{ mm},$$

A befogás íve (1. egyenlet):

$$l_d = \sqrt{16{,}75 \cdot 118} = 44{,}4 \text{ mm},$$

a nyomott felület vetülete (3. egyenlet):

$$S = \frac{2}{3} \cdot 44{,}4 \cdot 207{,}5 = 6080 \text{ mm}^2,$$

a hengerlési sebesség:

$$v = \frac{68 \cdot 0{,}236 \cdot \pi}{60} = 0{,}84 \text{ m/sec},$$

a hengerelt darab és a hengerek között fellépő súrlódási tényező:

$$\mu = 0{,}94 - 0{,}0005 \cdot 1000 - 0{,}056 \cdot 0{,}84 = 0{,}39.$$

Az alakítási szilárdság 1000 C° mellett:

$$k_f = 3 \text{ kg/mm}^2,$$

a közepes alakítási ellenállás (4. egyenlet):

$$K_k = 3 \cdot \left(1 + 5{,}5 \cdot 0{,}39 \cdot \frac{44{,}4}{6{,}25} \cdot \sqrt[4]{0{,}84}\right) = 46{,}6 \text{ kg/mm}^2,$$

a hengerlési nyomás (6. egyenlet):

$$P = 6080 \cdot 46{,}6 - 283\,000 \text{ kg, azaz } 283 \text{ tonna}.$$

A kihengerelt cső hossza:

$$l_2 = 13{,}1 \text{ m},$$

a kihengerlés tartama:

$$i = 120 \text{ sec},$$

az átlagos kihengerlési sebesség (11. egyenlet):

$$v_k = \frac{13{,}1}{120} = 0{,}109 \text{ m/sec},$$

a korrekciós tényező:

$$\eta = 1{,}05 - 0{,}8\,\frac{34{,}25}{40{,}5} = 0{,}4,$$

a keresztmetszetcsökkenés:

$$F = 26\,146{,}7 - 3182{,}3 = 22\,964{,}4 \text{ mm}^2.$$

Az átlagos közepes alakítási ellenállás a hengerlés elején:

$$k_k = \frac{k_f + k_k}{2} = \frac{3 + 46{,}6}{2} = 24{,}8 \text{ kg/mm}^2,$$

$$N_a = 0{,}4 \cdot \frac{22\,964{,}4 \cdot 0{,}1 \cdot 24{,}8}{75} = 304 \text{ LE} = 224 \text{ kW}.$$

A csapsúrlódási munka átlagos teljesítményszükséglete:

$$N_s = \frac{1}{2} \cdot \frac{2P \cdot \mu_{cs} \cdot v_{cs}}{75} = \frac{283\,000 \cdot 0{,}05 \cdot 0{,}9}{75} = 169 \text{ LE} = 125 \text{ kW}.$$

A hengersor üresjárási teljesítményszükséglete (mérés) $N_{ü} = 90$ kW.
Ezek szerint a 171/158,5 mm méretű acélcső kihengerlésének teljesítményszükséglete:

$$N = N_a + N_s + N_{ü} = 224 + 125 + 90 = 439 \text{ kW}.$$

IRODALOM

1. Lobkowitz, G. B.: Über Walzdruck an einem Pilgerwalzwerk. Röhrenindustrie, Berlin, 1936. S. 19/54.
Lobkowitz, G. B.: Über die Grundlagen zum Entwurf von Pilgerwalzwerken. Stahl u. Eisen, 47 (1927). S. 1277/1280.
2. Kocks, Fr.: Untersuchungen über den Pilgervorgang. Stahl u. Eisen, 53 (1933). S. 441/446.
3. Geleji, S.: A Mannesmann-rendszerű csőnyújtóhengermű tervezésének elméleti alapjai. Bányászati és Kohászati Lapok. 1939. 14. sz.
Geleji, S.: Kohógéptan. Budapest, Tankönyvkiadó. 1953. 522/531. old.

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a csőnyújtóhengerlésnél keletkező hengernyomás és teljesítményszükséglet kísérlet és számítás útján történő meghatározásával foglalkozik. A kísérleti mérések középsori pilgerhengerállványon történtek, nyúlásmérő drótkígyókkal felszerelt nyomótestek és oszcillográf segítségével, a számított értékeket a Geleji-féle számítási eljárással határoztuk meg. A kísérleti és számított eredmények közötti eltérések a gyakorlatilag megengedhető hibahatárokon belül vannak.

A HAZAI VILLÁMKUTATÁS EDDIGI EREDMÉNYEI*

VEREBÉLY LÁSZLÓ

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA LEV. TAGJA
VILLAMOSMŰVEK ÉS VASUTAK TANSZÉKE, MŰSZAKI EGYETEM, BUDAPEST

[Beérkezett 1956. február 27-én]

A következő összefoglalás tájékoztatást kíván nyújtani azokról a néhány év óta folyó kutatásokról, amelyeket a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosművek Tanszéke végez a magyarországi zivatarok villamos energiahálózatunkat közelről érintő természetének felderítésére.

A bevezetőben nyomatékosan rá kell mutatni arra, hogy eddigi eredményeink a külföldiekhez viszonyítva nagyon szerények és ezért kevéssé megbízhatók. A külföldön, különösen Németországban, Svájcban, Svédországban, az Amerikai Egyesült Államokban, Dél-Afrikában — hogy csak a legfontosabb úttörőket említsem — már évtizedekkel ezelőtt megszervezték és azóta is megfelelő áldozatkészséggel támogatják a rendszeres villámkutatást. Ennek eredményeképpen egyrészt általános érvénnyel felderítették a villámcsapásoknak, mint a zivatarfelhők és a földi tárgyak között létrejövő villamos kisüléseknek természetét, kialakulását és lefolyását, másrészt helyi jelentőséggel megállapították egyes területrészek felett évenként átlagosan átvonuló zivatarok gyakoriságát és a lesújtó villámok veszélyességének tájékoztató mértékét.

Az első problémával, felszerelés híján, nem tudtunk foglalkozni, ami felett érzett sajnálatunkat csak az enyhíti, hogy bár a zivatarfelhők villamos töltésének keletkezésére vonatkozó elméletek még nem teljesen kiforrottak, a villámcsapások jelenségei már részleteikben is kielégítő megbízhatósággal felderítetteknek tekinthetők. Ezért törekvésünket a másodiknak említett feladatkörre összpontosítottuk, amely szerény anyagi és tárgyi eszközökkel is művelhető, s amely villamos energiarendszerünk kiépítése és üzembiztonsága szempontjából nemcsak időszerű, de nagyon fontos is, mert az idevágó, hazánk légköri és terepviszonyaiból adódó kérdésekre csakis hazai kutatással kaphatunk választ.

Arra, hogy a villámcsapások milyen veszélyt jelentenek és mekkora károkat okoznak Magyarországon, a következő néhány összegyűjtött statisztikai adat nyújt tájékoztatást.

* A Magyar Tudományos Akadémián 1956. február 6-án tartott előadás.

A villámcsapásoktól *halálra sújtott emberek* száma [1]:

az	1946.	1947.	1948.	1949.	1950.	1951.	1952.	1953.	1954. évben
összesen	49	93	34	66	71	59	50	101	110

azaz 9 év alatt összesen 533, évi átlagban 60 lélek volt, azonban egyes, főleg az utolsó két évben számottevően több. Ezekhez járul még a villám-sújtotta, de csak megsérült egyének száma, amely nem egészen teljes statisztikai adatgyűjtés szerint 1953-ban ugyancsak 100—110 körül volt. Ha Magyarország lakosainak számát a 9 év átlagában kereken 9,5 millióval vesszük számításba, akkor ez azt jelenti, hogy hazánk minden millió lakosából évenként átlagosan 6—7 embert, de zivatarosabb években, mint éppen a két utolsóban, 10—11 embert öl meg a villám, míg Svájcban 5—6, Németországban 4 embert. A különféle lábasjószágban évente okozott kár félezer körül van, aminek több mint fele szarvasmarha.

A villámcsapások okozta *tűzesetek* száma az utolsó négy esztendőben [2]

év:	1951	1952	1953	1954
tűzeset:	280	184	211	227

tehát összesen 902, évi átlagban 226 volt, amiből a nyári félév legzivatarosabb két hónapjára, azaz júniusra 61, és júliusra 76, vagyis naponként több mint két tűzeset, tehát ugyanennyi gyújtóvillám esik.

Az okozott *károk nagyságára* nézve az Állami Biztosító adatai adnak felvilágosítást, de csak 1953-tól kezdve, mert a biztosítás ekkor vált kötelezővé [3].

A kifizetett kárösszeg	1953-ban	824 káresetért	1 599 151 Ft,
	1954-ben	1180 „	2 266 468 „

volt, mindennemű (épületekben, felszerelésben, terményekben stb.) szenvedett kárt beleértve, de nem számítva az állami tulajdonban levő ingatlanokban és ingóságokban, valamint a villamos energiahálózat berendezéseiben okozott károkat. Az utóbbiakra nézve a következők nyújtanak némi tájékoztatást.

*Szabadvezetékeink*et illetően — a szórványos adatokat nem tekintve — a legrégibb rendszeres feljegyzések a Budapest—Bánhida—Horvátkimle közötti, kereken 160 km hosszú, egy védővezetővel felszerelt, kétrendszerű 110 kV-os távvezetékünkről állnak rendelkezésre [4] az I. táblázat adatai szerint, amely különválasztva tartalmazza a villámcsapások és az átívelések számát, bár az utóbbiak egy része bizonyára még szintén villámcsapásoktól származott. E statisztika szerint 12 év átlagában évenként a távvezetéket 36,4 km-enként érte

villámcsapás, és 19,8 km-enként volt egy átívelés ; fordítva : 100 km vezetékhosszra jutott 2,76 villámcsapás és 5,05 átívelés. Hozzá kell tennünk, hogy a vezeték tudvalevően a zivatarok vonulásának irányába esik és villámvédelme a harminc év előtti gyakorlatnak felel meg, ezért veszélyeztetettsége aránylag nagy.

I. táblázat

Villámcsapások és átívelések száma a Budapest—Bánhida—Horvátkimle távvezetéken

Villámcsapások	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940	1941	1942	Összesen
Budapest—Bánhida	0	0	1	2	3	0	5	5	4	5	1	2	28
Bánhida—Horvátkimle	1	1	3	3	0	4	0	0	2	9	0	2	25
Összesen	1	1	4	5	3	4	5	5	6	14	1	4	53
Átívelések													
Budapest—Bánhida	1	0	2	0	2	4	2	0	3	2	6	10	32
Bánhida—Horvátkimle	1	2	1	0	4	5	8	3	13	10	2	6	65
Összesen	2	2	3	0	6	9	10	3	16	12	8	16	97

Energiarendszerünknek állami tulajdonba és kezelésbe való vétele, s az ehhez szükséges szervek megalakítása, lényegesen megkönnyítette a vezetékhálózatunk üzemzavarait előidéző okok rendszeres megállapítását és statisztikai feldolgozását.

II. táblázat

A 60—120 kV feszültségű távvezetékhálózat üzemzavarainak száma

	1951	1952	1953	1954
Összes üzemzavarok száma	46	36	96	159
Villámcsapás okozta üzemzavarok száma	19	10	15	19
Villámcsapás/összes üzemzavar %	41,3	27,8	15,6	12,0
Vezetékhossz km/villámzavar	46,5	113,7	96,2	82,5
Villámzavar/év/ 100 km	2,15	0,88	1,04	1,22

Az OVIT kezelésében levő 60—120 kV feszültségű távvezetékhálózaton fellépett üzemzavarokról a II. táblázat nyújt felvilágosítást. Látható, hogy a villámcsapások részesedése az összes üzemzavarok számában örvendetesen csökken, ellenben a villámcsapások okozta üzemzavarok vezetékmenti sűrűsége

az 1952-ben elért kedvező eredményhez képest kissé növekedni látszik. Ebből — első benyomás alapján — azt a következtetést lehetne levonni, hogy a 120 kV-os távvezetékeink üzembiztonsága csökken, annál is inkább, mert a 60 kV feszültségű távvezetékeink hossza 1952-től kezdve változatlan, tehát viszonylagosan mindig kisebb befolyást gyakorol. Ez a következtetés azonban téves lenne, mert amint a következő táblázatok is mutatják, az 1952. év a zivatarok szempontjából rendellenes és az energiaszolgáltató vállalatokra nézve általában kedvező volt. A villámcsapások okozta károk és zavarok 1952-höz képest más téren is növekedtek.

III. táblázat

Áramszolgáltató vállalatok 2—35 kV feszültségű hálózatának üzemzavar-statisztikája

Év	Külön jelentendő üzemzavarok	ÉDÁSZ Észak-Dunántúli Győr	DÉDÁSZ Dél-Dunántúli Pécs	ÉMÁSZ Észak-Magyar. Miskolc	DÉMÁSZ Dél-Magyar. Szeged	TITÁSZ Tiszántúli Debrecen	BFEM Szabadvezeték	Σ, BFEM nélkül	Σ, BFEM-mel együtt
1952	Összes üzemzavar ...	115	133	144	70	163	314	625	939
	Villámcsapás okozta üzemzavar	21	26	34	14	33	53	128	181
	Villám/összes % ...	18,3	19,6	23,6	20	20,3	16,9	20,5	19,3
	Villámcsapás/100 km	0,46	0,73	1,29	0,611	1,49	6,6	0,84	1,13
1953	Összes üzemzavar ...	154	163	238	98	133	287	786	1073
	Villámcsapás okozta üzemzavar	64	50	78	40	33	66	265	331
	Villám/összes % ...	41,6	30,8	32,8	40,8	24,8	23	33,7	30,9
	Villámcsapás/100 km	1,3	1,25	2,74	1,6	1,325	7,7	1,58	1,88
1954	Összes üzemzavar ...	160	111	172	91	123	74	657	731
	Villámcsapás okozta üzemzavar	58	69	101	44	45	47	317	364
	Villám/összes % ...	36,4	62,3	58,8	48,3	36,6	63,5	48,3	49,8
	Villámcsapás/100 km	1,12	1,62	3,27	1,66	1,65	5,1	1,77	1,93
1955 I.—IX.	Összes üzemzavar ...	99	95	119	56	89	48	458	506
	Villámcsapás okozta üzemzavar	42	57	52	32	42	24	225	249
	Villám/összes % ...	42,4	60	43,7	57,1	47,2	50	49,1	49,2
	Villámcsapás/100 km	0,81	1,34	1,69	1,2	1,54	2,6	1,26	1,32
	Négy év átlagában villámcsapás/100 km	0,922	1,231	2,248	1,267	1,502	5,493	1,362	1,563

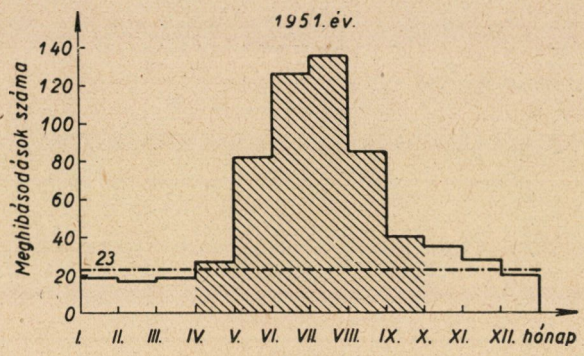
Az öt *Áramszolgáltató Vállalat 2—35 kV feszültségű* elosztó hálózatának ún. külön jelentendő üzemzavaraira vonatkozó statisztikai adatokat a III. táblázat foglalja össze. Ebből azt látjuk, hogy a villámcsapások sűrűsége, amire

IV. táblázat

Áramszolgáltató vállalatok 2—35 kV feszültségű hálózatának esemény-statisztikája. 1954.

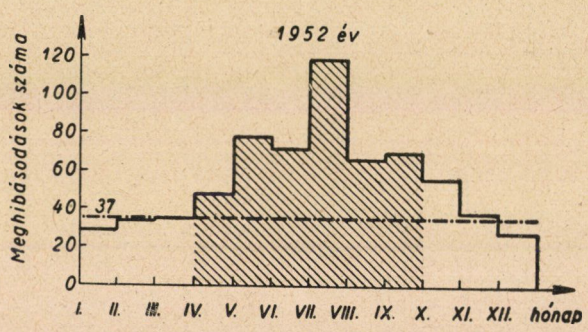
Hálózaton történt események	ÉDÁSz Győr			DÉDÁSz Pécs			ÉMÁSz Miskolc			DÉMÁSz Szeged			TITÁSz Debrecen			BFEM Budapest			Σ, BFEM nélkül	Σ', BFEM-mel együtt
	Feszültség kV			Feszültség kV			Feszültség kV			Feszültség kV			Feszültség kV			Feszültség kV				
	2—10	15—22	30—35	2—10	15—22	30—35	2—10	15—22	30—35	2—10	15—22	30—35	2—10	15—22	30—35	2—10	15—22	30—35		
Összes események	260	510	135	39	68	82	288	1408	85	187	649	49	47	683	23	112	111	27	4513	4763
Villámcsapás okozta események	49	138	45	30	32	42	143	498	22	91	310	10	6	126	6	14	27	6	1538	1585
Villám/összes %	18,9	27,1	33,3	51,3	47	51,2	49,75	35,4	25,9	48,75	47,8	20,4	12,8	18,5	26,1	12,5	24,3	22,2	34	33,3
Villámcsapás/ 100 km ...	6,93	3,87	4,91	7,27	1,02	4,94	26,4	23,2	5,53	21,1	14,4	1,37	2,35	5,59	2,75	4	6	4,93	8,58	8,41

a 100 km vezetékhosszra eső villámcsapások okozta üzemzavarok számából lehet következtetni, az országnak a Dunával elválasztott két felében igen számottevően különböző. A nyugati országrész hálózata sokkal kevésbé szenvedett, mint a keletié, különösen annak északi harmadáé. A legkedvezőbb viszo-



1. ábra

nyokat a Dunántúlnak a Zala—Balaton—Sió vonalától északra eső felében találjuk, vagyis az ÉDÁSz területén, jóllehet ennek egyes részeit sűrűn látogatják a zivatarok. Ezután következik az ország déli fele, mind a Dunántúlon, mind

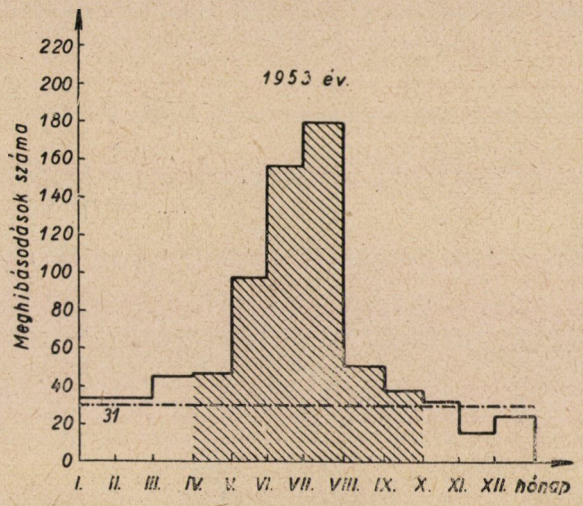


2. ábra

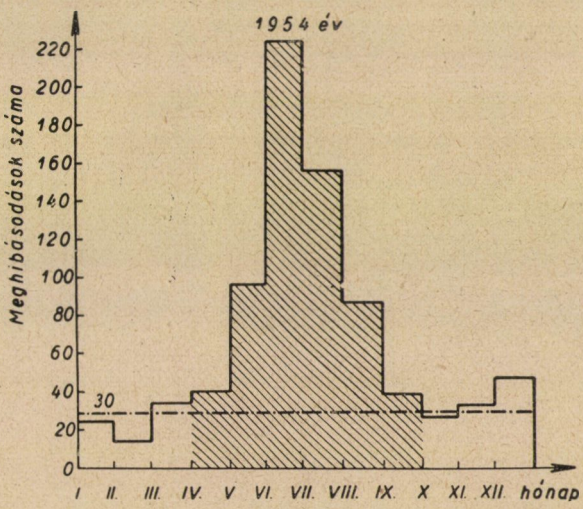
a Dunán innen, amely a DÉDÁSz, illetve a DÉMÁSz ügyletkörébe tartozik. Már lényegesen kedvezőtlenebbek a viszonyok a Tiszántúlnak a Körös vonalától északra eső, a TITÁSz kiszolgálta területen és végül kimagaslóan legnagyobb a villámtevékenység okozta zavarok száma a keleti országrész északi harmadában, amelyet az ÉMÁSz vezetékei hálóznak be.

A táblázatban feltűnik a BFEM szabadvezeték-hálózatán mutatkozó nagy zavar-sűrűség; ezt azonban a statisztikai adatfelvételnek, illetőleg kimutatásnak a vidéki áramszolgáltatókétól eltérő módszere teljesen megmagyarázza. Amíg ugyanis a III. táblázatban az Áramszolgáltató Vállalatok részéről csak az ún. *külön jelentendő üzemzavarok* szerepelnek, addig a BFEM adatai a sza-

badvezetéki hálózatán előfordult mindenfajta eseményt magukban foglalnak. Ezért helyes összehasonlítási alapul csak a IV. táblázat szolgálhat, amely a 2—35 kV feszültségű hálózatokon 1954-ben bekövetkezett valamennyi esemény-



3. ábra



4. ábra

ről ad számot, s amelyben a BFEM már az őt megillető helyet foglalja el. E táblázat adatai megerősítik a III. táblázatból vont ama következtetést, hogy az ország keleti felében több zavart okoz a villámlás, mint a nyugatiban, és a villámcsapások legsűrűbben az ÉMÁSz hálózatát sújtották. Érdekes azonban,

V. táblázat

Vidéki áramszolgáltató vállalatok transzformátor sérüléseinek száma

		1951	1952*	1953	1954
A	Január	19	29	34	24
	Február	17	34	34	14
	Március	19	35	46	34
B	Április	27	48	47	40
	Május	82	78	98	97
	Június	126	72	157	224
	Július	136	119	180	156
	Augusztus	85	67	51	87
	Szeptember	40	70	38	39
C	Október	35	57	32	26
	November	28	39	16	33
	December	20	28	25	47
D	Összesen	634	676	758	821
E	A nyári félévre esik ΣB	496	454	571	643
F	A téli félévre esik $\Sigma(A + C)$	138	222	187	178
G	A zivatarok okozta többlet: $E—F$	358	232	384	465
H	A zivatarok okozta többlet: $\frac{E}{F}$	3,6	2,05	3,06	3,61
I	$\frac{\text{A zivatarok okozta többlet}}{\text{A nyári összes sérülések száma}} \frac{G}{E}$ %	72,2	51,1	67,3	72,4
J	$\frac{\text{A zivatarok okozta többlet}}{\text{Az egész évi sérülések száma}} \frac{G}{D}$ %	56,5	34,3	50,6	56,6
K	Az összes transzformátorok zivatar folytán megsérült %-a	5,96	3,37	4,84	5,48

* Az 1952. év a zivatarok havi előfordulása tekintetében rendellenes volt.

hogy amíg a 30—35 kV feszültségű vezetékek villámzavar-sűrűsége az ország egész területén nagyjából azonos és kielégítő, addig a 22 kV-os és ennél kisebb feszültségű hálózatok villámzavar-sűrűsége az ÉMÁSz és a DÉMÁSz területén abszolút és viszonylagos értékben feltűnően nagy.

Az Áramszolgáltató Vállalatok hálózatában felszerelt *transzformátorok* meghibásodásaira az 1—4. ábra és az V. táblázat ad felvilágosítást. Az ábrák szembeszökően mutatják a transzformátor-meghibásodásoknak a nyári félévben, de különösen a nyári hónapokban bekövetkező ugrásszerű növekedését, amit nyilván a zivatarok okoznak. Jól szemléltetik az ábrák azt is, hogy az 1952. évben a zivatarok járása más volt, mint másik háromban, nemcsak azért, mert a nyári csúcsértékek kisebbek, hanem és főleg azért, mert a téli félév hónapjaiban viszont sokkal több volt a meghibásodások száma, mint a többi években. Ez más szóval azt jelenti, hogy 1952-ben a zivatarok egyenletesebben oszoltak el.

Az ábrák szemléltető értékeinek kiegészítésére szolgálnak az V. táblázat adatai, amelyek számszerűen igazolják a transzformátoroknak a zivatarok okozta nagyfokú veszélyeztetettségét. A kimutatott összes meghibásodások számából (D) a villámcsapások okozta meghibásodások valószínű számát annak feltételezésével állapíthatjuk meg, hogy az utóbbiak csak a nyári félévben, áprilistól októberig keletkeznek. Ha tehát a nyári meghibásodások teljes számából (E) levonjuk a téli félévre eső, egyéb okok előidézte meghibásodások számát (F), akkor megkapjuk ama meghibásodások számát, amelyek a villámcsapásoknak tulajdoníthatók (G). Amint látható (H), a nyári hónapok folyamán a villámcsapások következtében a meghibásodások száma megsokszorozódik, és a zivatarok okozta többlet a nyári összes sérülések számának átlag 70%-a (I), az évi összes sérülések számának pedig több mint a fele (J). Az üzemben levő transzformátoroknak 5—6%-a esik évenként a zivatarok áldozatául (K). Ezért nagyon is indokolt azok véleménye, akik a középfeszültségű villamoshálózat transzformátorainak védelmére jól működő túlfeszültséglevezetők vagy más egyenértékű védőberendezések legszélesebbkörű felszerelését sürgetik.*

A villámcsapások okozta károk jelentőségének e néhány statisztikai adattal történt kidomborítása elegendőnek látszik ama törekvés helyességének igazolására, hogy hálózati tervezőink és üzemvezetőink számára olyan adatokat gyűjtsünk össze, amelyek az eddig rendelkezésre állóknál nagyobb mértékben alkalmasak arra, hogy villamos energiahálózatunk üzembiztonságának fokozása céljából szükséges megelőző intézkedések alapjául szolgáljanak.

* A villámcsapások okozta meghibásodások számának megállapítására alkalmazott fenti átlagozó módszer eredménye természetesen kissé különbözhetik a valóságtól, mert a villámcsapások havi eloszlása többé-kevésbé eltérhet az átlagostól, amint azt pl. az 1952. rendellenes év adatai mutatják. A különbség azonban általában nem számottevő, amit bizonyít, hogy a HÁTERV Villamos Hálózati Szolgálata szerint a zivatarok okozta transzformátorsérülések száma 1953-ban 399, 1954-ben 451 volt, az V. táblázatban előforduló számított 384, illetőleg 465 helyett. A hiba tehát 4%-on alul van.

Bizonyára — és saját véleményem szerint is jogosan — fel fog hangzani az a vélemény, hogy a következőkben előterjesztendő, csupán néhány évre terjedő adatgyűjtés távolról sem elegendő arra, hogy a kitűzött célt megnyugtató módon szolgálja. Különösen meteorológus kartársaink elnézését kell kérnünk, mert ők csak műszerrel mért, vagy legalábbis jelzett, több évtizedre terjedő adatsorozatokból megállapítható átlagértékeket szoktak elfogadhatóknak tekinteni, ami teljesen helyes is „sub specie aeternitatis". Nekünk elektrotechnikusoknak azonban szükségleteink és igényeink mások. Egyrészt azért, mert mi megelégedhetünk a légköri viszonyokról nagyságrendűen és viszonylagosan tájékoztató adatokkal, másrészt mert nekünk a zivatarok gyakoriságára és a villámcsapások hevességére vonatkozó adatok nem évek múlva, hanem a jelenleg uralkodó klimatológiai viszonyoknak megfelelően, már *most* kellenek. Magától értetődik, és mi tudatában is vagyunk annak, hogy 5—8 év jelenségeit felölelő adataink nem véglegesek, de a munkát meg kellett kezdeni, hogy legyen min tovább építeni, hogy legyenek olyan kiindulási értékeink, amelyekhez évenként folyamatosan újakat adva, végre kialakíthatók legyenek Magyarország légkörének villamos jelenségeit jellemző olyan adatok, aminőket számos külországban már felderítettek és sikerrel használnak fel.

Ezek a meggondolások késztettek a mai beszámoló megtartására és ezen szempontok szerint kérem az előadandó szerény eredmények értékelését is.

Kutatásaink anyagát két fejezetre osztva tárgyalom: először foglalkozni fogok a zivatarok gyakoriságának kérdésével, helyesebben az ország izokeraunikus szintjének megállapítására irányuló törekvéseinkkel, másodszor a hazánkban lesújtó villámok áramának természetével.

I. Zivatarstatisztikai adatokat eddig csak az Országos Meteorológiai Intézet gyűjtött és állított össze. HAJÓSY Ferenc: „Magyarország csapadékviszonyai" című könyvének [6] XII. táblázata 59 megfigyelő állomás 1901 és 1940 között észlelt zivataros napjainak évi átlagos számát tartalmazza, amiből 25 a teljes 40 év adataira támaszkodik. Dr. AUJESZKY László 1949 őszén hozzám intézett szíves közlése 33 állomáson 1914 és 1938 között végzett megfigyelések átlagolt adatairól ad számot, de ezeknek több mint fele nem 25 évi, hanem sokkal rövidebb észlelési sorozatból származik, amit súlyosbít még az a körülmény, hogy a vidéki állomásokon akkor még jobbára csak mellékfoglalkozású megfigyelők álltak rendelkezésre.

Azt az igényt, hogy az ország nagyobb számú pontján főhivatású megfigyelők éjjel-nappal állandóan észleljenek, a magyar meteorológiai hálózaton csak 1946 után sikerült kielégíteni. Fokozatos fejlődéssel 1954-ben 130 ún. *klíma-állomáson* hivatásos vagy legalább szakképzett személyzet észlelt, és ezenkívül 950 ún. *csapadékmérő állomás* is szolgáltatott adatokat. Ezen utóbbiak azonban a mi céljaink szempontjából nem voltak tekintetbe vehetők, mert a laikus megfigyelők túlnyomó része a napi csapadékmennyiség mérésén és havi jelentésén kívül más észlelésre nincs kötelezve. Mindkét fajta meteorológiai

állomásról 1947 és 1954 közötti időszakból állnak adatok rendelkezésre, de a legtöbbje nem a teljes 8 esztendőre terjedően. Különösen a csapadékmérő állomások adatai hiányosak. A megvizsgált 123 klíma-állomásból csak 36, a

VI. táblázat

Saját megfigyelőhálózatunk észlelőinek megoszlása

	1952	1953	1954	1955
Áramszolgáltató vállalatok körzetszerelői, BFEM	398	698	712	733
OVIT alállomásai és szerelői	17	23	27	26
Meteorológiai Intézet időjelző állomásainak megfigyelői	12	12	13	16
Külső megfigyelők	41	68	62	43
Felkért megfigyelők összesen:	468	801	814	818

VII. táblázat

Saját megfigyelőink megye-körzetenkénti megoszlása 1955-ben

Megye-körzet	Áramszolg. vállalatok	OVIT alállom.-szerelők	Meteor. Intézet	Külső észlelők	Összesen
Győr-Moson-Sopron	37	3	1	—	41
Komárom-Esztergom	33	1	—	1	35
Vas	29	—	2	2	33
Veszprém	52	1	1	6	60
Fejér	34	1	—	1	36
Zala	27	1	2	4	34
Somogy	40	—	1	7	48
Tolna	39	1	—	1	41
Baranya	58	1	1	1	61
Nógrád	23	2	—	3	28
Heves	34	2	—	2	38
Borsod-Abaúj-Zemplén	51	4	2	6	63
Szabolcs-Szatmár-Bereg	44	—	1	1	46
Pest	38	1	—	3	42
Szolnok	34	2	—	—	36
Hajdú-Bihar	26	1	1	1	29
Békés	37	1	1	—	39
Bács-Bodrog-Kiskun	37	1	—	1	39
Csongrád-Csanád	17	2	1	2	22
Budapest (BFEM)	43	1	2	1	47
Összesen	733	26	16	43	818

megbízhatónak minősíthető 238 csapadékmérő állomás közül pedig mindössze 19 jelentett mind a nyolc esztendőben.

Ezért, bármennyire értékesek legyenek is a hivatalos statisztika adatai, azok, a megbízható megfigyelő helyek eddigi aránylag ritka hálózata miatt, a villamosművek igényeit nem elégíthetik ki. Ezért, amidőn tanszékem 1951-ben munkatervébe iktatta a zivatarstatisztika felvételét, a legelső teendő egy lehetőleg sűrű megfigyelőhálózat megszervezése volt.

A hálózat gerincét az állami villamosenergia szolgáltató vállalatok üzemvezetőségei és körzetszerelői alkotják, akikhez, a hálózat egyenletességének biztosítása végett, lényegesen kisebb számmal, az Országos Villamostávvezeték Vállalat (OVIT) alállomásai és szerelői, továbbá az Országos Meteorológiai Intézet repülőtéri észlelő állomásai, és végül a felkért külső megfigyelők (főleg iskolai tanárok) csatlakoznak. A részletes adatokat a VI. és VII. táblázat tartalmazza.

A VI. táblázat szerint 1952-ben 468, 1953-ban 801, 1954-ben 814, 1955-ben 818 megfigyelőhelyet szerveztünk be, ami, az Országos Meteorológiai Intézet megvizsgált 123 klíma- és megbízhatónak minősíthető 238 csapadékmérő állomásával együtt azt jelenti, hogy Magyarország minden harmadik helységében volt valamilyen jelentőségű megfigyelő. Saját észlelőink 1955. évi területi eloszlásáról a VII. táblázat, az összesen 1179 megfigyelőhelyről pedig az A. jelű térkép ad felvilágosítást. Erről látható, hogy az egész országot behálóztuk, a sűrűn lakott területeken természetesen sűrűbben, az Alföld tanyavilágában viszont, az adottságoknak megfelelően, sajnos csak ritkábban.

Megfigyelőinket minden év elején kellő számú, kettős levelezőlap alakú zivatarjelentő lappal látjuk el, amelyen zivataronként 14, újabban 12 kérdőpontra kérünk választ, nevezetesen:

1. A megfigyelés helye.
2. A megfigyelés időpontja.
3. A zivatar a megfigyelőhelyen vonult-e át, vagy X irányban és Y távolságban volt észlelhető.
4. A zivatar vonulásának iránya égtájak szerint.
5. A zivatar időtartama.
6. A hallott első dörgés időpontja
7. Az észlelt első villám időpontja } ezt a két kérdést utóbb kihagytuk.
8. A villámok egymásutánja: ritka — közepes — sűrű.
9. Az eső mértéke mm (csak ha esőmérő áll rendelkezésre).
10. A szél iránya és erőssége.
11. Az észlelt villámcsapások száma és időpontja.
12. Az adatok megbízhatósága.
13. A villámcsapások okozta károk (esetleg kis helyszíni vázlattal).
14. Milyen és mennyi ideig tartó zavart okozott a villámcsapás az energiaszolgáltatásban.

Az előre megcímezett lapokat a megfigyelőknek lehetőleg közvetlenül a zivatar után postán kell a tanszékre eljuttatniok, ahol azok utólag bérmentesíttetnek. Az ezzel járó költségeket a Magyar Tudományos Akadémia részéről a tanszéknek juttatott céltámogatási összegből fedezzük.

A jelentőlapok helyes kitöltése érdekében megfigyelőink nyomtatott útmutatót is kapnak, amely az összes tudnivalókra felvilágosítást nyújt.

1952-ben kereken 6000, 1953-ban, úgyszintén 1954-ben 10 000, 1955-ben 13 000 zivatarjelentő lapot küldtünk szét megfigyelőinknek, akiktől viszont ugyanezen években rendre 2620—4412—4787—3909 jelentés érkezett be (VIII. táblázat).

VIII. táblázat

Saját megfigyelőhálózatunk tevékenységének értékelése

	1952		1953		1954		1955	
Megfigyelővel ellátott helységek száma	445	100%	781	100%	789	100%	783	100%
Rendszeresen jól jelentő megfigyelőhelyek	63	14,2	195	25	201	25,5	177	22,6
Felkért megfigyelő személyek összesen	468	100%	801	100%	814	100%	818	100%
Rendszeresen jól jelentett	86	18,4	205	25,6	211	25,9	182	22,2
Rendszeresen jelentett, de a környék alapján kiegészítésre szorult	40	8,5	12	1,5	1	0,12	21	2,6
Használható volt	126	26,9	217	27,1	212	26	203	24,8
Nem küldött jelentést	91	19,5	212	26,5	225	27,6	269	32,9
Rendszertelenül jelentett	251	53,6	327	40,8	339	41,7	330	40,3
Jelentett, de nem volt felhasználható	—	—	45	5,6	38	4,7	16	2,0
Eredménytelen volt	342	73,1	584	72,9	602	74,0	615	75,2
Kiküldött zivatarjelentő lapok száma kereken	6 000		10 000		10 000		13 000	
Beérkezett és feldolgozott jelentések száma	2 620		4 412		4 787		3 909	

E széleskörű és körültekintő szervezési munka, amely már négy esztendeje folyik, s amelyet GÁBOR Péter adjunktus nagy ügybuzgalommal és sok fáradsággal irányít, sajnos eddig nem teljesen váltotta be a hozzáfűzött reményeket, mert egyrészt a megfigyelők lelkiismeretessége igen tág határok között változó, másrészt a beküldött jelentések egymásnak gyakran ellentmondanak.

Az első nehézséget kétségtelenül a zivatar, illetőleg a zivataros nap fogalmának meghatározásában rejlő — külföldön is meglevő — bizonytalanság okozza. Az Országos Meteorológiai Intézet hivatalos „Útmutatása"[7] szerint „zivatar van, ha dörgést és villámlást, vagy csupán dörgést észlelünk, tekintet nélkül arra, hogy fúj-e erős szél vagy sem, és esik-e eső vagy sem". „Ha dörgés nem hallható, hanem csupán villámlást látunk, akkor villogást kell jelenteni".

A külföldi szakirodalomban a következő, tágabb értelmezésű meghatározásokkal találkozunk: „Zivataros nap az olyan, amelynek folyamán legalább egyszer dörgés volt hallható". Az angol szakszolgálatban ez az izokeraunikus

szint megállapításának alapja. „Közeli a zivatar, ha erős dörgés hallható, vagy a zivatarjelző megszólal". „Közeli zivatar napjában többször is lehet, de két egymást követő zivatar csak akkor számít különállónak, ha közöttük legalább egy óra időköz van. Több zivatar egy napon csak egy zivataros napnak számít".

A mi megfigyelőinknek kiadott utasítás lényege természetesen az Országos Meteorológiai Intézet Útmutatójához alkalmazkodik, de az észlelést szűkebb körzetre korlátozza, amennyiben azt kívánja, hogy „zivatart akkor kell jelenteni, ha villámlás után mennydörgés is hallható, azaz a zivatar a megfigyelőhelytől legfeljebb 5 km-es körzeten belül van. Zivatart kell jelenteni akkor is, ha csak erős mennydörgést hallunk, de villámlást nem látunk". „Nem kell zivatart jelenteni akkor, ha a villámlások csak távolról láthatók, de mennydörgések nem hallhatók". „Távoli megfigyelés esetén ügyelni kell arra, hogy más jelenség (pl. robbantás) tévedésbe ne ejtsen". „Az éjszakai zivatarokról legalább azt kell jelenteni, hogy zivatar volt és kb. mikor".

Noha e meghatározások — véleményünk szerint — elég világosak és határozottak, a megfigyelők egy része mégis félremagyarázza azokat. Egyesek csak a helyi vagy közvetlenül a fejük fölött elzúgó zivatarokat jelentik (minimalisták), mások viszont az egyetlen távoli dörgést is (maximalisták). Ez a felfogásbeli különbség legélesebben a repülőtéri hivatásos megfigyelőkkel kapcsolatban mutatkozik, akik a 15—20 km távolságban elvonuló zivatarokat is észlelik és jelentik, amidőn ugyanakkor az áramszolgáltató vállalatok ugyanazon körzetben levő, de más munkával elfoglalt szerelői a távoli jelenségeket vagy észre sem veszik, vagy figyelmen kívül hagyják. Ez a körülmény, ha mindig következetes lenne, a beküldött jelentések összehasonlításával lehetővé tenné — és egyes esetekben lehetővé is teszi —, hogy az ún. távoli zivatarokat a közeliektől különválaszthassuk. Sajnos azonban a különbözőség esetleges és így csak zavarólag hat, mert szinte lehetetlenné teszi a szomszédos állomások jelentéseinek egymással való ellenőrzését, pedig ez nemcsak a megbízhatóság és a kétes adatok valószínűsítése érdekében lenne kívánatos, hanem azért is, mert lehetővé tenné a megfigyelőhelyeken túlterjedő körzetek zivatari viszonyainak becslését is.

Végül, mint törekvéseink legfőbb akadályát kell felemlítenem beszervezett megfigyelőink igen jelentékeny részének hanyagságát, sőt teljes közömbösségét. A legfelső és a felsőbb hivatalos szervektől minden kért támogatást megkapunk, és ezt ez alkalommal is őszinte köszönettel nyugtázom. A Bánya- és Energiaügyi, és a Vegyipari és Energiaügyi Minisztérium Villamosenergiaipari Igazgatósága utasította a vállalatokat, ezek pedig körzeteiket, hogy a zivatarstatisztika adatainak összegyűjtésében legyenek a tanszék segítségére. Sajnos, a megbízott körzetszerelők számottevő hányada nem érzi át megbízatásának jelentőségét, azt, hogy országos jelentőségű feladatról és annak keretén belül az ő üzemének érdekéről, sőt — ha a kutatás eredményeit kellően hasznosítjuk — az ő munkájának megkönnyítéséről van szó. A nagyon sajnálatos,

gyenge eredményt a VIII. táblázat mutatja, amelyből látható, hogy a beszervezett megfigyelőknek kereken csak ¼-e végzett lelkiismeretes, felhasználható munkát.

Ezzel kapcsolatban — úgy vélem — helyénvaló és tanulságos is, ha a részleteket mellőzve, néhány általános vonással jellemzem megfigyelőhálózatunk működését. A beszervezett megfigyelők szorgalma nemcsak egyénenként különböző, ami érthető, hanem — ami már kevésbé indokolt — az egyes áramszolgáltató vállalatonként, s ezeken belül üzletigazgatóságonként is változó.

Az elmúlt négy esztendőben legrendesebben a DÉMÁSz Vállalat (székhelye: Szeged) körzetszerelői dolgoztak, ezek között is elsősorban a bajai és a békéscsabai üzletigazgatóság területén levők.

A második helyet az ÉDÁSz Vállalat (székhelye: Győr) körzetszerelői foglalják el, s ezek között elsősorban a veszprémi, a szombathelyi és 1954-ig a győri üzletigazgatóság területén állomásozók. Az utóbbi területről azonban sajnálatos és érthetetlen módon, 1955-ben teljesen elmaradtak a rendszeresen jelentők.

Sokkal kevésbé rendszeresen — az országos átlag színvonalát alig elérve — érkeztek jelentések az ÉMÁSz (székhelye: Miskolc), a TITÁSz (székhelye: Debrecen) és a BFEM Vállalathoz tartozó körzetszerelőktől. Az ÉMÁSz Vállalat területén 1955-ben szintén sajnálatosan csökkent a rendszeresen jelentők száma.

Végül utolsó helyen van a DÉDÁSz Vállalat (székhelye: Pécs). Az egész Dél-Dunántúlt felölelő területről, de különösen Zala, Somogy és Tolna vármegye területéről alig kaptunk adatokat. Egyetlen kivétel a keszthelyi üzletigazgatóság, amelynél 1955-ben örvendetes javulás volt tapasztalható.

E nehézségek ellenére és azoktól nem elkedvetlenítve, mégis igyekeztünk hiányos adatainkból olyan eredményeket kimunkálni, amelyek kétségtelenül még javításra és főleg kiegészítésre szorulnak, de azért általános tájékoztatásra — már csak a megfigyelőhálózat sűrűbb voltánál is — alkalmasabbak, mint az eddig rendelkezésre álló adatok.

Vizsgálataink eredményeit négy térkép szemlélteti.

A térképeken látható színes körök a rendelkezésünkre álló és feldolgozott statisztikai adatokból az illető helyre megállapított zivatarok évi átlagos számát tüntetik fel, mégpedig a *B* és a *C* jelű térképen hármas fokozatú, a *D* térképen kettes fokozatú lépcsőzéssel.

A *B jelű térkép* a Hajósy-féle 40 esztendőt felölelő statisztika 59 állomásának és az Aujeszky-féle 25 esztendőre terjedő statisztika 33 állomásának, tehát — az egybeeséseket számításba véve — összesen 73 állomásnak adatait tünteti fel.

A *C jelű térkép* az Országos Meteorológiai Intézet 123 megvizsgált klímaállomása közül 1947 és 1954 között legalább három éven át megbízhatóan jelentő 107 megfigyelőhely adatainak középértékeit mutatja.

A *D jelű térkép* saját beszervezett megfigyelőhálózatunk zivatar-jelentései alapján készült, és 1952 és 1955 között legalább két éven át megbízhatónak mutatkozó megfigyelők adataiból számított középértékeket tünteti fel, összesen 197 állomásról. Ez tehát a legrövidebb időtartamot felölelő, de legsűrűbb adathalmaz.

Az első eredmény, amelyet e három térkép megrajzolásának alapjául szolgáló, egymástól teljesen független adatokból megállapíthatunk, az, hogy a megfigyelőhelyenként észlelt zivatarok évi átlagos száma

a Hajósy—Aujeszky-féle adatok szerint 22,1
az Orsz. Meteor. Intézet klíma-állomásainak adatai szerint 22,2
a tanszék teljes megfigyelőhálózatának adatai szerint 12,2
a tanszék legmegbízhatóbb megfigyelőinek adatai szerint 13,7

A kétféle eredetű adat között mutatkozó nagyságrendi különbség könnyen megmagyarázható.* A meteorológus megfigyelők ugyanis — amint már említettem — a távoli zivatarokat is jelentik, míg saját megfigyelőink csak a fejük felett, vagy legföljebb a kb. 5 km-es körzetükben elzúgó, tehát lényegileg a helyi zivatarokat. Ennél többre saját megfigyelőink, akik nem hivatásos észlelők, hanem túlnyomó többségükben körzetszerelők, nem voltak igénybe vehetők. Ebből természetszerűen következik, hogy a meteorológusok adatainak több zivatarról kell számot adniuk, mint amennyit a mi átlag-megfigyelőink jelentenek. Az arány — amint látható — kereken 1,6 : 1. A *B* és a *C* térképen feltüntetett meteorológiai adatok közelítőleg megfelelnek az izokeraunikus szint említett meghatározásának, míg a saját megfigyelőink jelentései alapján készített *D* térkép a távvezeték-tervezőket és a villamos energiaszolgáltató vállalatokat elsősorban érdeklő közvetlen zivatarviszonyokról ad felvilágosítást. Ezt szem előtt tartva és a fenti értékeket oly értelemben kerekítve, hogy a nem hivatásos megfigyelők kétségtelenül inkább kevesebb zivatart jelentenek, mintsem a valóságban fellépettnél többet, megállapítható, hogy a jelenleg rendelkezésre álló és valószínűsíthető adatok szerint *Magyarország jelenlegi egész területének szokásos értelemben vett átlagos izokeraunikus szintje 22, amivel szemben az észlelőhelyek fölött és közelében elzúgó zivatarok évi számának országos átlaga 14.* Valószínű, hogy a megfigyelőszolgálat fegyelmének javulása az utóbbi értéket kissé növelni fogja.

Ezen, az egész országra vonatkozó átlagos értékek rögzítése után, első benyomásként kilátástalannak látszik a meteorológusok és a tanszék részéről beszervezett megfigyelők adatainak közös térképen való összedolgozása. A választott színfoltos ábrázolási mód azonban ezt mégis lehetővé teszi, ha nem is a kívánatos pontossággal, de a sok nehézséggel küzdő villámkutatásunk kezdő éveinek eredményeit általában jellemző valószínűséggel. Mivel ugyanis a *B*, *C* és a *D* jelű térképen a zivatar-gyakoriság lépcsőzése számára azonos színeket választottunk, de úgy, hogy a *B* és *C* jelű térképen a lépcsők 1,6-szor akkorák, mint a *D* jelűn, és középső (piros) szín a *B* és *C* jelű térképen a 22, a *D* jelűn a 14 kezdetű lépcsőnek felel meg, nyilvánvaló, hogy viszonylagos

* Ilyen, a „zivataros nap" meghatározásának bizonytalanságából származó különbségek a külföldi statisztikai adatokban is előfordulnak. Például BERGER idézett [17] tanulmányában rámutat arra, hogy a Monte San Salvatore-n gyűjtött statisztikai adatok szerint Lugano környékének izokeraunikus szintje 51; ha azonban csak a 10 km-es körzeten belül elzúgó zivatarokat veszik számításba, akkor csak a 41. De még ez az érték is nagyságrendben különbözik a határterületeket is magában foglaló olasz statisztikai adattól, amely Lugano környékére csak évi 15—20 zivataros napot állapít meg. A különbséget a látókör és a hallótávolság mérete magyarázza meg, amely a hegycsúcson sokkal nagyobb, mint a völgyben levő állomásé.

alapon a két térkép egyesíthető. Ilyen módon az összesen 303 helyről származó és 377 adatról beszámoló *E* jelű térképet kapjuk, amely — nyomatékkal hangsúlyozom — távolról sem egyenlő értékű azzal, amelyet ugyanakkora számú, azonos statisztikai elv szerint jelentő állomás adatai alapján rajzolhatnánk fel, de amely a gyakorlat pillanatnyi szükségletének kielégítésére, nevezetesen a *zivatar-gyakoriság viszonylagos helyi értékének becslésére* mégis többet nyújt, mint pontosabb, de kisszámú szétszórt adat, illetve, mint szélesebb kört felölelő adatok eddig teljes hiánya.

A térképekből megállapíthatjuk, hogy a megfigyelőhelyek túl ritka hálózata miatt, a mi gyakorlati kívánalmainkat sem a több évtized átlagán alapuló, s ezért klasszikusnak nevezhető *B* térkép, sem a meteorológiai szempontok szerint felvett adatokat feltüntető *C* térkép nem elégítheti ki. Ebből a szempontból a *D* térkép már megfelelőbbnek mutatkozik, de rövid időtartamú adatai miatt kevésbé megbízható és hiányosságai szintén még elég nagyok. Így ez idő szerint, tökéletesebb híján, a három egyesítéséből származó *E* térképet kell elfogadnunk, mint olyant, amely — bár számos adata ellentmondó — nagyvonalú tájékoztatást mégis képes adni az ország területének jelentékeny részein uralkodó és várható zivatarviszonyokról.

Izokeraunikus vonalak meghúzását — sajnos — adataink még nem teszik lehetővé, bár egyesek már kezdenek kialakulni, így különösen például a Zalaegerszegről Keszthelyen, Fonyódon, Siófokon, Dunaföldváron, Kecskeméten, Kiskunfélegyházán és Kisteleken keresztül a szabadkai országhatárig húzódó, jól felismerhető, 19—21 (illetőleg 12—13) fokozatú vonal.

Sokkal határozottabban jelentkeznek azonban egyes zivataros gócok (pl. Vas vm. Ny. széle, a Bakony, a Pilis hegység, Heves vm. DK része, Nyíregyháza, Békéscsaba, Szeged, Baja stb. környéke) és zivataros vonalak (pl. Győr—Kocs—Tatabánya—Piliscsaba, vagy Salgótarján—Vámosgyörk—Jászberény—Szolnok között), úgyhogy alállomások helyének és távvezetékek nyomvonalának kitűzése alkalmával, egyes esetekben, térképünk már hasznos *tájékoztatást* nyújthat valamely vidék vagy irány villám-veszélyeztetettségére vonatkozóan.

Hogy ennél a szerény eredménynél többet még nem tudunk felmutatni, az a tanulmányi idő rövidségén kívül főleg észlelőink nagy részének már elpanaszolt nemtörődömségén múlik, amit a *C* térkép szembeszökően tanúsít. A DÉDÁSz területének legnagyobb részén, de az ÉMÁSz és a TITÁSz területeinek jó részén is, üres foltok akadályozzák a kutatási rendszer annyira kívánatos mielőbbi kiépítését. Milyen más lenne a kép már most is, ha az *A* térképen feltüntetett valamennyi, 1179 észlelőhely lelkiismeretes munkát végzett volna!

II. Előadásom második része azon mérések eredményeit foglalja össze, amelyeket a három év óta rendelkezésünkre álló szerény felszerelés segítségével észlelt villámok *áramerősségéről* és *polaritásáról* szereztünk.

E munkánkkal szemben joggal felmerülhet az a kérdés, hogy érdemes-e nekünk ilyen mérésekkel foglalkozni, amikor külföldön kb. két évtized óta többféle módszerrel és tökéletes készülékekkel nagy adathalmazt gyűjtöttek már össze és hoztak nyilvánosságra.

A kérdésre határozott igennel felelhetünk, mert a villámok említett két jellemzője nagymértékben a helyi terepszinti és légköri adottságoktól, vagyis a zivatarfelhők kialakulásában résztvevő számos tényező befolyásától függ.

A villámáramok erősségének gyakoriságára vonatkozóan LEWIS & FOUST, valamint MCEACHRON az Amerikai Egyesült Államokban számottevően más eredményeket kapott, mint NORINDER Svédországban és GRÜNEWALD Németországban. Az amerikai villámokban a nagyobb áramerősségek nagyobb számmal fordulnak elő, mint az európaiakban: például a távvezeték-oszlopokba csapott villámok áramerőssége 20—30 kA közé esik LEWIS & FOUST [8] szerint (2721 adat) az összes villámok számának 25,7%-ában, míg GRÜNEWALD [9] szerint (2689 adat) csak 11%-ában. Még nagyobb a különbség a német és ROKKAKU japán adatai között, mert amíg az utóbbiak szerint [10] a 40 kA-nél nagyobb áramerősségű villámcsapások száma a távvezetéki oszlopokra sújtók összes számának 44,5%-a, addig GRÜNEWALD szerint csak 7,5%-a. Figyelembe veendő azonban, hogy a japán adatok csak kevés mérésre támaszkodnak. Az eddig ismert legnagyobb áramerősséget, 340 kA-t Amerikában mérték a Westinghouse Corporationnek a pittsburghi egyetem Cathedral of Learning 170 m magas tornyán levő villámkutató laboratóriuma felfogó rúdján [11]. Félreértés elkerülése végett azonban rögtön meg kell jegyezni, hogy hasonló nagy értékeket csak egészen kivételesen és igen magasra felnyúló felfogókon mértek, míg a szokásos 25—30 m magas távvezetéki oszlopokon már a 70—80 kA körüli értékek is csak igen ritkák, néhány tizedszázaléknyi arányban fordulnak elő.

Hasonló különbségek mutatkoznak a megmért villámok polaritásában is, amit úgy értelmezünk, hogy a negatív villám a felhőből negatív töltést, a pozitív villám pedig pozitív töltést szállít a földre, illetőleg a becsapás helyére. LEWIS szerint az egyes zivatarokban rendszerint valamelyik polaritás van túlsúlyban, amely lehet akár negatív, akár pozitív [12]. 33 megfigyelt zivatar közül kb. 40%-ban túlnyomóan pozitív, kb. 40%-ban túlnyomóan negatív és kb. 20%-ban vegyes, pozitív és negatív volt a villámok polaritása. Ugyanerre mutat az a japán megfigyelés is, amely szerint a tenger felett kialakuló zivatarok villámainak többsége ellentett polaritású a szárazföld felett kialakuló zivatarokénak.

MCEACHRON szerint [13] a világ legmagasabb épületének, a New-York-i Empire State Buildingnek kereken 380 m magas tornyán levő felfogórúdba csapó villámok kizárólagosan negatív polaritásúak. Ennek a magyarázata nyilván az a — kisminta kísérlettel könnyen igazolható — fizikai tény, hogy a villamos erőtér alakja következtében, a környező terep fölé hegyes csúcsként magasra kiemelkedő tárgyakon az ún. pozitív-csúcs-hatás érvényesül, amely a negatív villámcsapások kialakulását elősegíti, a pozitív villámcsapásokét ellenben megnehezíti [14]. Ezért más a villámcsapások kialakulásának módja is, amennyiben MCEACHRON fényképfelvételei szerint a tornyot érő villámok szökellő előkisülése a felfogórúd csúcsából a felhő felé irányul, míg SCHONLAND, MALAN és COLLENS dél-afrikai megfigyelései szerint [15] a föld erőterét alig befolyásoló, viszonylag alacsony tárgyakba csapó villámok előkisülése a felhőből a föld felé halad. A fő kisülés azonban mindkét esetben azonosan a földi tárgyból a felhőbe csap fel.

LEWIS szerint [12] a pennsylvaniai Wallenpaupack laboratóriumban felfogott 253 villámcsapás közül 134 (53%) volt negatív és 119 (47%) pozitív. BERGER a Lugano melletti Monte San Salvatore hegyen levő svájci villámkutató laboratórium tornyába 1946 nyarán becsapó villámok között ugyanezt az arányt állapította meg [16], amennyiben 23 villám közül 12 (52%) volt negatív és 10 (44%) pozitív és 1 kettős polaritású. Érdekes és a villámkutatás rövid időtartamra vonatkozó eredményeinek esetlegességére igen jellemző, hogy BERGER legújabb, 9 évet felölelő statisztikája [17] ezt a közel egyenlőséget megcáfolta, amennyiben az 1946 és 1954 között a Monte San Salvatoren észlelt 274 villámból 204 (74,4%) bizonyult negatívnak, 57 (20,8%) pozitívnak és 13 (4,8%) bipolarisnak, vagyis olyannak, amelyben az egymást ugyanazon nyomon követő részvillámok felváltva negatív és pozitív polaritásúak.

A távvezetékek, a környező terep alakulata szerint, viszonylagosan többé vagy kevésbé kiemelkedő tárgyaknak minősülnek, ezért az őket érő villámcsapások többsége negatív polaritásúnak mutatkozik, de elég tág határok közé eső értékekkel. A negatív villámok részesedése LEWIS [12] szerint az amerikai 66—220 kV feszültségű távvezetékeken észlelt összesen 2721 villámcsapásból 67 és 97% határok között változik, átlagosan 82%. A szélső értékekre úgy látszik befolyást gyakorol a távvezeték nyomvonalának tengerszint feletti magassága is [18],

mert amíg a Public Service Co. of Colorado Shoshone—Denver közötti 100 kV-os vonalán, amely 1600—4100 m magasan halad, a pozitív villámok arányszámát 33,2%-nak találták, addig a Pennsylvania Power & Light Co., Wallenpaupack—Siegfried, 220 kV-os vonalán, amely 150—640 m magasságú dombos terepet szel át, ez az arány csak 3,3%. GRÜNEWALD szerint [9] Németországban a távvezetéki oszlopokon mért villámokból 85%, NORINDER szerint Svédországban 72% volt negatív polaritású.

E néhány, a bő irodalomból tájékoztatásul kiemelt adat tág határok közötti szórása nem teszi megengedhetővé, hogy külföldi értékeket, kellő ellenőrzés nélkül, hazai villamos berendezéseinkben is érvényesíthetőknek minősítsünk. Pedig az ilyen adatokra energiarendszerünk biztonsága érdekében elengedhetetlenül és sürgősen szükségünk van.

A villámcsapások várható *áramerősségének* ismerete ugyanis két szempontból nélkülözhetetlen. Egyrészt azért, mert a tornyokra, kéményekre, oszlopokra lesújtó közvetlen villámcsapások áramerősségének mért értéke útmutatást ad arra, hogy távvezetékeink oszlopainak földelésén mekkora ellenállást engedhetünk meg anélkül, hogy a visszacsapás veszélyét kockáztatnók. Másrészt azért, mert a túlfeszültséglevezetőket terhelő villámáramok ismerete elősegíti a túlfeszültséglevezetők helyes kiválasztását, helyes működésének ellenőrzését, sőt a hazai gyártmányokkal szemben tárgyilagosan támasztható követelmények felállítását is.

A villámcsapások várható *polaritásáról* való tájékozódás pedig azért szükséges, mert a pozitív és a negatív villámok természete és viselkedése több tekintetben különböző. A negatív villámok — amint már említettem — a terepből magasra kiálló tárgyakat nagyobb mértékben veszélyeztetik, mint a pozitívok ; a negatív villámok rendszerint több, átlagban 3—4, de szélső esetben 40-et is elérő részvillámból állanak, míg a pozitív villámok szinte kivétel nélkül egyszeresek. Ezért távvezetékeink és alállomásaink villámhárító berendezését aszerint kell többé vagy kevésbé hatásosan kialakítani, amint többségben pozitív vagy negatív villámcsapások ellen kell védekezni.

A villámáramok erősségének és polaritásának megállapítására külföldön többféle módszert dolgoztak ki. Ezek közül tömegmérés céljára a legegyszerűbb és legolcsóbb az acél *villámpálcák* módszere, amelyet külföldön is a legelterjedtebben használnak. Ezért tanszékem is ezt választotta, és miután 1950. április hó 12-én kelt előterjesztésemre az Akadémia a szükséges összeget rendelkezésünkre bocsátotta, NORINDER Harald professzortól, az uppsalai egyetemhez csatolt Nagyfeszültségű Kutató Intézet vezetőjétől — aki hálás köszönetünket kiérdemlő szívességgel volt minden tekintetben segítségünkre — beszereztük az erre a célra szolgáló berendezést, amely 1951 október havában érkezett meg.

A módszer fizikai alapgondolata több mint száz éves. HENRY Joseph, mint az amerikai Princeton-egyetem tanára, már a múlt század negyvenes éveinek elején észrevette, hogy leydeni palackok kisütésével acéltűk távolról mágnesezhetők. E megfigyelésből azt a helyes következtetést vonta le, hogy hasonló jelenséget a villámoknak is ki kell váltaniok. Laboratóriumának fémtetejét mély kútba süllyesztett földelővel kötötte össze és az összekötő huzalba mágnesező tekercset iktatott be. Zivataros időben valóban azt találta, hogy a tekercsbe helyezett acéltűt még a távoli villámok is megmágnesezik, mégpedig különböző polaritással. Ebből — amint

ma már tudjuk, nem helyesen — azt következtette, hogy a villám a leydeni palackok szikráihoz hasonló oscillatorikus kisülés.

Ez a megfigyelés és kísérlet kereken ötven esztendeig feledésbe került és csak 1898-ban éledt újra, amidőn POCKELS két közleményében [19] felhívta a figyelmet arra, hogy bazaltba csapó villám remanens mágnességet hagy maga után, úgyhogy iránytű segítségével meg lehet állapítani a becsapás helyét és a villámáram polaritását. A kutatást ezen a nyomon folytatva, néhány torony villámhárítójának földelő vezetőjére 4 cm hosszú és 2×1,5 cm keresztmetszetű bazalt pálcikákat szerelt fel, és villámcsapás után remanens mágnességüket megmérve, abból kiszámította a villámok áramerősségét. Utóbb bazalt helyett acélpálcákkal kísérletezett, de nem sok eredménnyel, mert a tömör pálcákban keletkező tömegáramok a mérés eredményét eltorzítják olyan értelemben, hogy a villámáram csúcserősségének ugyanazon értéke mellett a remanens mágnesség erőssége különböző lesz aszerint, hogy az áram időbeli lefolyása, vagyis az áramhullám alakja milyen volt. A visszamaradó mágnesség értékéből tehát csakis akkor lehetne az áram csúcsértékére megbízhatóan következtetni, ha a mérés alkalmával használt lökőáram hullámalakja ugyanolyan lenne, mint amilyen a villámé volt. Erre törekedett TOEPLER, aki 1925-ben Krupp-féle Coercit A-acélpálcákkal próbálkozott és a tömegáramok zavaró hatásának kiküszöbölésére mérőhelyenként két különböző keresztmetszetű pálcát, és kalibrálásukhoz különböző időjellegű lökőáramot használt. Ez a mérést igen bonyolulttá tette anélkül, hogy az eredmény kielégítő lett volna. A helyes megoldást FOUST és KUEHNI találta meg, amidőn 1932-ben a tömör acélpálcákat vékony acélhuzal-kötegekkel helyettesítette [20].

A következőkben „*villámpálcá*"-nak nevezett, finoman osztott szerkezetű acélrudacskákkal való mérés azon alapul, hogy egyenes vezetőben folyó áram maga körül koaxiális hengeres mágnesteret gerjeszt, amelynek erőssége az áramerősséggel arányos. Ha ebbe a térbe semleges acélpálcikát helyezünk az erővonalakkal párhuzamosan — helyesebben érintőlegesen —, akkor az meghatározott polaritással megmágneseződik, és remanenciájából az áram erőssége, polaritásából pedig az áram iránya megállapítható. Ahhoz, hogy ez az eljárás helyes eredményt adjon, szükséges, hogy a villámpálca

1. olyan kis méretű legyen, hogy a mágnestér alakját ne torzítsa számottevően el;

2. olyan minőségű anyagból legyen, amely nagy koercitív erővel rendelkezik;

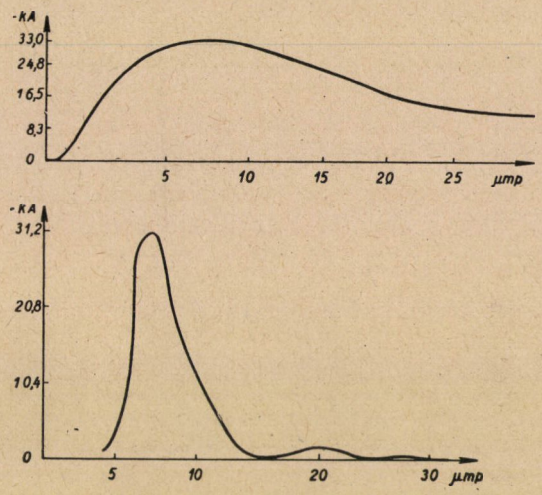
3. olyan finoman osztott szerkezetű legyen, hogy benne zavaró mértékű tömegáram ne keletkezhessék, vagyis remanens mágnességének erőssége független legyen a mágnesező áramlökés időbeli lefolyásától.

A 2. és 3. feltétel együttes teljesítése nem egyszerű, illetve csak bizonyos határig lehetséges, mert például a nagy koercitív-erejű kobalttal ötvözött acél kellő vékonyságú huzalok gyártására nem alkalmas, ezért FOUST és KUEHNI 5 × 32 × 0,2 mm méretű lemezkékből álló kötegeket használt, szigetelőanyagból készült hüvelykékbe beékelve és kellően kiöntve. A célnak jobban megfelelnek a króm, nikkel és szén (pl. ATM [22] szerinti 3% króm és 1% szén) tartalmú acélötvözetek, amelyekből 0,2 mm átmérőjű huzalok még aránylag könnyen és egyenletes minőséggel húzhatók. Végül készítenek villámpálcákat ötvözött acélporból sajtoltan is. Ilyeneket használnak pl. Csehszlovákiában.

A remanenciából a villámáram erősségére való következtetés, vagyis a mérési módszer elve, arra a feltevésre támaszkodik, hogy a villám egyenirányú áramlökés és e néhány milliomodmásodpercig tartó áramlökés csúcsértéke ugyanazt a remanens mágnességet gerjeszti, mint a csúcsértékkel azonos erősségű egyenáram. [21]

[21] Avillámok lökőáramának hullám alakja igen változatos. Az 5. ábra példaképpen STEKOLNIKOV és VALEEV méréseinek két hullámrajzát mutatja, amelyet nyílt terep felett, a zivatarfelhő alatt, 800 m magasságra felbocsátott aerostatba becsapó villámról a lekötő acélsodrony földelt végébe iktatott hullámrajzolóval vettek fel (az első hullám vége már kívül esett a felvevő készülék működési határán, ezért a görbe vége nem éri el az abszcisszatengelyt).

A szakirodalmi adatok szerint a hullámok homlokideje 1—10 μmp, hátának félideje 10—100 μmp tág határok közé esik, túlnyomó többségben 3—6 μmp, illetőleg 40—60 μmp körüli értékekkel. A homlok meredeksége 1—40 kA/μmp, leggyakrabban 10—15 kA/μmp körüli értékkel. A félidőtartam annál rövidebb és a homlok annál meredekebb, minél jobb a villámsújtotta tárgy földelése. Befolyással van a tárgy, illetőleg a felvevőkészülék föld feletti magassága is, mert magasra felnyúló jól földelt tárgyak már érezhetően megzavarják a környezet elektrosztatikus terét.



5. ábra

A feltevésnek helyességét már FOUST és KUEHNI ellenőrizte [20] ballisztikus galvanométer segítségével és azt találta, hogy a különbség még igen meredekhomlokú, 0,5/5 μs jellegű áramlökések esetén is az észlelhetőség hibahatárán belül marad. Későbbi vizsgálatok ugyanerre az eredményre jutottak. A mérési módszer tehát szilárd alapon nyugszik.

A remanencia megmérésére legegyszerűbben mutatós műszer használható, aminő FOUST & KUEHNI lökéscsúcs ampermétere" [20], amelynek tengelyére kis állandó mágnespálca van felékelve. A mágnesezett villámpálcát megfelelő módon a műszerbe helyezve, a két mágnes kölcsönhatása folytán a mutató kitér, s a kitérés nagyságából és irányából, az egyenárammal felvett kalibrálási görbe segítségével készült mércén, a villámpálcát mágnesező villámáram erőssége és polaritása közvetlenül leolvasható.

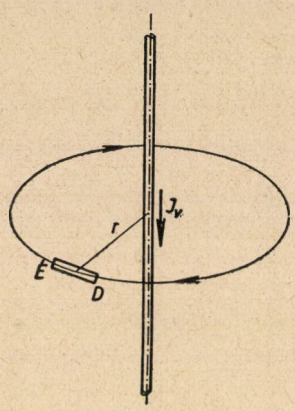
Ez az eljárás igen gyors és kényelmes, de csak tájékoztatásra alkalmas, mert feltételezi, hogy a villámpálcák tökéletesen azonos minőségűek, tehát közös kalibrálási görbével dolgozhatók fel. Ez a feltétel azonban a gyakorlatban nem teljesíthető, illetőleg az ezrével készítendő villámpálcák gyártását elviselhetetlenül megdrágítaná. Ezért a közvetlen leolvasású műszeres módszert Európában jelenleg csak közelítő, gyors tömegmérésekhez használják.

Hosszadalmasabb, de a villámpálcák azonos minőségét illetően semmiféle követelményt nem támaszt és minden igényt kielégít az a mérési eljárás, amelyet a berlini *Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen* 1935-ben dol-

gozott ki [22], s amelyet 1938-ban módosított alakjában külföldön elterjedten használnak, így Svédországban is, ahonnét, NORINDER professzorral való összeköttetésünk révén, mi is átvettük. Ezért, és mivel a magyar műszaki irodalomban eddig erről semmi közlemény sem jelent meg, indokolt, hogy ezzel az „egyéni"-nek nevezett mérési módszerrel kissé részletesebben foglalkozzunk.

Vizsgáljuk meg először a mérési eljárás elméleti alapjait.

Hosszú egyenes, körkeresztmetszetű vezetőn átáramló I_v amp. erősségű



6. ábra

árammal gerjesztett mágnestér erővonalai koncentrikus körök (6. ábra) és a tér erőssége a vezető tengelyétől r cm távolságban

$$H_v = \frac{4\pi}{10} \frac{I_v}{2\pi r} = 0{,}2 \frac{I_v}{r}. \tag{1}$$

Lökőhullám esetén — aminő a villám árama — I_v a csúcsértéket jelenti, függetlenül attól, hogy egyébként a lökőhullám időben milyen lefolyású.

Ha e vezető áramának mágnesterében, az erővonalkörök érintőjének irányában, villámpálca van elhelyezve, az megmágneseződik és az áramlökés megszűnte után H_v-nek megfelelő értékű visszamaradó mágnességet tart magában.

Tegyük fel, hogy ugyanezt a pálcát mágnesezetlen állapotban egyenárammal gerjesztett hengeres tekercs belsejébe helyezzük. Ha a tekercs menetszáma N, átmérője d cm és hossza l cm, akkor I_m amp. erősségű árammal gerjesztve, belsejében

$$H_m = \frac{4\pi}{10} \frac{N I_m}{\sqrt{d^2 + l^2}} \tag{2}$$

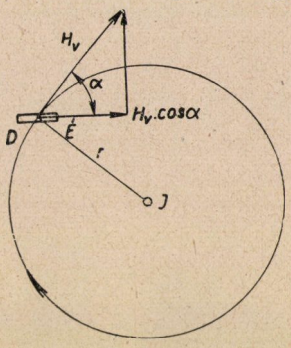
erősségű mágnestér létesül.

Ha ez a térerősség a pálcában ugyanazt a remanens mágnességet létesíti, mint az I_v csúcsú lökőáram gerjesztette H_v térerősség, akkor nyilván $H_m = H_v$, amiből az (1) és (2) kifejezés behelyettesítésével következik, hogy

$$I_v = \frac{2\pi r N}{\sqrt{d^2 + l^2}} I_m , \tag{3}$$

tehát a mért I_m gerjesztő egyenáram értékéből a lökőáram I_v csúcsértéke kiszámítható.

Annak, hogy a remanens mágnesség a villámáram csúcsértékét valóban helyesen rögzítse, két feltétele van. Az egyik, hogy az áramvezető a villám-



7. ábra

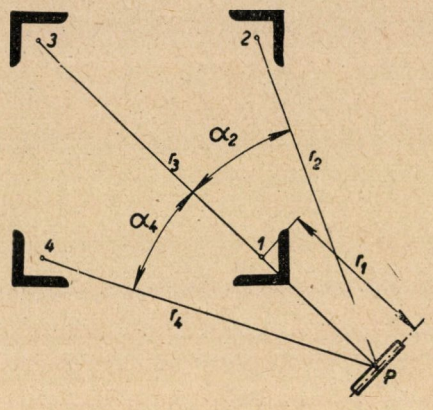
pálca felerősítése helyén elég hosszú darabon egyenes legyen, más szóval, hogy a pálca méreteihez és a vezetőtől való távolságához viszonyítva végtelen hosszúnak legyen minősíthető. Ez a feltétel a villámhárítók földelő vezetőjénél és a távvezetéki oszlopoknál mindig magától teljesül, de a túlfeszültséglevezetőknél esetleg külön figyelmet kíván. A másik — amint már említettem — az, hogy a villámpálcának nem szabad az áram természetes mágnesterét számottevően eltorzítania. Ez akkor teljesül, ha a villámpálca rövid és a vezetőtől bizonyos minimálisnál nagyobb távolságra van. Erre vonatkozóan NORINDER mérései adnak tájékoztatást, amely szerint a részünkről is használt villámpálcák esetén

ha az áramvezetőtől való távolság	1	1,5	2,5	5	7,5	cm,
a helyesbítési tényező	1,71	1,4	1,13	1,02	1,006,	

amellyel az (1), (3), (7) képlettel kiszámított értéket meg kell szorozni, hogy a helyes értéket kapjuk. Látható, hogy 5 cm-nél nagyobb távolság esetén a helyesbítés gyakorlati szempontból elhanyagolható.

Ha a villámpálca tengelye nem esik az erővonalak érintőjének irányába, hanem azzal α szöget zár be (7. ábra), akkor a H_v térerősségnek csak $H_v \cos\alpha$ összetevője érvényesül. Ha tehát négy szögvasból álló távvezetéki oszlop egyik

szárára a 8. ábrán vázolt módon, a szögvasak villamos tengelyétől r_1, r_2, r_3, r_4 cm távolságban levő P pontban van a villámpálca felerősítve, akkor, feltéve, hogy az oszlopon átfolyó I_v áram a négy szárra egyenlően oszlik el, a villámpálcát mágnesező térerősség

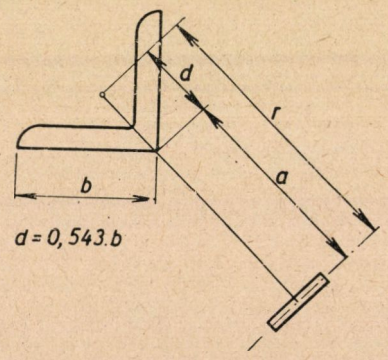


8. ábra

$$H_v = \frac{I_v}{4}\, 0{,}2 \left[\frac{1}{r_1} + \frac{\cos \alpha_2}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{\cos \alpha_4}{r_4} \right] \tag{4}$$

és ezért

$$I_v = \frac{8 \pi N}{\sqrt{d^2 + l^2} \left[\frac{1}{r_1} + \frac{\cos \alpha_2}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \frac{\cos \alpha_4}{r_4} \right]} I_m \,. \tag{5}$$



9. ábra

A szögvasak villamos tengelye a gyakorlati igényeket kielégítő pontossággal súlypontukkal egybeesőnek vehető. NORINDER [23] méréssel ellenőrizte a villamos tengely helyét és azt találta, hogy bizonyos határokon belül jó közelítéssel $d = 0{,}543\ b$ (9. ábra). Ha a villamos tengely valódi helye helyett az áramot a szögvas súlypontjában folyónak tételezzük fel, akkor attól függően,

hogy a villámpálca mekkora a távolságra van a szögvas élétől, hibát követünk el, amelynek százalékos értéke :

a cm	5	6	7	8	9	10	15	30
hiba %	12,3	11,1	10,9	9,2	8,5	7,8	5,8	3,2.

A villámáram csúcsértékének az (5) képlet szerinti meghatározása, a villamos tengelyek valódi helyének figyelembevételekor is, a gyakorlatban két hibaforrást rejt magában. Az egyik az, hogy semmiképpen sincs biztosítva az a feltétel, hogy az áram egyenlően oszlik el az oszlop száraira. E tekintetben különösen az oszlopot a földelővel összekötő vezetőnek bekötési helye okozhat zavart, mert ennek távolsága nem minden szártól egyenlő. A másik az, hogy nem veszi figyelembe a rácsrudakban folyó áramokat, amelyek pedig szintén hozzájárulnak a villámpálca helyén gerjesztett mágnestér erősségéhez, de csúcsértéküket, minthogy impedanciájuk a szárakétól különböző, esetleg más időpillanatban érik el, mint a szárakban folyó áramok. Ezen okoknál fogva az oszlop egyik szárán elhelyezett villámpálca remanens mágnességéből megállapított áramerősség általában nem tekinthető egyenlőnek az oszlopot ért villám teljes áramerősségével. Olyan mérések alapján, amelyekben a rácsos vasoszlopoknak mind a négy szárán és a rácsrudain is helyeztek el villámpálcákat és így külön-külön mérték meg az egyes elemekben lefolyó áramokat, vagy a védővezetőben az oszlop előtt és után mért áramok különbségéből állapították meg az oszlopon lefolyt áram teljes értékét, Lewis [12] arra a következtetésre jutott, hogy az oszlopra csapott villám áramerősségének teljes értéke 50—100%-kal nagyobb, mint az oszlop négy szárára, akár az (5) képlettel, akár közvetlen méréssel megállapított áram.

Miután így egy áramlökés csúcsértéke és egy egyenáramú mérés közötti összefüggést megállapítottuk, mérési eljárásunk további lépéseinek megértésére szükséges, hogy röviden emlékezetbe idézzük azt a képet, amellyel a korszerű fizika a ferromágneses anyagok mágneses viselkedését magyarázza [24].

A ferromágnesség alapját — miként a para- és a diamágnességet általában — az elektronoknak az atommag körüli keringése, valamint saját tengelyük körüli pörgése képezi. Ha az atomoknak olyan elektronjaik is vannak, amelyeknek ellentétes perdületű párjuk nincs, akkor eredő mágnességük és így mágneses tengelyük van, tehát mágnes-dipólusokat alkotnak. Ezek azonban a ferromágneses fémekben az egyéb anyagokétól különböző, és a ferromágneses fémek szerkezetének lényegét képező módon érvényesülnek. A ferromágneses fémek ugyanis a többi fémhez hasonlóan parányi kristályokból épülnek fel, amelyek teljes összevisszaságban helyezkednek el egymás mellett, de különlegességük az, hogy belsejükben ún. Weiss-féle körzetekre oszlanak, amelyek mindegyikének milliónyi nagyságrendű atomcsoportja együtt alkotja a ferromágneses fém kristályainak egy-egy elemi mágnesét, oly módon, hogy egyazon körzeten belül valamennyi atom-dipólus mágnestengelye azonos irányú, mégpedig valamelyik kristály-tengellyel párhuzamos. A vasban és ötvözeteiben három, illetve az értelmet is figyelembe véve, hat ilyen irány lehetséges, és mivel egy parányi kristályban valamennyi irány egyenlő valószínűséggel fordul elő, a Weiss-féle körzetek elemi mágnesvolta kifelé nem érvényesül. Ezért a kristályok bármely halmaza mágnességileg semleges, noha a körzetek finom magnetitpor-szuszpenzió segítségével mikroszkóp alatt láthatóvá tehetők. Ez az állapot, amelyben az elemi mágnesek helyzete a legkisebb potenciális energiának felel meg, stabilis és csak külső mágnesező erő hatására változik meg. Ha ilyen erő fellép, de csak gyenge, akkor ama Weiss-féle körzetekben, amelyek

mágnessége a külső erőtér irányával hegyesszöget zár be, az atomi dipólusok kissé elfordulnak olyan értelemben, hogy irányuk és a külső erőtér iránya közötti szög csökken. E körzetek eredő mágneses hatása tehát túlsúlyba jut ama körzetek rovására, amelyek elemi mágnessége a külső erőtér irányával tompaszöget alkot. A kezdetben fennálló egyensúly tehát felbomlik és a test az erőtér irányának megfelelő gyengén mágnesezett állapotba jut. Ha ezután a külső mágnesező erő erősödik és eléri azt az értéket, amely legyőzi az anyag szerkezete folytán egyes Weiss-féle körzetekre ható belső feszültséget, akkor az érintett Weiss-féle körzetek egészükben átbillennek olyan új stabilis helyzetbe, amelyben mágneses tengelyük legkevésbé tér el a mágnesező erőtér irányától. Ez a jelenség a mágnesező erő további növelése folyamán folytatódik; mindig újabb és újabb Weiss-féle körzetek billennek át, és a test kifelé érvényesülő mágnessége erősödik, mindaddig, amíg a telítődés állapota be nem következik. A ferromágneses anyagoknak Weiss-féle körzetekből alkotott szerkezete tehát azt okozza, hogy mágnesezési görbéjük a külső mágnesező erő folyamatos változásakor sem folyamatos, hanem parányi lépcsőkben emelkedik, kivéve a telítődés utolsó szakaszát, amidőn már csak a körzeteken belül van lehetőség a végső beirányulásra. E lépcsős változást és vele a Weiss-féle körzetek realitását kísérletileg meggyőzően igazolja a ferromágneses fémek mágnesezésekor észlelhető ún. Barkhausen-féle zörej.

A ferromágneses fémek szerkezetének e röviden vázolt képe jól megmagyarázza a mágnesezési görbe ellaposodó menetét, úgyszintén a remanens mágnességet. Az ellaposodás azért következik be, mert a mágnesező erő növekedésével folyton csökken ama Weiss-féle körzetek száma, amelyek még nem billentek át. A remanencia pedig a Weiss-féle körzetek azon utolsó stabilis helyzetének felel meg, amelybe a külső mágnesező erő utolsó, legnagyobb értéke azokat, helyesebben bizonyos hányadukat, átbillenteni képes volt. Ha a mágnesező erő nullára csökken, akkor az elfoglalt utolsó stabilis helyzet megmarad, tehát a test visszamaradó mágnességet mutat. Ebből az a fontos, és az ismertetendő mérési eljárás alapját képező tény következik, hogy ha a remanencia értékének megfelelő csúcsértékű külső mágnesező erő, illetve az azt gerjesztő mágnesező áram nullára csökken és azután az áramot ismét növelni kezdjük, a test mágnessége változatlanul a remanencia értékén marad mindaddig, amíg az áram el nem éri azt az előbbi csúcsértékét, amely a remanens mágnességet okozta. Ha tehát az újramágnesezés folyamán elérjük azt a pontot, amelyen a test mágnessége a remanencián túl erősödni kezd, akkor a töréspontnak megfelelő mágnesező erő, illetve áramerősség, azon érték, amely az első mágnesezés alkalmával a remanenciát okozta.

E tények — függetlenül attól, hogy röviden vázolt elméleti magyarázatuk mindenben helytálló-e, vagy sem — az előzőkben levezetett mennyiségi összefüggésekkel együtt szolgálnak ama mérési eljárás alapjául, amellyel a lesújtó villámok áramerősségét megállapítjuk. Az előzők szerint nyilvánvaló, hogy a mérésnek a következő műveletekből kell összetevődnie:

1. a villámpálca remanens mágnességének megmérése;
2. a pálca mágnestelenítése;
3. a pálca fokozatos felmágnesezése, legalább az eredeti remanens mágnesség eléréséig;
4. a mágnesező áramból a villám lökőárama csúcsértékének kiszámítása.

Ennek megfelelően, a mérésekhez szükséges berendezést a következő részek alkotják:

1. *Villámpálcák;* a részünkről használtak kb. 400, egyenként 0,25 mm átmérőjű és kb. 50 mm hosszú, ötvözött acélhuzal-kötegek, amelyek a rozsdásodás elleni védelem végett, a pálca azonosítási számát feltüntető kis fémtáblácskákkal együtt, vékonyfalú üvegcsőbe vannak beforrasztva. Az üvegcső külső átmérője 7 mm, hossza kereken 75 mm. A villámpálcákat, külső zavaró mágnesterek távoltartása céljából, szállításukkor egyenként lágyvasból készült hüvelybe kell behelyezni.

2. *Mérőtekercs (A* tekercs) a remanens mágnesség mértékének megállapítására. A hozzátartozó kétmérőtekercses *ballisztikus galvanométer Hartmann & Braun* gyártmánya. Minthogy a remanens mágnesség valódi értékére nincs szükség, elég a galvanométer fokokban leolvasható kilengési szögének megfigyelése. Ennek megkönnyítése végett a kilengés erősen tompított.

3. *Lemágnesezésre* szolgáló, váltakozóárammal gerjesztett tekercs *(B* tekercs). Ezt az áramot változatlanul tartva a lemágnesezést úgy végezzük, hogy a villámpálcát a tekercsbe dugjuk és azután lassan, egyenletes sebességgel kihúzzuk. Az áramot a pálca behelyezése előtt kell bekapcsolni és csak kihúzása után szabad kikapcsolni. E módszerrel a legtöbb pálca egy művelettel mágnestelenithető, de ha ez nem sikerül, akkor a műveletet megismételve biztosan teljes mágnestelenítést érhetünk el, ami a pálcának a ballisztikus galvanométerhez kapcsolt tekercsbe való bedugásával ellenőrizhető.

4. *Felmágnesező tekercs (C* tekercs), amely a villámpálcák hosszához képest hosszú, hogy az üregének közepére helyezett pálca egyenletes mágnestérben legyen. Jellemző adataival a (2) képletben előforduló állandók eredő értéke 130,3 és így I_m amp. mágnesező árammal gerjesztett mágnestér erőssége

$$H_m = 130{,}3\, I_m. \tag{6}$$

Ez azon érték, amelyet a $H_m = H_v$ egyenlítés szerint, I_v kiszámításánál felhasználunk. Például az (1) képlet szerint számítható esetekben

$$I_v = 615{,}5\, r\, I_m. \tag{7}$$

Az elméleti alapok és a szükséges készülékek ismeretével most megkezdhetjük a villámáram-mérés műveleteinek részletes tárgyalását.

A mérésre kiszemelt helyeken villámpálcákat szerelünk fel úgy, hogy hossztengelyükkel az illető alkatrészen átfolyó áram villamos tengelyére merőleges síkban, és az áramot körülölelő mágnestér erővonalaihoz lehetőleg érintőleg álljanak. E célra borovi-fenyőfából háromféle felerősítő kart készíttettünk: egyet a kémények, tornyok stb. villámhárító rúdjának földelő vezetőjére, egyet a távvezetéki rácsos vasoszlopok egyik szárára és egyet a túlfeszültséglevezetők földelő vezetőjére való felerősítés kívánalmainak meg-

felelően. Mindegyik karon két furat van, a fclerősítés helyétől különböző távolságban, egy-egy villámpálca befogadására. A kémények stb. földelővezetőjére, úgyszintén a távvezetéki rácsos oszlopok szárára készült karok mérési távolsága 70 és 400 mm, a levezetők földelővezetőjére erősítendőké 25 és 70 mm. A két mérési távolságra azért van szükség, mert a mérés pontossága érdekében kívánatos, hogy az áram a pálcákat ne mágnesezze telítésig. Minthogy pedig a villámáramok erőssége nagyságrendben különböző határok közé esik, a gyengébb áramok feljegyzésére szükséges kis távolságban elhelyezett pálca erős áramok hatására telítődnék, viszont az erős áramok feljegyzésére távolabb elhelyezett pálca a gyenge áramokat nem érzékelné. Két pálca esetén az áramvezetőhöz közelebb eső pálca a gyengébb áramokról, a távolabb eső az erősebb áramokról ad helyes felvilágosítást. A közepes áramot mindkettő helyesen jelzi. A pálcákat mindenütt azonosan — pl. úgy, hogy számtáblájuk kifelé néz — kell a furatokba behelyezni, mert csak ez ad lehetőséget arra, hogy a mágnesező áramlökés irányát, vagyis a villám polaritását megállapítsuk.

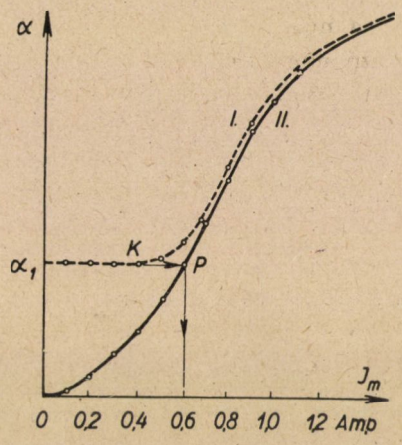
A villámpálcákat felszerelésük előtt gondosan mágnesteleníteni kell. Célszerű azonban még ezt megelőzően 5—6 teljes átmágnesezési folyamatnak alávetni azokat, mert tudvalevően az első mágnesezési görbe általában nem egyezik a később felvettekkel. Ezenkívül előnyös, ha előre megismerjük a pálca mágneses viselkedését és a mérés egyik lépéseként felveendő mágnesezési görbét összehasonlíthatjuk egy előzőleg felvettel. A mágnestelenített pálcákat azonnal védőhüvelybe kell helyezni, abban kell szállítani és csak a felszerelés helyén szabad a hüvelyből kivenni. Ugyanez vonatkozik értelemszerűen a leszerelt pálcák visszaszállítására is, mindkét esetben gondosan ügyelve arra, hogy semmiféle vas tárgy ne kerüljön a pálcák közelébe.

A felszerelt pálcákat évenként egyszer a helyszínen ellenőrizzük, hogy megmágneseződtek-e. Természetesen kívánatos lenne a gyakoribb ellenőrzés, legalábbis a zivataros hónapokban, de erre nem áll személyzet a tanszék rendelkezésére. A mágneseződés megállapítására egyszerű zseb-iránytű szolgál, amelynek kilengését kell megfigyelni, amidőn a villámpálca egyik, majd a másik végét közelítjük az iránytűnek például északi sarka felé. Ha a két kilengés iránya egyezik, akkor a pálca mágnesezetlen, ha pedig ellentétes, akkor mágnesezett.

A mágnesezettnek talált pálcáknak a laboratóriumba való visszaérkezése után következik a tulajdonképpeni mérés, a következő lépések szerint.

Először a remanens mágnességet állapítjuk meg oly módon, hogy a ballisztikus galvanométer mérőtekercsének áramkörét megszakítva a pálcát betoljuk az *A* mérőtekercsbe. Ezután zárjuk a galvanométer tekercs áramkörét és utána a pálcát hirtelen kirántjuk és feljegyezzük a galvanométer α_1 kilengését (10. ábra). Ez alkalommal is mindig azonosan kell eljárni, vagyis pl. a pálca számtábla nélküli végét kell előretolni, hogy így már a kilengés iránya tájékoztasson a pálca és vele együtt a villámáram polaritásáról.

Második művelet a mágnesezési görbe felvétele. E célra a *C* felmágnesező tekercset fokozatonként egyenárammal gerjesztjük olyan értelemben, hogy ugyanazt a polaritást kapjuk, mint amit a remanencia mutat. A mérés alatt levő pálcát mindegyik fokozaton a tekercs üregébe toljuk, majd kihúzzuk, azután hirtelen a galvanométeres *A* tekercsbe lökjük, és a műszer kilengését feljegyezzük. A fokozatokat nem szabad sem túl kicsire, sem túl nagyra választani, mert a görbék alakja kissé függ a fokozatok nagyságától. Készülékünknél a tapasztalat szerint kb. 0,1 amp. a legkedvezőbb érték, és fontos, hogy a mérést mindig ugyanekkora fokozatokkal hajtsuk végre. Amíg a pálca a tekercsben van,



10. ábra

a gerjesztő áramot sem bekapcsolni, sem megszakítani, sem változtatni nem szabad, mert az indukált áramok a mérést meghamisítják. Mindig előre kell tehát beállítani a következő fokozatot és azután kell a pálcát betolni, majd kivenni. E fokozatonként végzett művelet során kezdetben azt fogjuk tapasztalni, hogy a ballisztikus galvanométer kilengése változatlanul marad. Egy bizonyos gerjesztő áramtól kezdve azonban (*K*) a kilengés növekedni kezd, és ha a műveletet folytatva a görbét felrajzoljuk, a 10. ábra *I* görbéjét kapjuk, amely — amint látható — α_1 értékről többé-kevésbé éles íveléssel átmegy a pálca rendes mágnesezési görbéjébe. Ez azt mutatja, hogy túlléptük azt az áramerősséget, amely, mint a villám árama, a remanenciát megszabó Weiss-féle körzeteket beirányította, és ezért a gerjesztő áram erősbödése már újabb körzeteket billent át. A mágnesezési görbét célszerű jóval az átváltáson túl is felvenni, hogy alakja kétséget kizáró módon kialakuljon.

Harmadik művelet a pálca mágnestelenítése, amit a váltakozóárammal gerjesztett *B* tekercsben végezünk az előbb említett módon.

Negyedik művelet a mágnestelenített pálca teljes mágnesezési görbéjének (10. ábra II.) felvétele az egyenárammal fokozatosan gerjesztett *C* tekerccsel,

a második műveletnél ismertetett módon, de *O*-ból kiindulva. Ha a mérés jól sikerül, akkor az *I* görbének az átmeneti ívelés utáni része egybeesik a *II* görbe megfelelő részével. Kis eltérés esetén, a *II* görbét önmagával párhuzamosan eltolva, a két görbe említett részeinek fedésbe hozatala mindig elérhető.

A görbék felrajzolását befejezve, a remanencia α_1 ordinátájú egyenesét meghosszabbítjuk, amíg a *II* görbét nem metszi. Az így megállapított *P* pontot az abszcisszatengelyre vetítve kapjuk azt az I_m mágnesező áramot, amely a (2) vagy (6) képletbe helyettesítve H_m értékét, illetve a (3), (5) vagy (7) képletbe helyettesítve, a villám áramának értékét szolgáltatja.

Amint látható, ezen ún. *egyéni mérési módszer* elég hosszadalmas, azonban kellő begyakorlás után nem nehéz, és pontos eredményt ad. Minden más eljárással szemben mutatkozó nagy előnye, hogy bizonyos esetekben lehetővé teszi egyazon villámpálcát egymás után ért villámcsapások szétválasztását és áramerősségüknek külön-külön való megállapítását is.

E szellemes módszert, amelyet SARAOJA finn kutató [25] és a *Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen* [26] egyidejűen 1938-ban közölt, a legegyszerűbb esetre, két egymást követő, ellentétes polaritású villámcsapás szétválasztására vonatkoztatva ismertetem, minthogy ilyen esetek már eddigi rövid tartamú gyakorlatunkban is előfordultak, s így saját tapasztalatainkról számolhatok be.

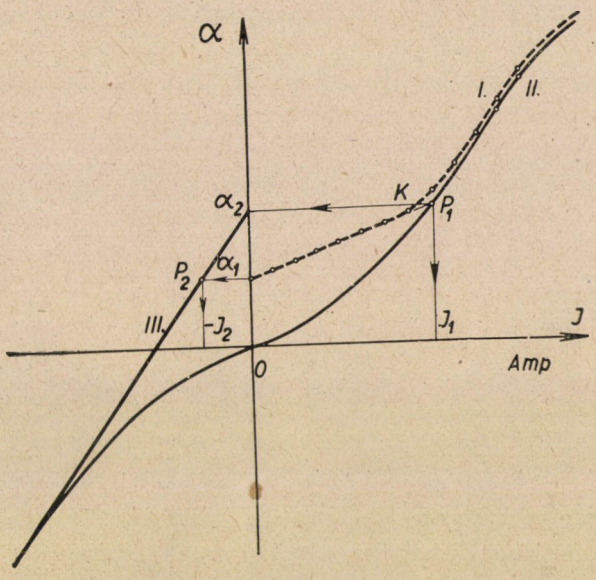
Az eljárás elméletileg ugyancsak a ferromágneses anyagok sajátos, Weiss-féle körzetekből alkotott szerkezetével magyarázható. Az egymást követő, ellentétes mágnesezésekkel okozott bonyolult és egyértelműen még nem is teljesen tisztázott belső szerkezeti folyamatok ismertetése azonban nem tartozik e tanulmány körébe. Ezért csak tájékoztatóul mutatok rá arra, hogy valamely mágnesezés, az általa befolyásolt Weiss-féle körzetek irreverzibilis átbillenése folytán, mintegy rögzítve marad az anyag belsejében, s ezt egy utóbb bekövetkező *gyengébb* és *ellentétes* mágnesező erő nem változtathatja meg, mert erejének és irányának hatása alá eső más körzeteket billent át. A test kifelé megnyilvánuló, eredő remanens mágnessége tehát csökken, de mihelyt — a mérés alkalmával — az első mágnesező erővel egyező külső mágnesező erőt működtetünk, az fokozatosan lerontja a második gyengébb áramlökés okozta változást, úgyhogy ismét kialakul az első áramlökésnek megfelelő remanencia.

A mérési eljárást az előzőhöz hasonlóan, de bizonyos kiegészítésekkel, a következőképpen kell lefolytatni.

Minthogy a mérendő villámpálcáról nem tudjuk előre, hogy hányszorosan volt mágnesezve, a mérést a szokásos módon, remanenciájának megállapításával kezdjük, amikor is a ballisztikus galvanométer pl. α_1 kilengést mutat (11. ábra).

Ezután áttérünk a *második* műveletre, a mágnesezési görbének az egyenáramú gerjesztésű *C* tekerccsel való felvételére. Ez azonnal elárulja, hogy egyszeres vagy többszörös mágnesezésű pálcával van-e dolgunk, mert ha a pálcát csak egy villámáram mágnesezte, akkor ábránkon az α_1 pontból kiinduló vonal

kezdetben az abszcisszatengellyel párhuzamos egyenes, amint azt a 10. ábrán látjuk. Ha ellenben a mágnesezés kétszeres volt és az α_1 remanencia egy erősebb pl. pozitív áram okozta felmágnesezés, majd egy gyengébb negatív áram okozta lemágnesezés eredménye, akkor, amint az egyenáramú gerjesztést fokozatosan erősítjük és a pálca mágnességét mérjük, a galvanométer kitérése ugyancsak fokozatosan növekedni fog. Ha a leolvasott értékeket α/I koordináta-rendszerbe berajzoljuk, α_1-ből kiinduló ferde vonalat kapunk, amely bizonyos K érték után átmegy az I mágnesezési görbébe.



11. ábra

Harmadik műveletként a pálcát mágnestelenítjük és *negyedik* műveletként felvesszük a teljes II mágnesezési görbéjét. Ezután az α_1-ből kiinduló ferde vonalat meghosszabbítjuk, és ezzel a II görbén kimetsszük a P_1 pontot, amelynek abszcisszája adja ama pozitív áram I_1 erősségét, amely a villámpálcát először mágnesezte.

Ötödik művelet a pálca második mágnestelenítése, és *hatodik* a második fokozatos felmágnesezés egészen P_1 pontig, amelynek α_2 remanencia felel meg.

Hetedik műveletben a mágnesező tekercs egyenáramú gerjesztésének irányát ellenkezőre váltjuk át és a szokásos módon fokozatonként haladva a pálcát lemágnesezzük. A ballisztikus galvanométer kilengéseit ábránkba berajzolva, a negatív áramok felé lejtő III ferde vonalat kapunk. Ha erre átvetítjük α_1-et, a kimetszett P_2 pont abszcisszája adja ama negatív áram I_2 értékét, amely a villámpálcát másodszor mágnesezte.

Megjegyzendő, hogy a *III* vonal nem egyenes, hanem kissé ívelt, de az eltérés oly csekély, hogy általában egyenesnek vehető. Ezért, ha nem törekedünk nagy pontosságra, az utolsó három műveletet megtakaríthatjuk annak árán, hogy a mágnesezési görbét nemcsak a pozitív, hanem a negatív áramok felé is felrajzoljuk. Ha a negatív görbéhez α_2-ből érintőt húzunk, az jó közelítéssel azonos lesz a lemágnesezés egyenesnek minősíthető *III* vonalával.

Könnyen belátható, hogy ez a mérési eljárás, amelyet „*lehámozás*"-nak neveznek, csakis akkor vezethet eredményre, ha a második mágnesezést okozó áram — akár ugyanazon, akár ellentett értelmű — gyengébb, mint az első, mert ellenkező esetben az erősebb második áram kitörli az előző gyengébb nyomait. Ugyancsak belátható az is, hogy a módszert többszörös mágnesezés kimutatására is ki lehet fejleszteni, de természetesen mindig bonyolultabbá válik és nem kis szakértelmet igényel.

Az első villámpálcákat 1952 tavaszán szereltük fel, fokozatosan összesen 424-et, Budapesten és környékén, könnyen hozzáférhető helyeken, mert először gyakorlat és tapasztalatok szerzésére volt szükség. 1953-ban a felszerelt pálcák számát 720-ra növeltük és nagyobb mértékben vettük igénybe a távvezetéki oszlopokat. Sajnos, tapasztalataink igen elszomorítók voltak, mert a két év alatt összesen 185 villámpálcánk tűnt el nyomtalanul, részben fa tartókarjával együtt. Különösen szerencsétlen volt az 1953. év, amelyben a távvezetéki oszlopokra szerelt 372 pálcából 90 tünt el, vagyis kereken 24%. A pálcákat ellenőrző OVIT vezetékmesterek jelentései szerint a dézsmálók — amennyire azt az eltünések helyéből és egyéb körülményekből utólag valószínűsíteni lehetett — kirándulók, falusi gyerekek és mezőgazdasági ifjúmunkások voltak. Noha az Akadémia jóvoltából a hiányt újabb 300 villámpálcának Uppsalából történt beszerzésével pótoltuk, mégis óvatosabbak lettünk és a távvezetéki oszlopokra szerelt pálcák számát csökkentettük, nehogy kutatásunk lehetősége a pálcák gyors fogyása miatt megbénuljon, még mielőtt legalább bizonyos tájékoztató adatokat nem szereztünk. Bár e viszonyok kissé javultak és a jövőben remélhetőleg még tovább javulni fognak, nem kétséges, hogy adottságainkat figyelembe véve, ilyen korlátolt számú mérőhellyel és kisszámú villámpálcával törekvésünket nem koronázhatja komoly siker. Gondoljunk arra, hogy például Németországban már a kutatás megkezdésének első évében, 1933-ban 10 000 villámpálcát szereltek fel és ez a szám jelenleg 100 000 körül van.

A mi, négy évet felölelő kutató munkánk adatairól és eddigi szerény eredményeiről a IX. X. XI. táblázat ad számot.

A IX. táblázat összesítő kimutatás arról, hogy hol, hány helyen (*AM*), hány villámpálcát (*AP*) szereltünk fel (pl. 1955-ben 249 helyen 572 pálcát) és ezekből a helyi ellenőrzés során hányat küldtek be a tanszékre, mint mágnesezettet (*B*. pl. 49 helyről 84 pálcát). A beküldöttek azonban nem mind mutatkoztak további tanulmányozásra érdemesnek (*C*. pl. 84-ből csak 64), úgyhogy végeredményben a felszerelési helyek és a mérőpálcák számához viszonyítottan

IX. táblázat

Összesítő kimutatás a villámmérésekről

	Mérőhelyek	1952		1953		1954		1955		Összesen	
		M	P	M	P	M	P	M	P	M	P
	Tornyok	12	28	11	24	11	22	11	22	45	96
	Kémények	16	38	56	160	77	154	72	144	221	496
	Egyéb épületek	6	48	6	40	6	40	6	40	24	168
A	Épületek összesen ..	34	114	73	224	94	216	89	206	290	760
	Távvezeték oszlopok	56	196	141	372	85	216	85	216	367	1000
	Túlfeszültség-levezetők ...	30	114	62	124	62	124	75	150	229	512
	Összesen	120	424	276	720	241	556	249	572	886	2272
B	Beküldött összesen	4	8	64	141	49	87	49	84	166	320
	Tornyok	—	—	6	8	4	7	1	2	11	17
	Kémények	2	4	4	7	5	10	11	20	22	41
	Egyéb épületek	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
C	Épületek összesen ..	2	4	10	15	9	17	12	22	33	58
	Távvezeték oszlopok	—	—	7	15	9	14	7	8	23	37
	Túlfeszültség levezetők ...	2	4	23	39	28	43	23	34	76	120
	Összesen	4	8	40	69	46	74	42	64	132	215
D	*CM/AM* %....	3,34	—	14,5	—	19,1	—	16,9	—	14,9	—
	CP/AP %	—	1,89	—	9,6	—	13,3	—	11,2	—	9,5
	Negatív	4	100%	24	60%	28	60,9%	24	57,1	80	60,6
	Pozitív	—	—	16	40%	18	34,1%	18	42	52	39,4
E	Összesen	4	100%	40	100%	46	100%	43	100%	132	100%
	Többszörösen mágnesezett	2	50%	6	15%	12	26%	5	11,6%	25	18,8%

AM ..... a mérőhelyek száma

AP ..... a felszerelt villámpálcák száma

B ..... *AM* mérőhelyről, ill. *AP* villámpálcából beküldtek, mint mágnesezettnek találtat

C ..... a B-ből mérhetően mágnesezett volt

D { *CM/AM*% .. villámsújtott/összes mérőhely %
CP/AP% .... mágnesezett/összes felszerelt villámpálca %

E ..... a pálcák mágnessége szerint a lecsapott villámok polaritása

X. táblázat

A villámok polaritása a mérések helye szerint

A mérés helye	1952		1953		1954		1955		Összesen			
	neg.	poz.	neg.	poz.	neg.	poz.	neg.	poz.	negatív		pozitív	
Tornyok	—	—	6	—	3	1	1	—	10	91%	1	9%
Kémények	2	—	3	1	4	1	11	—	20	91%	2	9%
Egyéb épületek	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Épületek összesen	2	—	9	1	7	2	12	—	30	91%	3	9%
Távvezeték oszlopok	—	—	4	3	6	3	—	7	10	43%	13	57%
Túlfeszültség-levezetők	2	—	11	12	15	13	12	11	40	52,6%	36	47,4%
Összesen	4	—	24	16	28	18	24	18	80	60,6%	52	39,4%

XI. táblázat

Villámáramok mért erőssége kA-ben

	1952			1953			1954			1955			1952—1955 összefoglalva		
	max.	min.	köz.	max.	min.	köz.	max.	min.	köz.	max.	min.	köz.	max.	min.	köz.
P o z i t í v															
Tornyok ...	—	—	—	—	—	—	3,0	3,0	3,0	—	—	—	3,0	3,0	3,0
Kémények	—	—	—	1,2	1,2	1,2	12,5	12,5	12,5	—	—	—	12,5	1,2	6,9
Épületek összesen:	—	—	—	1,2	1,2	1,2	12,5	3,0	7,7	—	—	—	12,5	1,2	5,6
Távvezeték oszlopok	—	—	—	21,8	7,4	13,7	20	16,6	18,2	47,1	10,9	23,5	47,1	7,4	20
Túlfeszültség-levezetők	—	—	—	7,0	<0,7	1,7	3,7	<0,7	1,2	>11,0	<0,7	1,7	>11	<0,7	1,5
N e g a t í v															
Tornyok ...	—	—	—	22,9	<0,7	7	16,9	2	7,8	1,3	1,3	1,3	22,9	<0,7	6
Kémények	35,2	10	22,5	43	<0,7	22,9	40,4	12,8	23,1	>60	2,1	19,8	>60	<0,7	20,3
Épületek összesen:	35,2	10	22,5	43	<0,7	13	40,4	2	16,5	>60	1,3	18,3	>60	<0,7	15,7
Távvezeték oszlopok	—	—	—	35,4	2,3	18,4	18,4	1,4	8	—	—	—	35,4	1,4	12,1
Túlfeszültség-levezetők	4,5	<0,7		>9	<0,7	2,8	7	<0,7	2,2	9,2	<0,7	2,3	9,2	<0,7	2,5

a rendszer „hatásfokáról" is beszélhetünk (*D*. pl. 16,9%, ill. 11,2%). Végül a táblázat *E* rovata azt mutatja, hogy a beküldött és megmért villámpálcák tanúsága szerint a villámcsapások közül hány volt negatív és hány pozitív polaritású, és hogy hány mutatkozott — az előzőkben vázolt értelemben — kétszeresen mágnesezettnek. Az utóbbiak a negatívok és a pozitívok számában is szerepelnek aszerint, hogy eredő mágnességük, amelyet az első és erősebb villámáram gerjesztett, milyen polaritású volt. Végeredményben, a négy megfigyelési év átlagából a IX. táblázat adatainak alapján egyelőre azt a következtetést vonhatjuk le, hogy hazánkban a negatív és a pozitív polaritású villámok arányszáma nem oly nagymértékben különböző, mint amekkorának azt egyes külföldi adatok mutatják. A mi klimatológiai adottságaink között úgy látszik, hogy valamennyi különféle észlelési hely átlagát véve, a negatív villámok javára kereken 60 : 40 arány érvényesül.

Ezen általános kereten belül tanulságos megvizsgálni, hogy miként oszlik meg a *polaritás* a villámok lecsapási helye szerint. Erre a X. táblázat ad felvilágosítást, amelyből azt látjuk, hogy a környezetükből magasra felnyúló tornyok és önálló kémények villámhárító rúdjába csapó villámok 91%-a negatív polaritású volt. Ezzel szemben, a távvezeték oszlopokon csak 43%, a túlfeszültséglevezetőkön pedig csak 52,6% mutatkozott negatív polaritásúnak. Meg kell azonban jegyezni, hogy a távvezetéki oszlopokra vonatkozó adatot nem tekinthetjük teljesen megbízhatónak, mert feltűnő, hogy 1955-ben mind a hét mágnesezett villámpálca pozitív polaritásról tett tanúságot, ami ellenkezik az előző két év észleleteivel és lehetséges, hogy egyik-másik pálca téves felszereléséből származik. Valószínűnek látszik, hogy a helyes érték a túlfeszültséglevezetőkön mutatkozóhoz hasonló nagyságrendű, tehát a távvezetékeinkre sújtó villámok polaritása nagyjából felerészt negatív és felerészt pozitív. Ez a feltűnő különbség a magasra felnyúló építményekbe csapó villámok polaritási arányához képest teljes összhangban van a külföldi észleletekkel, és megerősíti azt, a már az előzőkben is kifejezett véleményemet, amely szerint a negatív villámoknak egyes külföldi statisztikai adatokkal kimutatott túlnyomó többsége a negatív kisüléseknek és a magas felfogó elektródáknak laboratóriumban is mutatkozó kölcsönhatásán alapszik.

A mért adatokból az előzőkben ismertetett módon kiszámított *villámáramerősség*ek szélső és közepes értékei a XI. táblázatban vannak összeállítva. Adataink kis száma természetesen távolról sem elegendő arra, hogy gyakorisági diagram készítésére vállalkozhassunk, azonban három értékes következtetést máris levonhatunk.

Az első az, hogy a kevés adat ellenére is észleltünk igen nagy, 60 kA-t meghaladó villámáramot, amely érték — a külföldi statisztika szerint — csak néhány százaléknyi gyakorisággal fordul elő. Ez a villám a Kőbányai (volt Részvény) Sörgyár Maglódi úti telepe kazánházának kéményére sújtott és hasznos volt azért, mert már kutatásaink kezdetén figyelmeztetett arra, hogy ilyen magasra

felnyúló építmények villámhárító berendezésének létesítésénél hazánkban milyen nagyságrendű villámáramok előfordulására kell számítanunk.

XII. táblázat

Távvezeték oszlopok megengedhető földelési ellenállása 45 kA villámáram alapján számítva

Szigetelő típus	Tagok száma	Átívelő lökőfeszültség		Mérés helye	Földelési ellenállás Ω		Megjegyzés
		+ kV	— kV		+ $\sqrt{\ }$	— $\sqrt{\ }$	
R 6		135	175	M	3,0	3,9	
R 10		147	192	M	3,3	4,3	
R 15		162	213	M	3,6	4,7	
R 20		190	238	M	4,2	5,3	
R 25		206	254	M	4,58	5,65	
R 30		237	290	M	5,26	6,44	
R 35		270	310	M	6,0	6,9	
ER 10		139	178	M	3,1	4,0	
ER 15		146	181	P	3,25	4,0	
ER 20		180	236	M	4,0	5,25	
ER 25		210	290	M	4,67	6,44	
ER 30		216	283	P	4,8	6,3	
ER 35		243	320	M	5,4	7,1	
ES 2	7	552	606	P	12,3	13,5	
	8	648	686	P	14,4	15,3	
	9	735	775	P	16,3	17	
ES 3	1	158	176	M	3,5	3,9	Ívterelő gyűrűk nélkül
	2	294	322	M	6,5	7,16	
	3	334	376	M	7,4	8,35	
	3	265	340	M	5,9	7,55	Ívterelő gyűrűkkel
	4	355	500	M	7,9	11,1	
	5	430	586	M	9,52	13,0	
	6	514	627	M	11,4	14,0	
	7	668	717	P	14,8	16,0	
	8	751	806	P	16,7	18,0	
	9	853	912	P	19,0	20,2	
KS 4	1	270	320	M	6,0	6,2	Gyűrűk nélkül
	2	390	464	M	8,7	10,3	
	2	310	392	M	6,9	8,7	Gyűrűkkel
	3	460	574	M	10,2	12,7	
	4	600	—	M	13,3		
BR 20	1	188	240	P	4,17	5,32	
BR 30	1	219	280	P	4,86	6,22	
BR 35	1	280	348	P	6,22	7,70	

M = a Műegyetem Villamosművek és Villamosvasutak Tanszéke mérése.
P = a pécsi (Zsolnay) porcelángyár mérése.

Második következtetésünk, hogy a távvezetéki oszlopainkon lefolyó villámáramok között is előfordultak igen tekintélyes értékűek. Negatív polaritással 35,4 kA-t, pozitív polaritással 47,1 kA-t állapítottunk meg. Ezek — amint az a vonatkozó közepes értékekkel való összehasonlításból kitűnik — már önmagukban is kimagasló értékek, de még súlyosabbakká válnak akkor, ha figyelembe vesszük, hogy egyrészt — LEWIS említett mérései szerint — az oszlopra sújtó villám árama mindig jóval nagyobb, mint amekkora az oszlop száraira szerelt villámpálcák mágnesezettségéből kiszámítható, másrészt mert nem tudjuk, hogy az oszlopon lefolyt és megmért áram közvetlenül az oszlopba vagy oszlopközben a védővezetőbe csapó villámtól származik-e. Az utóbbi esetben ugyanis a villámpálcát a villám teljes áramának csak ismeretlen hányada mágnesezi. A tanulság, amelyet eddigi eredményeinkből mindenesetre le kell vonnunk, az, hogy ha a visszacsapás veszélyét el akarjuk háritani, akkor távvezetéki oszlopaink földelésének méretezésekor legalább 40—50 kA lökőáramot kell számításba venni. A hazánkban szabványosított szabadvezetéki szigetelők laboratóriumban megállapított pozitív és negatív lökőfeszültsége alapján, 45 kA lökőáram esetén megengedhető legnagyobb földelési ellenállás értékek a XII. táblázatban vannak összeállítva.

Végül a harmadik következtetés, amelyet levonhatunk, az, hogy a középnagy, vagyis 5—30 kV közé eső feszültségű szabadvezeték-hálózatainkra kapcsolt túlfeszültséglevezetők lökőáram kapacitásának legalább 12—15 kA-nak kell lennie. Ez ugyan a külföldi statisztikai adatok szerint a ritkábban előforduló nagy értékek közé tartozik, minthogy azonban nálunk már 76 mért eset között is előfordult 11 kA-nél erősebb levezetési áram, ezt a tényt a túlfeszültséglevezetőkkel szemben támasztott követelmények felállításakor nem szabad figyelmen kívül hagyni.

Beszámolóm végére értem. Megindokoltam a hazai villámkutatás szükségességét, vázoltam azt a munkát, amelyet tanszékem a Magyar Tudományos Akadémia megértő támogatásával végez, ismertettem eddig elért szerény eredményeinket és rámutattam azokra az okokra, amelyek törekvéseink nagyobb sikerű valóraválását eddig akadályozták. Ezekhez kapcsolódva úgy vélem, hogy előadásomat leghelyesebben azon intézkedések javasolásával fejezem be, amelyeket — az eddig szerzett tapasztalatok alapján — alkalmasnak és szükségesnek tartok arra, hogy munkánk hatásfokát megjavíthassuk.

Javaslataim a következők.

1. Az Akadémia kérje fel az Országos Meteorológiai Intézetet, hogy tegye *összes* megfigyelőinek feladatává a zivatarok rendszeres jelentését. A villamosenergiaipar számára a 140 klímaállomás adatai — bármennyire értékesek is azok megbízhatóságuk folytán — szétszórtságuk miatt nem nagy segítséget jelentenek. Szükségünk lenne a 950 csapadékmérő állomás észleleteire is. Igényeinket teljesen kielégítené, ha havi jelentéseiket csupán azzal egészítenék ki, hogy az illető napi csapadékot egy felettük elvonult zivatar okozta-e. Ez termé-

szetesen nem lesz elegendő a meteorológiai izokeraunikus szint rögzítésére, de értékében egyeznék azzal az adattal, amelyet saját megfigyelőinktől várunk. Értesülésem szerint ilyen értelmű jelentések 1950-től kezdve rendelkezésre is állnak, de — mivel számottevő hányaduk a meteorológusok szigorú mércéjén mérve nem teljesen megbízhatónak minősül — nincsenek feldolgozva. Számunkra azonban így is értékesek lennének, s ezért az Akadémia útján kérnünk kell az Országos Meteorológiai Intézetet, hogy a munka utólagos elvégzését tegye lehetővé, a jövőben pedig rendszeresen dolgoztassa fel a csapadékmérő állomások kötelességévé tett zivatarjelentéseket is. Ha elérhetnők azt, hogy a 950 csapadékmérő állomásból legalább 600—700, és a saját 800 megfigyelő állomásunkból legalább 400—500 lenne megbízható, akkor a 140 klímaállomással együtt 1200—1300 adat állna évente rendelkezésre, ami bőségesen elegendő ahhoz, hogy néhány év alatt Magyarország zivatarviszonyairól a villamosenergiaipar igényeit teljesen kielégítő képet alkothassunk.

2. A Villamosenergiaipari Igazgatóságot kérjük, hogy szólítsa fel nyomatékosan az erőműveket, az alállomásokat és a távvezetékeket üzemeltető vállalatokat, hogy szigorúan, fegyelmi felelősség terhe alatt utasítsák a kijelölt üzemi személyeket, hogy az elenyészően csekély munkát okozó zivatarjelentő lapokat lelkiismeretesen töltsék ki és pontosan küldjék be. Nem elég, ha a vállalatok csak egyszer, általánosságban intézkednek, mert a megbízhatóság nem az állomáshelytől, hanem kizárólagosan az egyének fegyelmezettségétől függ. Sok esetben tapasztaltuk, hogy több éven át rendszeresen jelentő megfigyelőhelyről egyszerre teljesen megszűnt a jelentések beküldése. Utánajárva megállapítottuk, hogy ennek oka az volt, hogy a régebbi megfigyelőt más helyre osztották be és utódja — nem lévén kellően kioktatva — nem tartotta fontosnak egy egyetemi tanszék részéről szorgalmazott zivatarjelentések ügyét. A prémiumok megállapításakor ezt is figyelembe lehetne venni, s ehhez a tanszék rendelkezésre bocsáthatja az érdemesek és az érdemtelenek névsorát. Hogy még kis jutalmazás is mennyire serkentőleg hat, azt saját tapasztalatunkból tudjuk azon eredmény alapján, amelyet a tanszék szűkös anyagi viszonyaihoz mért, összegszerűen egészen jelentéktelen, de úgy látszik mégis jóleső jutalmak adásával, észlelőink egy kis részénél elértünk.

3. A villámpálcák felszereléséhez és ellenőrzéséhez szintén nagyobb támogatást kell kérnünk az üzemi vállalatoktól. Egyrészt, mert a vállalatok már többé-kevésbé ismerik hálózatuk ama részeit, amelyeket a villámcsapások fokozottan veszélyeztetnek, és ezért különösen alkalmasak villámpálcák felszerelésére. Másrészt, mert a tanszéknek nincs és nem is lehet személyzete arra, hogy az ország különböző részein, távvezetéki oszlopokon, védővezetőkön és túlfeszültséglevezetőkön szerelési munkát végezzen. Erre csak a helyi szakszemélyzet lehet hivatva, amelyet viszont természetesen csakis saját felettes szerve vehet ilyen munkára igénybe. A tanszék készségesen megad minden útmutatást és ha kell, ellenőrzi annak helyes végrehajtását, de többre, mint a

beküldött pálcák mérésére és az eredmények feldolgozására, nem vállalkozhatik. Különösen akkor nem, ha a villámkutatás annyira kívánatos kiterjesztése esetén, az eddigi szerény keretek helyett néhány ezer villámpálca kezeléséről lesz szó. A kiértékelést a tanszék továbbra is, annál is inkább indokoltan és szívesen vállalja, mert minden műszeres mérés elősegíti a hallgatóság kiképzését is. Azonban a tisztán adminisztratív teendők állandó végzése már nem illeszthető be a tanszék feladatkörébe. Az úttörés nehéz éveiben ezt is vállaltuk. Ha azonban az iparág — amiben nem kételkedem — a villámkutatás folytatását kívánatosnak, sőt kiterjesztendőnek tartja, akkor kérnünk kell a tanszék mellé egy olyan, középképzettségű segéd-munkaerő beállítását, aki a sok ezer zivatarjelentő lap feldolgozását, a villámpálcák fel- és leszerelésével járó levelezést és teendőket, a meteorológiai adatokkal való egyeztetést, a táblázatok összeállítását, a térképek elkészítését, szóval az összes adminisztratív teendőket elvégzi, úgyhogy a tanszékre csak a mérés, a műszaki továbbfejlesztés és a szellemi irányítás feladata hárul. E szerény kérés teljesítését a Vegyipari és Energiaügyi Minisztérium tanszékem iránt eddig is tanúsított jóindulatától remélhetjük.

4. Végül az Akadémiához is van kérésünk. Villámpálca állományunk csekélysége és — sajnos — aligha teljesen megszüntethető évi fogyása, a kutatás további lehetőségét rövid időn belül teljesen meg fogja bénítani. Egyébként is — amint már említettem — az ezres nagyságrendű állomány még azt sem engedi meg, hogy legalább a legkényesebb helyeken végezzünk felderítő méréseket. Tudjuk, hogy a külföldi — svédországi — beszerzésnek ez idő szerint igen nagy nehézségek állnak útjában. Ezért arra kérjük az Akadémiát, hogy az erre hivatott kutatóintézeteivel sürgősen dolgoztassa ki a céljainknak megfelelő villámpálca hazai prototípusát, és azután nyújtson anyagi segítséget arra, hogy abból legalább 10 000-t megrendelhessünk.

Ha az előző pontokban foglalt javaslataim megértő támogatásban fognak részesülni, akkor nem kétséges, hogy az összes érdekeltek tervszerű, szorosabb együttműködésével ki tudjuk majd dolgozni a villámkutatás ama hazai eredményeit, amelyek ismerete — véleményem szerint — nélkülözhetetlen rohamosan fejlődő villamos energiaszolgáltatásunk biztonságának népgazdasági szempontból annyira fontos fokozására.

IRODALOM

1. A Központi Statisztikai Hivatal adatai.
2. A Belügyminisztérium Tűzrendészeti Parancsnoksága adatai.
3. Az Állami Biztosító Főigazgatóság adatai.
4. A Magyar Dunántúli Villamossági Rt. adatai.
5. Lábjegyzet a 197. oldalon.
6. Az Országos Meteorológiai Intézet hivatalos kiadványa. Bp. 1952.
7. Útmutatás csapadékmérő állomások részére. II. kiadás. Bp. 1953.
8. Lewis W. W. and Foust C. M.: Lightning investigations on transmission lines. VIII. El. Eng. (Transactions) 1946. 107. old.
9. Grünewald I. — Recherches sur les perturbations provoquées par les orages et sur la protection des lignes aeriennes contre les orages. CIGRÉ. 1939. Rapp. 323.
10. Rokkaku H.: La foudre et les lignes de transport d'énergie. CIGRÉ. 1939. Rapp. 321.

11. HARDER E. and CLAYTON J.: Lightning phenomena. Westinghouse Engineer 1951. 106. old.
12. LEWIS W. W.: Protection of Transmission Systems against Lightning. John Wiley & Sons. New-York. 1950.
13. MC EACHRON K. B.: Lightning to the Empire State Building. El. Eng. 1938. Dec. 493. old. Journ. Franklin Inst. 1939. Nr. 2. 1949. old.
14. VEREBÉLY L.: A villámkutatás legújabb eredményei. — A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Kiadása. Budapest, 1940.
15. SCHONLAND B. F. and. COLLENS H.: Progressive Lightning. Proc. Roy. Soc. London 1934. Nr. 850., 654. old.
SCHONLAND B. F. — COLLENS H. — MALAN D. J.: Progressive Lightning. — Proc. Roy. Soc. London. 1935. Nr. 877., 595. old.
16. BERGER K.: Neuere Resultate der Blitzforschung in der Schweiz. — Bull. Schw. E. T. V. 1947. No. 25. 813. old.
17. BERGER K.: Resultate der Blitzmessungen der Jahre 1947—1954. auf dem Monte San Salvatore. — Bull. Schw. E. T. V. 1955. No. 9. 405. old.
18. ROBERTSON L. M., LEWIS W. W., FOUST C. M.: Lightning Investigation at High Altitudes in Colorado. El. Eng. (Transactions) 1942. 201. old.
19. POCKELS F.: Ein Versuch die bei Blitzschlägen erreichte maximale Stromstärke zu schätzen. Meteorolog. Zeitschr. 1898. 42. old. — Über die bei Blitzschlägen erreichte Stromstärke. Wiedemann Ann. 1898. — Physik. Zeitschr. 1901. 306. old.
20. FOUST C. H. and KUEHNI H. P.: The Surge Crest Ammeter. — General Electric Review. 1932. 644. old. ATM. Archiv für technisches Messen 1933. Juli V 327—1.
21. STEKOLNIKOV I. et. VALEEV CH.: L'étude de la foudre dans un laboratoire de campagne. CIGRÉ. 1937. Rapp 330.
22. ZADUK H.: Messung von Stosströmen. ATM. Archiv für technisches Messen. 1935. Dec. V. 327—2.
23. NORINDER H.: Bidrag till mätmetodiken med stälstavar für impulsströmmar. Särtryck ur Iva. 1944. Häfte 6.
24. WESTPHAL W. H.: Physik. Springer. Wien. 1947.
25. SARAOJA E. K.: Tapasztalatok acélpálcákkal mért áramlökések indikátoraival. Finnország Villamosművei Egyesületének 3. sz. kiadványa. Helsinki 1938.
26. *Studiengesellschaft* für Höchstspannungsanlagen: Abänderung des Verfahrens für die Auswertung magnetischer Stalstäbchen. 1938.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az országunk egész területét mind sűrűbben behálózó villamos távvezetékek és a velük kapcsolt készülékek üzemzavarainak túlnyomó részét villámcsapások okozzák. A kár nemcsak az üzemeltető vállalatokat sújtja, hanem az energiaszolgáltatás hosszabb-rövidebb ideig tartó kimaradása a gazdasági élet széles területeire kihat. Ezért a villámcsapások elhárítása vagy következményeinek enyhítése fontos nemzetgazdasági érdek, amelynek szolgálatában külföldön már évek hosszú sora óta rendszeres munka folyik. A feladat megoldására három kérdést kell tisztázni, úm. *a)* mekkora a távvezetékek fölé szerelt földelt védővezető árnyékoló területe; *b)* mennyire villámveszélyeztetettek a távvezetékek nyomvonalainak egyes szakaszai; *c)* mekkora erejű villámokra kell a túlfeszültséglevezetőket készíteni, hogy a mögöttük levő értékes berendezést a meredek homlokú feszültséghullámok behatolásától megvédjék. Az első kérdéssel a szerző a M. T. Akadémia III. Osztálya 1947. január hó 20-i ülésén bemutatott tanulmányában foglalkozott; az utóbbi kettővel kapcsolatban négy év óta folytatott kutatásairól a jelen értekezés számol be. A távvezetékek egyes szakaszainak viszonylagos villámveszélyeztetettségét az izokeraunikus vonalak alapján lehet megítélni, amelyek ama pontokat kötik, amelyeken a zivataros napok számának évi átlaga egyenlő. Az értekezés első része az idevágó, az ország egész területére kiterjedő statisztikai adatfelvételről számol be. Tekintve a megfigyelési idő rövidségét és a beszervezett megfigyelők jelentékeny hányadának sajnálatos hanyagságát, az eddig kimunkálható eredmények még igen szerények és izokeraunikus térkép megrajzolását még nem teszik lehetővé. A távvezeték-tervezők számára azonban már így is hasznosak, egyrészt a megfigyelőhelyek sűrűsége, tehát az adatok sokasága, másrészt a zivataros gócok és a zivatar-vonulatok tájékoztató kijelölése által. Az értekezés második része azon mérések eredményeit foglalja össze, amelyek a rendelkezésre álló felszerelés segítségével észlelt villámok áramerősségére és polaritására adnak felvilágosítást. Ezek alapján megállapítható, hogy a távvezetéki oszlopok földelésének méretezéskor legalább 45 kA, a túlfeszültséglevezetők áramkapacitásának megállapításakor pedig legalább 10—12 kA csúcsértékű lökőáramok előfordulásával kell számolni. Az értekezés részletesen ismerteti a villámkutatás szervezetét, a mérések eszközeit és módját. Befejezésül javaslatokat tesz a kutatás továbbfejlesztésével kapcsolatosan szükséges teendőkre.

A VÁKUUM-BETON TECHNOLÓGIÁJA

Prof. Dr. KOPYCINSKI BRONISŁAW, Krakkó

[Beérkezett 1956. április 13-án]

A vákuum-eljárás abban különbözik a többi betontömörítési eljárástól, hogy egyidejűleg végbemegy a beton víztelenítése is, ami a vízcementtényező csökkenése következtében még inkább hozzájárul a beton szilárdságának növeléséhez. A különböző vákuumozási eljárások közül csak azok jutottak széleskörű alkalmazáshoz, amelyek a formában vagy a zsaluzatban levő beton bedolgozására szolgálnak. Más eljárások, amelyeknél a vákuumozás a betonkeverőgépben vagy zárt edényben történik, a gyakorlatban nem váltak be.

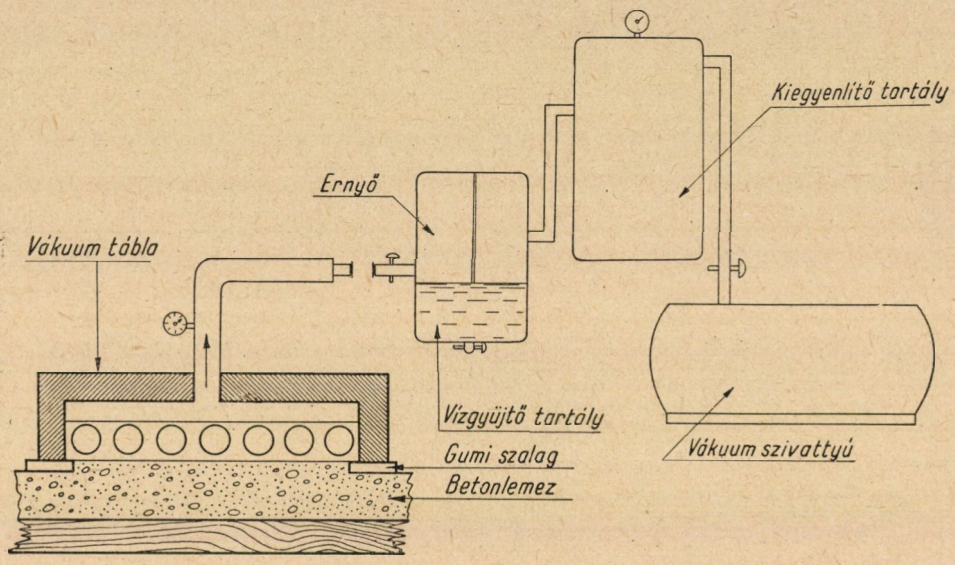
A beton vákuumozásának gondolata már a múlt században ismeretes volt. 1899-ben merült fel Oroszországban olyan berendezésnek a terve, amely a vibrátor működését kiegészítette egy légszivattyúval, amely a fölösleges vizet eltávolította a beton felületéről. Az eljárás azonban nem jutott szélesebbkörű alkalmazáshoz. Csak a Szovjetunióban (GLUGZSE, GERSBERG, SZKRAMTAJEV, TARASCSANSZKIJ, DESZOV) és nyugaton (BILLNER, L'HERMITE, LEVIANT) 1955 óta folytatott vizsgálatai vezettek a folyamat technológiájának olyan fejlődési fokára, hogy jelenleg versenyképes a vibrációs eljárással.

Lemezes szerkezetek vákuumozására alkalmazott berendezés vázlatát az 1. ábra mutatja. Mint látható, a vákuumtábla csövek segítségével össze van kötve a vákuum-szivattyúval. A ritkítás állandósítására kiegyenlítő tartályt iktatnak a berendezéshez, az elvont víz pedig egy vízgyűjtő tartályba kerül. A deszkából vagy falemezből készült vákuum-táblát az alsó, a betonnal érintkező szélén kb. 10 cm széles gumiszalaggal szigetelik. A betonnal érintkező szívó-felületen 0,3—1,2 mm átmérőjű drótháló szűrőszövet van kifeszítve. Erre a célra közönséges vásznat is lehet használni. A vákuumtábla felülete 0,7—1,1 m^2 lehet. A vákuumszivattyúval létrehozott légritkítás legalább a teljes vákuum 85%-a legyen, a Szovjetunióban használt vákuumszivattyúk 90, sőt 95%-os ritkítással is dolgoznak.

A vákuumszivattyú a csővezetékben légritkítást idéz elő, amely a vákuumtáblán keresztül a betonra hatást gyakorol és apró cseppek alakjában elvonja belőle a vizet, amely részben a csővezetéken, végül azonban a vízgyűjtőben elhelyezett ernyőkön cseppfolyósodik.

A vákuumnak a betonra gyakorolt hatását a következőképpen lehet magyarázni :

A zsaluzatban elhelyezett beton belsejében nyomás van, amely a légköri nyomásból és az önsúlyból tevődik össze. Normális körülmények között, tehát a légritkítás előtt, bizonyos egyensúlyi állapot van az adott diszperziós rendszer szilárd és cseppfolyós fázisai között. Amikor a beton felszíne érintkezésbe lép a vákuummal, ez az egyensúlyi állapot megbomlik. Az adalékanyag egyes szem-



1. ábra

cséi a nyomáskülönbség hatására elmozdulnak és a víz a szűrőszöveten keresztül a berendezés csőrendszerébe kerül. A tömörödés fokozatosan megy végbe, amennyiben a légritkítás folytán bekövetkező depresszió nem egyszerre mutatkozik az egész betonban, hanem fokozatosan terjed a szűrőszövetből a beton belseje felé, miközben a légritkítás mértéke nem állandó a beton egész keresztmetszetében, hanem a szűrőszövettől való távolsággal csökken.

A kísérletek szerint a légritkítás, azaz a szívás terjedésének középsebességéül 1—1,5 cm/percet lehet venni, hatótávolságul pedig 30—35 cm-t, ha egyoldalú vákuumozást alkalmazunk. A két oldalról (falak) vagy 4 oldalról (oszlopok) vákuumozott elemek vastagsága ezek szerint 70 cm- is lehet, ha a vákuumtábla minden oldalról körülveszi a betont.

A vákuumozással való vízelvonás a cementszemcsék közeledését idézi elő. A víz kb. 100 mikronrendű mikrocsatornáinak átmérője néhány mikronra csökken. Ennek következtében a beton szerkezete különbözik a más módszerrel tömörített beton szerkezetétől, ugyanis a szokásos pép helyett, amely tulajdon-

képpen a cementnek vízben való oldata, közvetlenül az eljárás után félszilárd pépet kapunk, amely kitölti az adalékanyag közti üregeket.

A vákuumozás befejezése után — amelynek addig kell tartania, amíg a depresszió állandósul az egész betonpépben — a belső egyensúlynak új állapota keletkezik. Ebben az állapotban a mikrocsatornákat kitöltő víz a szilárd fázisra az adott helyen keletkező légritkítással egyenlő nyomást fejt ki.

El lehetne gondolni, hogy a vákuumozás befejezése után, amikor tehát a betonra minden oldalról ismét a légköri nyomás kezd hatni, fordított hatásnak kell mutatkoznia, azaz a belső és külső nyomások kiegyenlítésének. Ez azonban nem következik be. A mikrocsatornákban, amelyeknek átmérője — mint már említettük — nagyon kicsi, a nyomáskiegyenlítést megakadályozó meniszkuszok keletkeznek. A beton külső felülete meniszkuszok hálójával van borítva, amelyek a mikrocsatornák végén keletkeznek.

Azt is figyelembe kell venni, hogy a vákuumozás folyamán a cement legapróbb szemcséi az elszívott víz mozgásának irányában elmozdulnak és ilymódon az elem felületén különösen zárt szerkezetű habarcsréteg képződik.

Mint a tapasztalat mutatja, ez a kb. 0,8 mm vastagságú réteg kb. 2,5-szer erősebb ütésekkel szemben tud ellenállást kifejteni, mint a közönséges beton. Ennek következtében a vákuumozás befejezése után a beton szemcséi közti kohézió nagyobb, mint a közönséges betonban. A belső súrlódás együtthatója szintén lényegesen nagyobb, úgy, hogy a friss beton kizsaluzás után 1—2 kg/cm² szilárdsággal rendelkezik, tehát kisszilárdságú szilárd testnek tekinthető. FREYSSINET ezt az állapotot „álszilárd" állapotnak nevezi. A fenti leírásból következik, hogy a beton vákuumozása a következő előnyökkel jár:

1. lehetővé teszi, hogy kevesebb munkát fordítsunk a beton bedolgozására, amennyiben folyósabb betont használhatunk,

2. a szemcsék közti kohézió növekedése következtében a beton a vákuumozás befejezése után olyan rendű szilárdságot ér el, hogy az oldal-zsaluzást el lehet távolítani,

3. a fölösleges víz elszívása következtében a vízcementtényező csökken és a beton szilárdsága nagyobb lesz,

4. ez utóbbi gazdasági előnyökkel is jár, amennyiben kb. 20%-k-al csökkenteni lehet a cementadagolást,

5. a vákuum-táblák segítségével az előregyártott elemek üzemi szállítása is megoldható.

Az irodalomból ismert vizsgálatok eredményei nagyon különböznek egymástól, ami mindenekelőtt azzal magyarázható, hogy igen sok tényező befolyásolja a vákuumozás végső eredményeit. A kísérleti eredményeket a következőkben lehet összefoglalni:

TARASCSANSZKIJ szerint a vákuumozás következtében a beton nyomószilárdságának növekedése 28 napos korban 42%, egy év múlva pedig 30—80% lehet, a nem vákuumozott betonhoz képest.

Ez a növekedés mindenekelőtt a cementadagolástól, a vízcementtényezőtől és a vákuumozás időtartamától függ.

Ezenkívül megállapítható, hogy olyan tényezők is befolyásolják az eredményt, mint a homokpont, a cement minősége, az adalékanyag minősége, az elem méretei, a vákuumozás megkezdése a cement kötésének idejéhez képest, az adalékanyag szemeloszlása és végül a hőmérséklet.

Valamennyi szerző megállapítja, hogy a cementadagolás nagyságának a vákuumozott beton szilárdságnövekedésére igen nagy jelentősége van. Az erre vonatkozó kísérletek eredményeit az I. táblázat jellemzi:

I. táblázat

Cementadagolás kg/m³-ben	A vákuumozott beton szilárdságnövekedése	
	100 napos korban L'HERMITE szerint	80 napos korban LEVIANT szerint
120	29%	
200	—	56%
250	70—80%	57%
300	40—45%	40%
350	—	33%
480	14%	19%

Mint a táblázatból kitűnik, az optimális cementadagolás kb. 250 kg/m³.

Ami a vízcementtényezőnek a szilárdságra való befolyását illeti, L'HERMITE adatai szerint az optimális vízcementtényező értéke $v/c = 0{,}6$ 300 kg/m³ cementadagolás esetén, LEVIANT szerint pedig a legkedvezőbb érték $v/c = 0{,}55$.

A beton szilárdságának növekedése a vízcementtényező függvényében TARASCSANSZKIJ szerint a következő:

$v/c = 0{,}4$ esetén 20%
$= 0{,}45$ „ 25%
$= 0{,}53$ „ 28%
$= 0{,}60$ „ 36%

A vákuumozás időtartama 1—2 perc az elem vastagságának minden centiméterére. A Szovjetunió Nehézipari Építési Minisztériumának 1951-ből való I—135—50. sz. utasítása szerint ez az időtartam a következő:

5 cm	elemvastagságig	0,75 perc minden cm-re
6—10 cm	elemvastagságnál	3,5 perc + 5 cm-en túl 1 perc minden cm-re
11—15 cm	„	8,5 perc + 10 cm-en túl 1,5 perc minden cm-re
16—20 cm	„	16 perc + 15 cm-en túl 2,0 perc minden cm-re
21—25 cm	„	26 perc + 20 cm-en túl 2,5 perc minden cm-re

Igen jó eredményt lehet elérni vibro-vákuumozással, amikor a vákuumozás előtt az elemet kb. $^1/_4$ percig vibrálják.

A vákuumozást portlandcementnél ajánlatos a beton elkészítése után legalább 3 órával megkezdeni.

A húzószilárdság 28 napos korban 14%-kal, a hajlító-húzó-szilárdság 48%-kal nagyobb, mind a közönséges betonnál.

Ugyanígy a zsugorodás 1 napos korban 8-szor, 35 napos korban pedig 3-szor kisebb, mint a vibrált elemek zsugorodása. A beton kopási ellenállása 2—5-szörös. A vízfelvétel 20—25%-kal kisebb. A vízzárás lényegtelenül nagyobb. A fagyállóság 1,5—3-szor nagyobb. A tapadás 12%-kal kedvezőbb. Ezen adatok TARASCSANSZKIJtől származnak.

Az elszívott víz mennyisége normális körülmények között 20—25%, kivételesen elérték a 30%-ot is.

A beton szívó-vákuumozásának jelenségét elég jól kifejező elméleti alapokon L'HERMITE dolgozta ki a talaj vízáteresztését meghatározó Darcy-féle képletre támaszkodva. Az egyenlet, amelynek klasszikus alakja:

$$\mathrm{d}Q/\mathrm{d}F = K \cdot \mathrm{d}p/\mathrm{d}l,$$

betonra alkalmazva a következő alakban írható fel: a beton felületegységére

$$\mathrm{d}v/\mathrm{d}t = K \cdot \mathrm{d}p/\mathrm{d}z$$

ahol v az elvont víz mennyisége, p a kis nyomás (szívás), z pedig a szűrőfelülettől való távolság.

L'HERMITE az állandó K vízáteresztési tényező helyett változó tényezőt használ, amely az adott pontban mutatkozó légritkítástól függ:

$$K_z = K(1 - p),$$

ezen az alapon a differenciálegyenlet végleges alakja a következő:

$$\mathrm{d}v/\mathrm{d}t = K(1 - p)\mathrm{d}p/\mathrm{d}z.$$

Feltéve, hogy a vízelszívás sebessége $\mathrm{d}v/\mathrm{d}t = \text{const.}$ a kis nyomás (szívás) határai a következők lesznek:

$z = h$ esetén $p = 0$,

$z = 0$ esetén $p = p_0$,

az elem határai között a kis nyomás (szívás) eloszlása a következő képlettel jellemezhető:

$$p\,z = 1 - \sqrt{(1 - p_0)^2\left(1 - \frac{z}{h}\right) + \frac{z}{h}}. \qquad (1)$$

Az elszívott vizet abból a feltételből számíthatjuk ki, hogy z távolságban arányos a depresszióval:

$$v = v_0 \int_0^z p_1 \, dz ,$$

ahol v_0 a bedolgozási vizet jelenti.

Innen az (1) egyenlet felhasználásával kiszámítjuk azt a sebességet, amellyel a légritkítás hulláma terjed a betonban:

$$\frac{dz}{dt} = \frac{K}{v_0}\left[2 - \frac{p_0}{2}\right]. \tag{2}$$

Ha a felületen mutatkozó légritkítást egységnyinek tekintjük, kapjuk, hogy

$$p_1 = 1 - \sqrt{\frac{z}{h}} \tag{1a}$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{K}{2v_0} . \tag{2a}$$

A (2a) egyenletből látjuk, hogy az az idő, amely szükséges, hogy a szívás az elem h vastagságig terjedjen (egyoldalú vákuumozásnál), a következőképpen fejezhető ki:

$$t = t_0 = 2v_0 \cdot h/K ,$$

a vízelszívás sebessége pedig :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{v_0}{z} \cdot \frac{dz}{dt} p_0 = K p_0/2h .$$

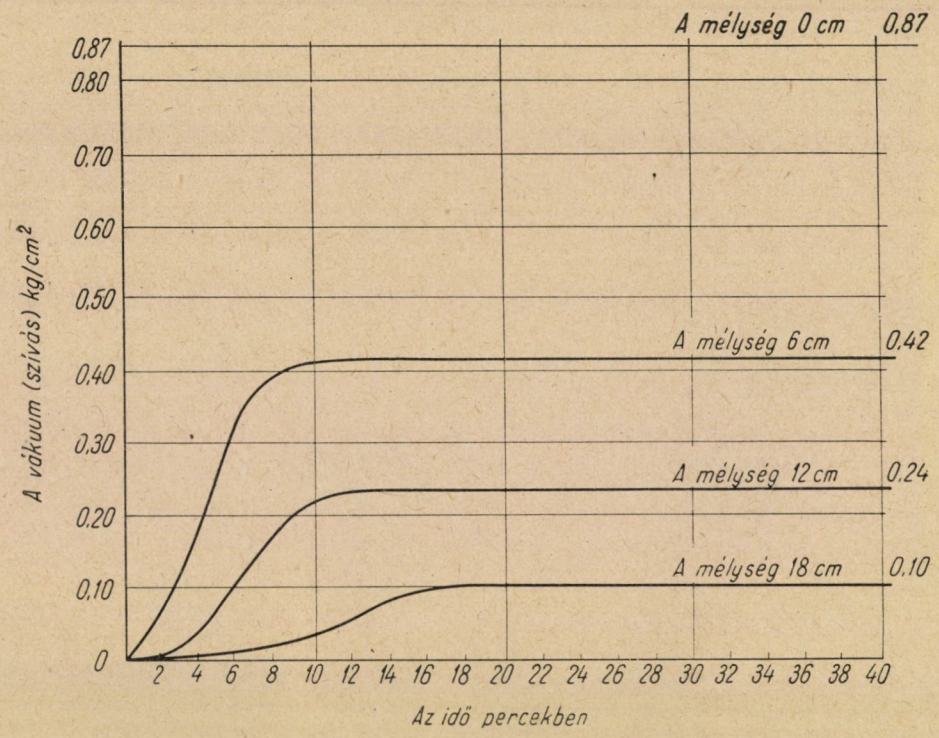
Az elszívott vízmennyiség kiszámítása céljából kiszámítjuk a légritkítás középértékét:

$$p_n = p_0\left(1 - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{h}{h+c}}\right) ,$$

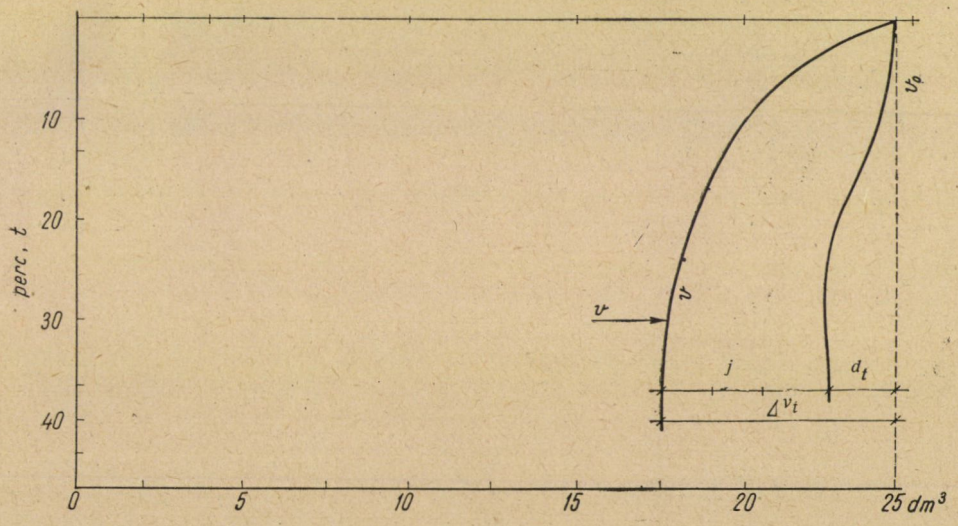
ahol c tényező a vákuumtábla ellenkező oldalán levő zsaluzás légzárásának fokától függ. Fazsaluzásnál $c = 2$, szabad felület esetén $c = 0$, teljesen légzáró felület esetén $c = \infty$.

Innen az elszívott víz mennyisége:

$$v = v_0 \cdot p_n = v_0 p_0\left(1 - \frac{2}{3}\sqrt{\frac{h}{h+c}}\right) .$$


A mélység 0 cm 0,87
A mélység 6 cm 0,42
A mélység 12 cm 0,24
A mélység 18 cm 0,10
A vákuum (szívás) kg/cm²
0,87
0,80
0,70
0,60
0,50
0,40
0,30
0,20
0,10
0
2 4 6 8 10 12 14 16 18 20 22 24 26 28 30 32 34 36 38 40
Az idő percekben

2. ábra


perc, t
10
20
30
40
0 5 10 15 20 25 dm³
v
j
d_t
Δv_t
v_p

3. ábra

A fenti összefüggések elég jól megegyeznek a kísérleti eredményekkel, amennyiben a megfelelő grafikonok általános alakjáról van szó. Nehéz megkövetelni, hogy kvantitatív szempontból is teljes legyen a megegyezés, ha tekintetbe vesszük azt a tényt, hogy a K együtthatót nehéz meghatározni, hiszen BENDEL szerint talajokra nézve 60%-os különbség is mutatkozhatik. Figyelembe kell venni azt is, hogy az adott esetben egészen másnemű vízáramlással van dolgunk, mint amilyenre a Darcy-féle képlet vonatkozik.

Egyetlen eddig ismert közlemény sem tartalmaz adatokat a beton vákuumozás alatti tömörödésére. Hogy ez a tömörödés jelentős, arról tanúskodik az a tény, hogy a betoncsövek vákuumozásával foglalkozó tanulmányokban olyan berendezések leírását találjuk, amelyek lehetővé teszik a beton pótlását a vákuumozás közben.

A cseppfolyós és szilárd halmazállapotok közötti fizikai állapotban levő beton szerkezetét nem rugalmasnak kell tekintenünk, amiből következik, hogy ha v_t mennyiségű vizet szívunk el a betonból és ennek folytán d_t térfogatú tömörödés és j_t térfogatú hézagok keletkeznek, akkor az utóbbiak térfogata

$$j_t = v_t - \mathrm{d}t \ .$$

L'HERMITE a vákuumozott beton szilárdságának meghatározására FERET képletét igyekszik alkalmazni és a képletbe a $\frac{v - v_t}{k}$ viszonyt helyettesíti. Ilymódon arra a következtetésre jut, hogy FERET képletével túl optimisztikus eredményre jutunk és éppen erre való tekintettel további vizsgálatokra van szükség ennek a kérdésnek a tisztázására.

A krakkói Műszaki Egyetem Vasbetonépítési tanszéke a múlt évben vizsgálatokat végzett vákuum-beton előállítására a náluk megtalálható anyagok felhasználásával. A munkálatok olyan berendezés építésével kezdődtek, amelynek vázlatát az 1. ábrán közöltük.

A vákuum-tábla felülete 0,7 m². A vákuumszivattyú az abszolut vákuum 95%-ának megfelelő légritkítást idéz elő. Vizsgálatainknál programba vettük különböző összetételű keverékek előállítását, hogy ily módon összefüggést találjunk a szilárdság, a cementadagolás, homokpont és vízcementtényező között. A vizsgálatok első sorozatát 350-es márkájú cementtel végeztük, a második sorozatot most végezzük 250-es márkájú cementtel.

Ez ideig folytonos szemeloszlási görbéjű és 0,3 homokponttal bíró betonokkal folytattunk vizsgálatokat.

Adalékanyagul bazaltzuzalékkal javított helyi folyami kavicsot használtunk. Valamennyi vizsgálat 20 cm vastag lemezelemeken ment végbe. A vákuumozás idejét előzetes vizsgálatok alapján 25 percben szabtuk meg, ami egyébként megegyezik a szovjet szabványokkal. Néhány vizsgálatnál a vákuumozás ideje lényegesen hosszabb volt, hogy ily módon megfigyeléseket lehessen végezni arra nézve, hogy milyenek az eljárás időbeli határai.

A vizsgálatok folyamán a következő méréseket végeztük :

1. nyomáskülönbség mérése 0 cm, 6 cm, 12 cm és 18 cm mélységben,
2. az elszívott vízmennyiség mérése,
3. a beton tömörödésének mérése.

Valamennyi itt felsorolt mérést kétpercenként végeztük, ami lehetővé tette, hogy a megfelelő összefüggéseket grafikonokban ábrázoljuk.

A beton belsejében mutatkozó nyomáskülönbségek mérését a beton belsejében megfelelő mélységben elhelyezett csövekkel végeztük, amelyek higanyos manométerekkel voltak összekötve. Kezdetben a csöveket függőlegesen a vákuumtáblán keresztül vezettük, ami meglehetősen alkalmatlan volt, amennyiben a tábla nyílásait gondosan szigetelni kellett. Azonkívül gondoskodni kellett arról, hogy a depresszió ne terjedjen gyorsabban a csövek mentén, mert ez nem adott volna hű képet a légritkításnak a betonban való eloszlásáról. A csövek betonnal érintkező külső felülete érdes volt, hogy a beton tökéletesen tapadjon hozzájuk. Közvetlenül a vákuumozás előtt a betont vibráltuk kb. 15 másodpercen keresztül a csatlakozó vibrátor segítségével. A későbbi vizsgálatoknál a nyomáskülönbségek mérésére szolgáló csöveket közvtelenül a forma falában helyeztük el, itt azonban a vízzel kapcsolatban merültek fel nehézségek : a víz ugyanis a csövekbe jutott és gondoskodni kellett az elvezetéséről az elszívott vízmennyiség mérése céljából.

A beton tömörödését a táblán elhelyezett (összesen 4 darab) mérőberendezéssel mértük 0,01 mm pontossággal. A tábla és a gumiszalagok alakváltozásának kiküszöbölése céljából ezeket az alakváltozásokat külön mértük sima és ellenálló alapon.

A tényleges tömörödés grafikonját két tömörödési grafikon szuperpozíciójából kaptuk, mégpedig a táblának a betonon és a táblának a sima felületen való süllyedésének grafikonjából. A vizsgálatok befejezése után elvégeztük a vizsgálati felület „nivellációját" oly módon, hogy mikrométerrel mértük a beton felületének távolságát a forma szélein a mindig ugyanabban a helyzetben elhelyezett acélvonalzóktól.

Ezeknek a méréseknek az ülepedésnek mérőórák segítségével kapott eredményeinek konfrontációja hű képét adta a beton tömörödésének a vákuumozási folyamat alatt.

A beton szilárdságának ellenőrzése céljából egyidejűleg henger alakú próbákat vettünk (4 darab *B*-típusú próbát) nem vákuumozott betonból és a vákuumozás befejezése után a vákuumozott betonból. Az utóbbiakat oly módon kaptuk, hogy a betonban henger alakú normális méretű szita-formákat helyeztünk el, ami megkönnyítette a próbák kivételét. Egy más módszert is alkalmaztunk : az alig megkeményedett betonlemezből vágtuk ki a megfelelő próbatesteket.

A vizsgálatok eredményeit legjobban jellemzik a vákuumozott lemezek egyikén végzett mérések alapján készült grafikonok.

A 2. ábra mutatja a lemez felületén és a lemez 3 mélységében mért nyomáskülönbségek grafikonjait. Látható, hogy a légritkítási hullám terjedése fokozatosan és általában L'HERMITE képleteivel megegyezésben megy végbe.

A 3. ábra mutatja az elszívott vízmennyiségnek, a beton ülepedésének és hézagtartalmának grafikonját az idő függvényében. A hézagtartalom grafikonja két görbe szuperpozíciójából keletkezik, mégpedig a térfogattal (dm^3) jellemzett elszívott vízmennyiség és ülepedés görbéinek szuperpozíciójából. Látható, hogy a vákuumozás következtében a hézagtartalom lényegében növekszik, minthogy az ülepedés kisebb az elszívott víznél és egy bizonyos ponttól kezdve a hézagtartalom arányosan növekszik az elszívott vízmennyiséggel. Ez a pont határozza meg a vákuumozás időbeli határát. Ez érthető, mert innen kezdve a depresszió már nincs hatással a görbére, azaz a légritkítás elérte a célját, ti. a mikrocsatornák létrehozását és további vákuumozás már csak a vákuum növekedését eredményezheti a víz rovására. Az ábrából következik, hogy az időbeli határ elérésekor $v + j$ állandóvá válik és már csak a v és j értékei között mutatkozhatik különbség. Ez pedig kedvezőtlen befolyással van a hidratációra.

A $j + v$ összeg görbéje bizonyos idő múlva eléri a legkisebb állandó értékét, ami összefüggésben van a beton deformációjának megszűnésével: ezt az értéket tekinthetjük olyan paraméternek, amelytől függ a szilárdság FERET képletének megfelelően. A cement aktívizációjának hatását tekintve, hogy a cementszemcsék közelebb lesznek egymáshoz, ebben a képletben kifejezhetjük az A együttható megváltoztatásával, amennyiben ez az együttható jellemzi a cement minőségét és aktívitását. Ha a beton szilárdságáról van szó, a mi kísérleteink még nem értek el addig, hogy meg lehetne állapítani a szilárdság függését olyan paraméterektől, mint a cementadagolás, a vízcementtényező, az adalékanyag minősége és a homokpont. Meg lehet azonban kockáztatni bizonyos feltevéseket. A 350-es márkájú cementre vonatkozó vizsgálatok eredményei a 4. és 5. ábrákon vannak feltüntetve.

A II. táblázat megadja a 8 különböző cementadagolású és különböző vízcementtényezőjű keverék esetén a vákuumozott beton 28 napos szilárdságának növekedését a közönséges betonhoz képest.

A táblázat jobboldalán, valamint az 4. ábrán kifejeztük FERET képletének analízisét a kapott szilárdsági eredményekre való alkalmazásban.

Közönséges betonra vonatkozólag FERET képlete szerint a kockaszilárdság

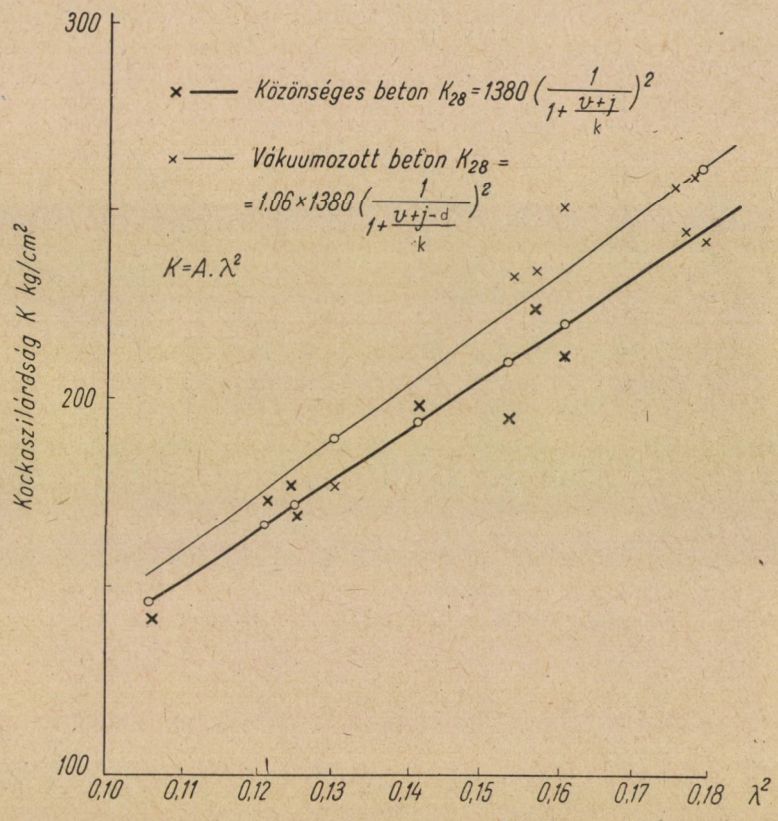
$$K = A \left[\frac{1}{1 + \frac{v + j}{k}} \right]^2,$$

ahol v a bedolgozási vízmennyiség, j a kezdeti hézagtartalom és k a cement abszolút térfogata. Vákuumozott betonra a képlet a következő alakot kapja:

$$K_0 = \alpha \cdot A \left[\frac{1}{1 + \frac{v + j - v_t + j_t}{k}} \right]^2$$

$$K_0 = \alpha \cdot A \left[\frac{1}{1 + \frac{v + j - d_t}{k}} \right]^2,$$

ahol $d_t = v_t - j_t$ jelenti a beton tömörödését, α pedig a cement hidratációja következtében keletkező együttható. Ebben az esetben az együtthatónak az értéke 1,06.



4. ábra

Látjuk, hogy a mért szilárdságot a következő képletekkel lehet kifejezni: közönséges beton esetén:

$$K = K_{28} = 1380\left[\frac{1}{1+\frac{v+j}{k}}\right]^2$$

vákuumozott beton esetén :

$$K_0 = K_{28} = 1{,}06 \cdot 1380\left[\frac{1}{1+\frac{v+j-d}{k}}\right]^2 .$$

II. táblázat

A Feret-képlet analízise

C_{kg}	v/C_{kg}	$\frac{j}{\%}$	$\frac{d}{\%}$	Besüllyedés cm	K kg cm²	K_0 kg cm²	$\frac{K_0}{K}$	$\frac{v}{k}$	$\frac{j}{k}$	$\frac{d}{k}$	$\left(\frac{1}{1+\frac{v+j}{k}}\right)^2$	$\left(\frac{1}{1+\frac{v+j-d}{k}}\right)^2$	K	K_0
225	0,572	2,6	2,32	1,0	140	178	1,27	1,73	0,349	0,312	0,106	0,130	146	190
225	0,620	0	2,43	7,0	172	233	1,35	1,87	—	0,326	0,121	0,154	167	225
250	0,520	2,1	2,45	1,0	170	235	1,38	1,57	0,254	0,296	0,125	0,157	172	230
250	0,605	0	2,73	8,0	178	252	1,42	1,83	—	0,330	0,124	0,160	171	234
285	0,440	3,1	1,85	0,8	196	242	1,24	1,33	0,228	0,196	0,153	0,179	211	262
285	0,550	0	2,56	9,0	195	256	1,31	1,66	—	0,272	0,141	0,175	195	256
350	0,420	2,7	1,52	1,0	212	250	1,18	1,27	0,233	0,131	0,160	0,178	221	262
350	0,505	0	1,78	7,0	224	245	1,10	1,53	—	0,154	0,156	0,177	215	259

Mint a kísérletek mutatják, az elszívott víz mennyisége az eredeti vízmennyiségnek 20—30%-a. A tömörödés nagysága az elszívott víznek 30—65%-a, illetve a beton térfogatának 0,5—2,5%-a.

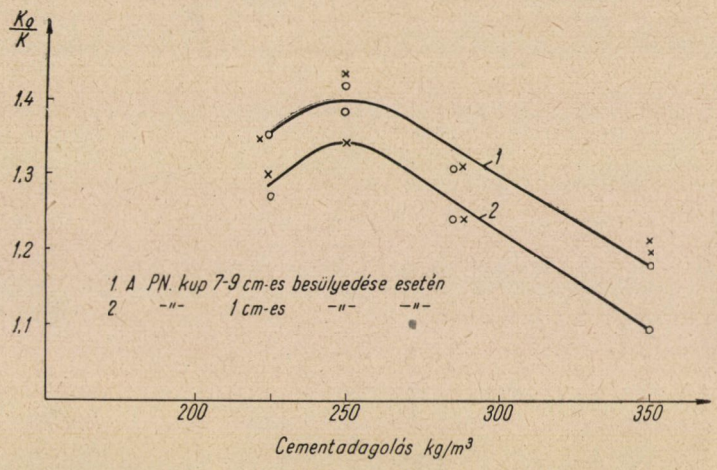
Az 5. ábrán látható a vákuumozott beton szilárdságának százalékos növekedése a közönséges betonhoz képest a cementadagolás függvényében.

A további vizsgálatok célja az ülepedésnek a cementadagolástól, a vízcementtényezőtől és a homokponttól való függésének megállapítása. Fel kell itt hívni a figyelmet még arra is, hogy amennyiben egyáltalában szó lehet olyan optimális cementadagolásról, amelytől függ a vákuum-eljárás eredménye, az optimális cementtényező fogalma nem helyes a végzett vizsgálatok megvilágításában, amennyiben ez az együttható függne mind a cementadagolástól, mind a homokponttól. Ezzel szemben helyesnek látszik az optimális betonkonzisztencia fogalmának a bevezetése. Az eddig végzett kísérletek nem engedik meg, hogy a következtetéseket bármiképpen is általánosítsuk, azonban kiegészítésül szolgálhatnak a külföldi vizsgálatok számára és bizonyos útmutatást adhatnak a tervezés és a gyakorlat céljaira.

A cementadagolást 250 és 280 kg/m³ határok között kell felvenni. 250 kg/m³-nél kisebb cementadagolás alkalmazásakor a betonhoz olyan mennyi-

ségű kőlisztet kell adni, hogy a liszt + cement mennyisége egyenlő legyen 250 kg/m³-rel.

A beton konzisztenciájának olyannak kell lenni, hogy a lengyel szabványban előírt kúp besüllyedése 6 és 10 cm között legyen.



5. ábra

Igen előnyös a vákuumozás előtt rövid ideig tartó vibrálás alkalmazása.

A szivattyúzás időtartamaként el lehet fogadni a fent említett szovjet szabványokat.

Folytonos szemelosztású adalékanyagot kell alkalmazni, amelynél a homokpont 0,25—0,30. A bazaltzuzalék alkalmazása igen előnyös.

Ily módon tervezett beton esetén fel lehet tételezni, hogy a szilárdság 35%-kal lesz nagyobb a vákuum-eljárás nélkül készített beton szilárdságánál. Ha a konzisztencia a megadott értéknél kisebb, akkor 27%-ot kell felvenni. Ezek az adatok olyan betonra érvényesek, amelyhez 350-es márkájú cementet használtak.

Csak további vizsgálatok alapján lehet gondolni ennek az értéknek lényeges növelésére.

Végül megjegyezzük, hogy az 1955. év júliusában Nowa Huta város építésénél vákuumozott betont használtak és az eljárásnál a krakkói Műszaki Egyetem Vasbetonépítési kutatóintézetétől kölcsönzött berendezést alkalmazták. A berendezést födémlemez-elemek vákuumozására használták. Az eljárás bizonyos eredményekkel járt cementmegtakarítási szempontból.

Intézetünk jelenleg vizsgálatokat végez három méteres oszlopok vákuumozására. A kísérletek azt mutatják, hogy az oszlop közvetlenül a zsaluzás eltávolítása után kibír 1 tonnányi terhelést.

Ipari méretekben végzett kísérletek eredményei azt mutatják, hogy a vákuumozás oszlopokra is alkalmazható előgyártott födém alkalmazásakor. Az ilyen megoldás igen érdekes már csak azért is, mert megtakarítást érünk el a zsaluzásnál és a munkálatok folyamán, továbbá lehetővé válik a váz-szerkezet mellett a monolitok előnyeinek felhasználása előgyártott elemek alkalmazásakor. Tekintettel arra, hogy az oszlopok zsaluzását le lehet bontani közvetlenül a vákuumozás után, egy zsaluzás segítségével 8 órai munkaidő alatt 6—7 oszlopot lehet elkészíteni.

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat a beton vákuumozásának hatásaival foglalkozik. A közölt vizsgálatok adatokat szolgáltatnak a vákuumozás közben a különböző mélységű betonrétegekben keletkező szívás nagyságára, az elszívott vízmennyiségre, a beton ülepedésére és tömörödésére.

A vákuumozással elérhető szilárdságnövekedéssel és cementmegtakarítással is foglalkozik a dolgozat.

A szerző közli a vákuumozott beton optímális cementadagolására, vízcementtényezőjére vonatkozó javaslatát. A szerző a Feret-képlet alkalmazásával szilárdságbecslő formulát ad a vákuumozott beton tervezéséhez.

A VÁKUUMTECHNIKAI WOLFRAMFÉM ELŐÁLLÍTÁSÁNAK ÉS TULAJDONSÁGAINAK TERMÉSZETTUDOMÁNYOS KÉRDÉSEI*

MILLNER TIVADAR

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA LEV. TAGJA
HIRADÁSTECHNIKAI IPARI KUTATÓ INTÉZET, BUDAPEST

[Beérkezett 1956. április 17-én]

1

Mindenütt a világon ma is a wolframfém a vákuumtechnikai ipar legfontosabb alapanyaga. A magyar izzólámpa- és rádiócsőgyártás nemzetközi eredményeit és hírnevét részben éppen a hazai gyártású wolframfém jótulajdonságaival vívta ki.

A földön évenként több milliárd, szigorú követelményeknek megfelelő izzólámpa, elektroncső stb. készül. Ezeknek a használhatósága jórészt izzószáluk minőségétől függ. Ismeretes, hogy a „tiszta" wolframfémből álló izzószálat a szénszál helyett elsőnek a világon — éppen hazánkban — JUST és HANAMAN [1] használta az izzólámpaiparban 1905 körül. A wolframizzószál azóta is egyeduralkodó a vákuumtechnikai ipar e területén. Minősége közben természetesen nagymértékben fejlődött: a régi, darabonként előállított, kiskristályos és rendkívül törékeny izzószálak helyébe tömeggyártásban készült, nagykristályos, melegen is alaktartó és hidegen sem törékeny, többszörösen tekercselt izzótestek léptek. Ennek a fejlődésnek során az Am. Egy. Államokban 1908 körül COOLIDGE [2] dolgozta ki a wolframfém megmunkálására és a wolframdrót tömeggyártására alkalmas kovácsoló és dróthúzó eljárást, 1918 körül pedig a magyar származású PACZ ALADÁR [3] fedezett fel ugyancsak az Am. Egy Államokban olyan vegyi eljárást, amellyel a wolfram izzótesteket magas hőmérsékleten is alaktartóvá lehet tenni. Ez az eljárás nyitotta meg az utat a ma közismert, I. LANGMUIR [4] részéről kidolgozott gáztöltésű izzólámpák elterjedéséhez. Az izzótestek előnyös tulajdonságainak továbbfejlesztése terén 1920 és 1945 között nálunk az Egyesült Izzólámpa és Vill. RT. kutatóosztályán TÚRY P., TARJÁN I. és munkatársaik [5, 6] értek el kiemelkedő nemzetközi eredményeket.

Ezt a nagy jelentőségű műszaki fejlődést, amelynek folytán a wolframszálas izzólámpával való világítás költsége kb. a felére csökkent, a természet-

* Székfoglaló előadás 1956. március 5-én.

tudományos vizsgálódás mellett főképpen a tapasztalat- és adatgyűjtés, a szabatos megfigyelés és a termékeny műszaki képzelőerő hozta létre. Abban a nagyértékű, de szerény terjedelmű nemzetközi szakirodalomban, amely a wolframfémről, vagy éppen a vákuumtechnikai wolframfém előállításáról és tulajdonságairól szól [7—24], alig találunk valamit az empirikusan fejlődött wolframgyártás kémiai, fizikai, anyagszerkezeti stb. alapjairól. Pedig a szilárd testekre és ezek között a fémekre vonatkozó ilyen irányú ismeretek az utóbbi időben jelentősen fejlődtek.

Mi 1945 után — előbb az *Egyesült Izzólámpa és Vill. RT. Kutatóosztályán*, majd 1950-től a *Távközlési Kutató Intézetben* és végül 1953 óta a *Híradástechnikai Ipari Kutató Intézetben* — a nemzetközi szakirodalomban fel nem lelhető természettudományos alapkutatást választottuk feladatunknak. Egyrészt azért, mert a jövő fejlődés érdekében nélkülözhetetlennek tartottuk, másrészt azért, mert bíztunk abban, hogy szerény méretű alapkutatásból is származhatnak hasznos ipari eredmények, különösen, ha ez olyan kiváló alapokra épülhet, mint aminőket az *Egyesült Izzólámpa és Vill. RT.* évtizedes munkája TÚRY PÁL vezetésével ezen a területen lerakott.

Legyen szabad székfoglaló előadásomban ennek a részben munkatársaimmal végrehajtott és a vákuumtechnikai ipar összes tényezői részéről messzemenően támogatott kutatómunkának eddig jórészt még közzé nem tett eredményeiről és állásáról összefoglaló képet adni. Engedjék meg, hogy evégből wolframgyártásunk mai módszereit előbb röviden oly módon ismertessem, hogy ebből kutatásaink célkitűzései és azok jelentősége megvilágítható legyen.

Az ismertetésre kerülő vizsgálataink alapjául szolgáló, finom szemcséjű wolframfémporból készült ún. GK-wolframdrótjaink gyártásának főbb mozzanatai a következők [14]. Mindenekelőtt tiszta, csak kb. 0,01% idegen anyagot tartalmazó, 0·5—1 μ-os, $WO_3 \cdot H_2O$ összetételű wolframsavat készítünk. Ezt vízzel péppé alakítva 0,2% NaCl, 0,3% KCl, 0,4% SiO_2, 0,05% Al_2O_3 és 0,03% Fe_2O_3 sósavas vizes oldatával jól elkeverve beszárítjuk és 0,5% H_2O-tartalomig 300 C°-on hevítjük. Ezt a „preparált wolframsavat" áramló hidrogénnel először kb. 700 C°-on, majd preparált wolframsavval elkeverve másodszor kb. 820 C°-on, 1—2 μ-os fémporrá redukáljuk. Ebből a fémporból, amelyben az adagolt idegen anyagok még csaknem teljes egészükben benne vannak, pl. 10 × 10 mm keresztmetszetű, 60% pórustérfogatú rudakat sajtolunk. A rudakat 1100 C°-on ½ óráig hidrogénben hevítve megszilárdítjuk. Ezt követőleg hidrogén-védőgázban, rajtuk átvezetett árammal egyre magasabb hőmérsékleten zsugorítjuk, majd végül a megolvasztásukhoz szükséges áramerősség 92—95%-án 5—10 percig tartó hevítéssel befejezzük a zsugorítást. Újabban a zsugorítás menetében a megolvasztáshoz szükséges áramerősség 40—50%-ánál is huzamosan, pl. kb. 15 percig hevítjük a rudakat. A kész rudak hosszirányú zsugorodása mintegy 18%, fajsúlyuk kb. 18 (a teljesen tömör wolfram 19,3

fajsúlyával szemben). Belőlük zsugorításkor az adalékanyagok oly mértékben elpárologson, hogy szennyezésük végül is alig 0,01—0,02%.

A zsugorított wolframrudak közönséges hőmérsékleten ridegek. 1500 C° körül azonban körforgó kovácsológépeken fokról fokra hosszabb hengeres rudakká alakíthatók. Ezek a rudak egy-két kb. 2000 C°-os kilágyító izzítás közbeiktatásával 1300—1100 C°-on kovácsolva fokozatosan pl. 1 ½ mm keresztmetszetig vékonyíthatók, majd wolframkarbidkövek furatain át kb. 800 C°-on fokozatosan 0,5 mm-es drótokká húzhatók. A wolframdrótok legnagyobb része ennél jóval vékonyabb (pl. 10—20 μ-os) méretben kerül felhasználásra. A 0,2 mm-nél vékonyabb drótok húzását 650 C° körül gyémántkövekkel végzik.

Ha ezzel a módszerrel, azonos wolframsavból, egyrészt adalékanyagok nélkül ún. tiszta-wolfram fémport, rudat és drótot, másrészt a felsorolt adalékanyagokkal ún. GK-wolfram fémport, rudat és drótot készítünk, a következőket állapíthatjuk meg. A tiszta-wolfram fémporból zsugorított rudak kb. 0,1 mm-es, vagy ennél is kisebb kristályokból állanak. A Gk-rudakat (néha csak a felületüket) viszont 5—10 mm-es kristályok alkotják. A 0,1 mm-es tiszta-wolfram drót gyors rekrisztallizálásának hőmérséklete 1000—1200 C°, a GK-dróté 2200—2400 C°. A 0,1 mm-es rekrisztallizált tiszta-wolfram drótban az egyes krisztallitok nem hosszabbak a drót átmérőjénél, a GK-drótban ennél 20-szor—100-szor hosszabbak. A kb. 15 μ-os tiszta-wolfram drótból készült tekercselt izzótestek (pl. duplaspirálok) 2400—2500 C°-on saját súlyuk alatt rövidesen nagymértékben megnyúlnak, a GK-drótból készültek ellenben pl. 1000 órán át is megtartják eredeti alakjukat. A tiszta-wolframból készült rekrisztallizált wolframdrót közönséges hőfokon rendkívül törékeny, a GK-drót szilárd. Izzólámpáink és rádiócsöveink nemzetközi színvonalú jó minősége a GK-wolframfém ezen tulajdonságain nyugszik.

Ezeknek a műszakilag nagy jelentőségű tulajdonságoknak elérésére 1932-től kezdve a hazai wolframgyártás alkalmazott először eredményesen alumíniumtartalmú adalékanyagokat [6] pl. káliummal és sziliciummal kombinálva. Azóta ez a gyakorlat elterjedt az egész világon [15, 16, 18]. Az irodalomból mégsem tudhatunk meg semmit sem arról, hogy milyen hatások révén biztosítják e nélkülözhetetlennek látszó hatóanyagok a wolfram előnyös tulajdonságait, avagy mi a magyarázata annak, hogy ezeket a jótulajdonságokat a wolframredukció körülményeinek már kis ingadozásai is olyan nagymértékben veszélyeztethetik. Sőt még azt sem állapíthatjuk meg belőle, hogy a jó tulajdonságokat az adalékanyagok valaminő tisztító hatásának, avagy éppen a belőlük a fémben visszamaradó „szennyezéseknek" (pl. Al nyomoknak stb.) kell-e tulajdonítani.

Kutatómunkánk — főképpen 1945 óta — ezekre és az ezekkel összefüggő, az ipar számára is fontos alapkérdésekre irányult és irányul ma is.

2

Szemcsenövekedés a redukálás folyamán

Mikroszkóppal jól megfigyelhető, hogy a wolframsav ($WO_3 \cdot H_2O$) vagy a wolframtrioxid (WO_3) hidrogénnel kb. 800 C°-on történő szokásos redukciójakor, ezeknek ½—1 μ-os szemcséiből, előbb kb. 0,1 μ-os WO_2 szemcsék keletkeznek, majd ezekből 1—3 μ-os vagy még nagyobb fémszemcsék jönnek létre. Ezt a jelenséget szemcsenövekedésnek nevezzük.

Ehhez nagyarányú anyagvándorlás szükséges. 0,1 μ-os W-gömbben $3{,}3 \cdot 10^7$ W-atom van, 2 μ-osban $2{,}6 \cdot 10^{11}$. Egy-egy 2 μ-os wolframszemcsében tehát csaknem 10 000-szer annyi W-atom van, mint egy 0,1 μ-os WO_2 szemcsében. Azaz redukciókor több ezer WO_2 szemcse „tűnik el" egy-egy wolframfémszemcse képződése végett. A wolframszakemberek évtizedes tapasztalatból tudják, hogy ennek a szemcsenövekedésnek döntő hatása van a fémporból előállított rúd és drót megmunkálhatóságára, kristályosodására, szilárdságára stb., egyszóval a wolframfém összes hasznos tulajdonságaira. Irányítani azonban ma is csak próbálgatással, azaz a redukció viszonyainak empirikus változtatásával tudják ezt a nagy fontosságú folyamatot, mert a szemcsenövekedés oka és módja még ma sem ismeretes a szakirodalomban. Ebből legfeljebb arról értesülhetünk, hogy a redukciós gáztér H_2O-tartalmának, a redukálás hőmérsékletének és időtartamának felemelése megnöveli a szemcseméretet és hogy ezúton akár 100 μ-os wolframszemcséket is készíthetünk.

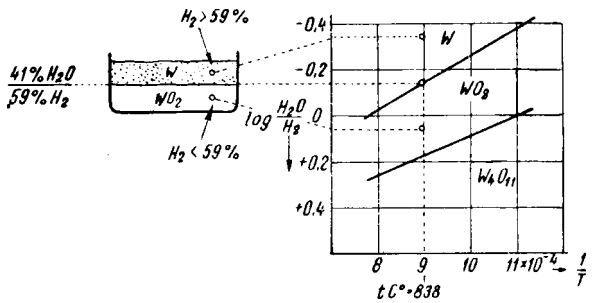
A hazai wolframkutatásnak évtizedes célkitűzése volt ennek, az elmélet és gyakorlat szempontjából egyaránt nagy fontosságú alapjelenségnek felderítése. Az utóbbi években jelentős lépéseket tettünk e cél felé.

Sohasem tartottuk valószínűnek, bár erre vonatkozó részletes számításokat és méréseket nem végeztünk, hogy a 3380 C°-on olvadó wolframfém oxidjaiból szabaddá váló W atomok a redukálás kb. 800 C°-os hőmérsékletén — azaz az abszolút olvadáshőmérséklet $^1/_3$-án — olyan felületi mozgékonysággal rendelkeznének, hogy az észlelhető redukciós szemcsenövekedés felületi anyagvándorlással lenne magyarázható. Ezzel szemben állandóan azt vizsgáltuk [14], nem valamely illó wolframvegyület átmeneti képződése, majd elbomlása idézi-e elő ezt az anyagvándorlást, amely olyan mértékű, hogy következtében több ezer lazán érintkező szemcse W-atomjai aránylag rövid idő alatt egyetlen fémszemcsévé egyesülhetnek.

Amikor egyszer azt észleltük, hogy a WO_3 1000 C°-on nedves gázáramban sokkal illóbb, mint szárazban, azonnal a vízgőz redukciós szemcsenövelő hatására gondoltunk és a jelenséget részletesen megvizsgáltuk (MILLNER T. és NEUGEBAUER J. [25]). Megállapítottuk, hogy az akkor ismert wolframoxidok (WO_3, W_4O_{11}, WO_2) 1000 C°-on gyakorlatilag sem vákuumban, sem argonáramban nem illók. Áramló nedves gázban azonban — és ezek között mindazok-

ban a H_2O-H_2 elegyekben is, amelyekben sem nem oxidálódnak, sem nem redukálódnak (1. ábra) —, olyan illók, hogy egy-két óra alatt g-os mennyiségek párologtathatók el belőlük kis laboratóriumi csónakból, amint ez az I. táblázat adataiból látható.

Ez merőben új kémiai jelenség. Itt első ízben került megfigyelésre az a tény, hogy vannak olyan oxidok, amelyek alacsonyabb hőmérsékleten (ez esetben pl. 500 C°-on) H_2O-molekulákkal semmiféle kapcsolatba nem lépnek, magas hőmérsékleten azonban (pl. 1000 C°-on) velük gáz alakú termékké egyesülnek, anélkül, hogy önmagukban észlelhetően illók volnának. Mi ezt a jelen-



1. ábra. A $WO_3 + H_2$ rendszer egyensúlyi fázisdiagramjában összefoglalt viszonyok tükröződése egy redukálócsónak rétegeiben a WO_3 üzemi redukciójának folyamán

séget a WO_3, W_4O_{11}, WO_2 és MoO_3 oxidokra vonatkozóan tettük közzé. Később C. A. HUTCHINSON és J. G. MALM [26] BeO-ra vonatkozóan ismertette ugyanezt a jelenséget.

I. táblázat

A WO_3, W_4O_{11} és WO_2 oxidok vízgőz okozta megnövekedett illékonysága 1000 C°-on

1000 C°	Gázáram	Térfogat % H_2O	Időtartam óra	Bemérés, mg	Szubl. mennyis. mg
WO_3	O_2	0	1	470	0,3
	O_2	29	1	470	120,
W_4O_{11}	Ar	0	1	510	0,1
	H_2	86	½	640	63,3
WO_2	Ar	0	1	330	0
	H_2	59	1	140	39,6

A wolframoxidok vízgőzös illékonysága magyarázatot adhat a redukciós szemcsenövekedésre. Üzemi wolframredukció csőkemencéjében a WO_3-por, lapos csónakokba töltve, az áramló H_2-gázzal szembe fokozatosan átvándorol a maximális hőfokú, pl. 838 C°-os hőzónán és eközben lassan redukálódik.

Cseréljük fel rövid időre a kemencében az áramló hidrogént argonra és vegyünk ki a kemencéből olyan csónakot, amelyben a redukció még éppen nem folyt le teljesen. Ebben az 1. ábrán szemléltetett helyzetet találjuk. A csónak fenekén még barna oxid, WO_2, van, a felső réteg azonban már W-szemcsékből áll. E két réteg határán WO_2 és W szemcsék együttesen vannak jelen. A WO_3-H_2 rendszer egyensúlyi diagramjának segítségével beláthatjuk, hogy egyensúlyt feltételezve, 838 C°-on ez csak akkor lehetséges, ha a határréteg pórusaiban a gáztér összetétele egyensúlyi, azaz 41% H_2O + 59% H_2. E határréteg alatt a pórusokban ennél több, fölötte pedig kevesebb a vízgőztartalom és a redukció abban a mértékben hatolhat lejjebb, amely mértékben a vízgőz a felette fekvő réteg pórusain át a hidrogénáramba diffundálhat. Finom WO_3-porban ez a folyamat nem gyors. Nézzük, miképpen jelentkezik a csónakban lassan lefelé haladó redukció közben a WO_2 vízgőzös illékonyságának hatása.

A WO_2 rétegben elég magas (ez esetben 838 C°-os) hőmérsékleten keletkező H_2O molekulák egy része WO_2-dal gáz alakú WO_2nH_2O molekulákat alkot és ezek a többi vízgőzmolekulával együtt átdiffundálnak a W-szemcsék alkotta felső rétegbe. A WO_2nH_2O molekulák itt azonnal wolframgőzzé redukálódnak, mert ez a réteg már jóval több H_2-t tartalmaz, mint amennyi mellett WO_2 (az egyensúlyi WO_2 koncentrációnál nagyobb koncentrációban) a gáztérben létezhetik. A wolframszemcsék pórusaiban így keletkező W-atomok a gáztér egyensúlyi W-koncentrációjánál jóval nagyobb koncentrációban jelenvén meg, lecsapódnak a wolframszemcsékre és azokat növelik. Ez kielégítő magyarázatnak látszik a redukciós W-szemcsenövekedésre és arra a tapasztalati tényre, hogy a hidrogéngázáram nedvességének fokozásával, azaz a vízgőznek a rétegben való visszatartásával, a wolframfémpor durvítható.

Alátámasztja ezt a magyarázatot, amely szerint az összes wolframoxidok közül éppen a WO_2 vízgőzös illékonyságában kell a W-szemcsék növekedésének okát keresni, az a körülmény, hogy a wolframredukció gyakorlati feltételei között a magasabbrendű oxidokból nem durvább, hanem ezeknél finomabb WO_2 keletkezik, és ebből jönnek létre azután a jóval nagyobb W-szemcsék, valamint az az észlelés is, hogy a MoO_2, ellentétben a WO_2-dal, nem illó vízgőzzel [27] és a MoO_3 hidrogénes redukciójában nem is lehet vízgőzzel szemcsenövekedést előidézni (1000 C° alatt).

3

Az adalékanyagok jelentősége és hatása a wolframfém technológiai tulajdonságaira

A redukciós szemcsenövekedés nemcsak a tiszta (nem preparált) wolframsavak, hanem a preparált wolframsavak redukciójában is mutatkozik. A wolframfémgyártás gyakorlatát elsősorban az a kérdés foglalkoztatja, hogy vajon

milyen jelenségek következtében módosítja ez a redukciós szemcsenövekedés a wolframfémnek azokat a technológiai tulajdonságait (pl. drótjának nagykristályos szerkezetét stb.), amelyeket évtizedek óta a redukcióra kerülő WO_3 adalékanyagaival szokás biztosítani.

Ha feleletet keresünk erre a kérdésre, akkor előbb szemügyre kell vennünk azokat a főbb jelenségeket, amelyek a szokásos adalékanyagok használatát

II. táblázat

A wolframsavhoz adagolt néhány jellegzetes adalékanyag hatása a zsugorított wolframrudak kristályszerkezetére. Az adalékanyagok visszamaradó nyomainak mennyisége az egyes rudakban (10^{-5}-ed részekben)

adalék a savhoz	1 WO_3	2 UC	3	4 GK	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0,3% KCl		K	K	K	-	K	K	K	K	K	K	K	-
0,2% NaCl	-	Na	Na	Na	Na	-	Na	Na	Na	-			-
0,4% SiO_2		Si	Si	Si	Si	Si	-	Si	Si	Si	Si		Si
0,03% Fe_2O_3	-		Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	-	Fe	-			-
0,05% Al_2O_3	-			Al	Al	Al	Al	Al	-	Al	-	Al	Al
idegenanyag a rúdban													
$10^5 \times$ K	0	0	5	9	0	8	4	5	5	7	3	5	
" " Na	+	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
" " Si	10	3	6	4	4	3	8	3	6	2	5	2	
" " Fe	6	2	15	2	20	6	0	8	15	8	5	17	
" " Al	1	0	0	0	1	5	10	4	0	3	3	2	

kísérik. Ez irányú vizsgálatainkat egyelőre azokra az adalékanyagokra korlátoztuk, amelyeket, mint a mi GK-wolframfémünk adalékanyagait, már ismertettünk. Jelentősebb kísérleti adatainkat és észleléseinket a II. táblázatban foglaltuk össze. Megfigyeléseinket olyan wolframfémeken végeztük, amelyeket adalékanyagaink különféle kombinációival készítettünk. A fémek elkészítésének módszere minden esetben azonos volt és megegyezett az előzőkben ismertetett eljárással, mert ezt általában alkalmasnak találtuk nagykristályos szerkezet biztosítására zsugorított rudakban és rekrisztallizált drótokban.

A táblázat felső részében találjuk a megvizsgált adalékkombinációkat. A baloldalon találhatók a mennyiségi adatok. Valamennyi fémet az 1. oszloppal jellemzett wolframsavból készítettük. Középütt a törésfelület ábrázolásával feltüntettük, hogy az egyes adalékanyagkombinációk a zsugorított rudban nagy- vagy kiskristályos szerkezetet idéztek-e elő. Valamennyi változatból drótokat is készítettünk és megállapítottuk, hogy valamennyi nagykristályos rudat adó változatból nagykristályosan rekrisztallizáló, GK-jellegű drót keletkezett, a kiskristályos rudak drótja pedig aprókristályosan rekrisztallizált és törékenynek bizonyult.

A táblázat szerint a nagykristályos fémszerkezet eléréséhez *három* adalékanyag alkalmazása szükséges és elegendő. K, Si és Al vegyületek együttes alkalmazásával elérhető a nagykristályos fémszerkezet. Ugyanezek a vegyületek páronként vagy egyenként alkalmazva nem idéznek elő GK-tulajdonságokat. A hatást ezek szerint valamiféle *kombinációs effektus* biztosítja: a három adalékanyag együttes hatása nem azonos az egyes adalékok egyedül kiváltott hatásának összegével, hanem attól különböző.

A nagykristályos üzemi GK-rudakról már régen tudjuk, hogy mintegy 0,02% idegen anyagot tartalmaznak. Tisztítónak tekinthetjük-e a szokásos adalékanyagok hatását, avagy éppen ebben a csekély „szennyezés"-ben rejtőzik a kombinációs hatás? Mi egyáltalán ez a szennyezés?

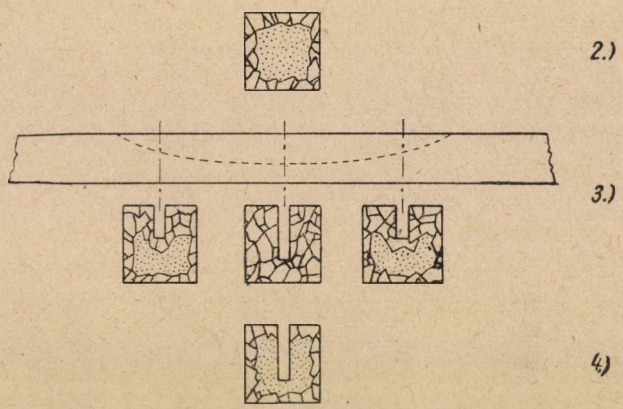
Évtizedes munkát fordítottunk arra, hogy olyan analitikai módszereket dolgozzunk ki, amelyekkel meg lehet vizsgálni, vajon mennyi marad vissza a wolframsav adalékanyagaiból a nagykristályos GK rudakban. Alumínium számára olyan eriochromcyaninos kolorimetriás módszert dolgoztunk ki (MILLNER T., KÚNOS F.) [28—31], amellyel 0,1 g W-ban 0—15 μg Al $\pm$ 0 25 μg hibával határozható meg (MILLNER T., NEUGEBAUER J.) [32], kálium számára olyan ezüsttel érzékenyített kobaltinitrites turbidimetriás módszert dolgoztunk ki, amellyel 0,2 g W-ban 2,5—30 μg K $\pm$ 2 μg hibával határozható meg [32]. Vas számára olyan dimetilglioximos módszert alakítottunk ki, amellyel 0,1 g W-ban 0—16 μg Fe $\pm$ 0,5 μg hibával határozható meg [32]. Szilícium számára kialakítottuk az ammóniummolibdátos benzidines színreakciót úgy, hogy ezzel 0,1 g W-ban kolorimetriásan 0—30 μg Si határozható meg $\pm$ 1 μg hibával [32].. Nátrium számára végül olyan eljárást dolgoztunk ki, amellyel 2g WO_3 széntetrachloridos szublimálási maradékából lángfotometriásan 2—400 μg Na-ot $\pm$ 5% relatív hibával lehet meghatározni [33].

Ezekkel a módszerekkel állapítottuk meg azokat az analitikai adatokat, amelyeket a táblázat alsó részében foglaltunk össze. Látjuk, hogy már az ún. tiszta wolframsavainkban is van a felsorolt idegenanyagokból egyenként legalább 0,001% és nincsen ennél sokkal több egyetlen olyan wolframrudban sem, amelynek wolframsavjához a GK-fém adalékanyagait bármely kombinációban is hozzáadtuk. A rudakban található csekély idegen anyag mennyisége és minősége ezek szerint tehát nem függ attól, hogy hozzáadtuk-e őket nagyobb mennyiségben a wolframsavhoz vagy sem és a rudak kristályszerkezete sem igazodik a bennük visszamaradt csekély idegen anyag mennyiségéhez vagy minőségéhez.

Első pillanatban mindez kiábrándítóan hat, feltár azonban egy különleges és nevezetes tényt. Látjuk, hogy önmagában attól, hogy a wolframrudban néhány ezredszázalék K, Si és Al van, a rud még nem szükségképpen nagykristályos; a rud attól lesz nagykristályos, ha a *wolframsavhoz nagy mennyiségű* K, Si és Al vegyületet adunk és ebből készítjük el redukcióval a szokásos módon a fémport és a rudat, azonban csodálatosképpen ekkor sem marad több idegen anyag a rúdban néhány ezredszázalék K-, Si- és Al-nál.

Gondolhatunk-e ezek után arra, hogy az adalékanyagok nyomai jelenlétükkel tevőlegesen irányítják a rekrisztallizációt, vagy helyesebb az a feltevés hogy pl. a redukció folyamán oly módon ruházzák fel a fémport kristályosodóképességgel, hogy a kristályosodás azután a rúdban visszamaradó adaléknyomoktól függetlenül megy végbe? Kipárologtathatók-e vagy eltávolíthatók-e az adaléknyomok teljesen vagy az eddiginél nagyobb mértékben a rudakból anélkül, hogy a nagykristályos sajátság megszűnnék?

Ezt a nagy jelentőségű kérdést olyan GK-fémporból készült rudakon vizsgáltuk meg, amelyeknek a szokásos GK-gyártásban csak a felületén kelet-



2. ábra. A csak felületükön nagykristályos wolframrudak törésfelülete (keresztmetszete)
3. ábra. Előzsugorított és körfűrészlappal hosszában bemetszett wolframrud, valamint ennek jellegzetes törésfelületei, ha a rúd csak felületi nagykristályképződésre hajlamos. A nagykristályos réteg a valódi felületet követi
4. ábra. Képzeleti törésfelület, amelyben a kristályos réteg nem követi a bemetszés felületét: ilyen viszonyok nem valósulnak meg

keztek nagykristályok, ezen belül azonban kiskristályosak maradtak úgy, amint azt a 2. ábra egy törésfelületen szemlélteti. Kérdés, a kéreg itt azért nagyobb kristályos-e, mert több benne az idegen anyag, mint a kiskristályos belső zónában, vagy azért, mert kevesebb? Ezt analitikai adatokkal eldönteni nem tudtuk: mindkét zónában néhány ezredszázalék idegen agyagot találtunk. Ezért e kérdés vizsgálatában más útra tértünk.

Az említett GK-fémporból sajtolt és csak előzsugorított néhány rudba körfűrészlappal vékony, mély bevágást készítettünk úgy, amint az a 3. ábrán látható. Ezután a rudak zsugorítását a megszokott módon befejeztük. Az ábra pontosan bemutatja, miképpen alakult ki a felületi nagykristályos zóna a bemetszés körül. Ha feltételezzük, hogy a vékony mély bemetszés alján a hőmérséklet ugyanakkora, mint egy tömör rud azonos helyén, akkor azt következtethetjük, hogy a felületi nagykristályképződésnek nem az az oka, hogy a felületen, amely a rud belsejénél kevésbé meleg, a hatóanyag kellő mértékben felhalmozódik,

hanem az, hogy a felületről az adalékanyag nyomai inkább el tudnak párologni, mint a rud belsejéből. A nagykristályos réteg ui. nem a 4. ábra szerint képződik, azaz nem a legkevésbé meleg helyeket követi, hanem a 3. ábra szerint, a párolgást biztosító valóságos felületet követve jelenik meg. Úgy tűnik tehát, hogy a nagykristályos szerkezethez néhány ezredszázaléknál is kevesebb hatóanyag szükséges csupán, sőt ez a kisebb mennyiség a kedvező.

Ennek a nevezetes megállapításunknak további megerősítését kerestük. Ezért olyan előzsugorított GK-rudak közül, amelyeknek teljes zsugorítás után csak a felülete vált nagykristályossá, egyeseket még előzsugorított, azaz porózus állapotban 40%-os HF-oldattal, majd sósavval és vízzel áztatva jól kimostunk. Feltételeztük, hogy ezzel a kimosással messzebbmenően eltávolíthatjuk azokat az adalék-nyomokat (III. táblázat), amelyek az előzsugorított rudakban még

III. táblázat

GK- wolframrudak adalékanyagainak visszamaradó kis mennyiségei a zsugorodás különböző fokozataiban

Az adalék*elemek* mennyisége W-ra számítva %-osan					
preparált WO_3-ban		előzsugorított GK rudakban		teljesen zsugorított GK rudakban	
elem		*a)*	*b)*	*a)*	*b)*
K	0,200	0,009	0,011	0,005	0,004
Na	0,100	—	—	0,0001	0,0001
Si	0,235	0,023	0,010	0,001	0,001
Fe	0,026	0,025	0,025	0,012	0,006
Al	0,033	0,025	0,031	0,002	0,001

benne vannak, mint amennyire ez a rudak szabályos tovább zsugorításával elérhető. Észleléseink igazolták ezt. A kimosott rudakban a teljes zsugorítás után valóban sokkal kisebb adalék-nyomok maradtak csak vissza, mint a kimosás nélkül zsugorítottakban (5. ábra és adatai). Másrészt azt is észleltük, hogy a kimosott rudak — szemben a ki nem mosottakkal — teljes keresztmetszetben nagykristályossá váltak. Ezzel megerősödött az a nézetünk, hogy a nagykristálykképződéshez sokkal kevesebb hatóanyag szükséges, mint amennyit a nagykristályos rudakban általában találni lehet.

Vajon nem azt kell ezekből az észlelésekből következtetni, hogy a nagykristályképződést mégsem a ki sem mutatható kis hatóanyagnyomok váltják ki, hanem éppen a nagyfokú tisztaság? Hiszen igaz ugyan, hogy a három idegenanyaggal való preparálás nélkülözhetetlen, de a nagykristályképződés nincsen kimutatható mennyiségű hatóanyaghoz kötve.

Megvizsgáltuk ezt a kérdést a másik oldaláról is. Igen tiszta WO_3-ból igen tiszta körülmények között nagyon tiszta wolframfémport és rudat készí-

tettünk. Ezeket a vizsgálatokat NEUGEBAUER JENŐ [34] végezte, aki azt észlelte, hogy szélsőségesen száraz CCl_4-gőzben a WO_3 sokkal gyorsabban és sokkal alacsonyabb hőmérsékleten szublimál, mint ahogyan az az irodalomból ismeretes [11]. Ezt a jelenséget felhasználva olyan tiszta WO_3-ot állított elő, amelyben K, Na, Si, Fe, Al, Mo, és Ca legfeljebb 0,001%-nál kisebb mennyiségben volt jelen. Ebből kvarcedényzetben ugyanilyen tisztaságú fémport, majd kvarc és wolfram eszközökkel legalábbis ugyanilyen tisztaságú zsugorított wolframrudakat készített. A rudakban nagykristályos szerkezet nem keletkezett, noha

GK	GK
HF-os kimosás nélkül teljesen zsugorítva	HF-os kimosással teljesen zsugorítva
K 0,005 %	K 0,001 %
Na 0,0001 %	Na 0,0001 %
Si 0,002 %	Si 0,000 %
Fe 0,002 %	Fe 0,000 %
Al 0,003 %	Al 0,001 %

5. ábra. A teljesen zsugorított wolframrudakban visszamaradó adaléknyomok mennyisége aszerint, amint alkalmaztuk vagy nem alkalmaztuk a HF-os kimosást a rudak porozus (azaz csak részben zsugorított) állapotában

olyan tiszta wolframfémből állottak, hogy bennük a felsorolt szennyezések egyikét sem tudtuk kimutatni.

Mindebből azt a következtetést vontuk le, hogy a GK-rudak nagykristályos szerkezetének előidézéséhez nem extrém fémtisztaságra, hanem K, Si és Al-nyomok pozitív jelenlétére van szükség, a szükséges és elégséges hatóanyag-kontcentráció azonban 0,001% alatt, azaz az analitikai kimutathatóság mai határa alatt van. Üzemi GK-rúdjaink eszerint jóval több idegen anyagot (hatóanyagot), tartalmaznak, mint amennyi a hasznos tulajdonságok előidézéséhez szükséges.

Miért kell mégis csaknem 1% adalékanyagot adnunk a WO_3-hoz, hogy a fémben ezt a rendkívül kis hatóanyagkoncentrációt elérjük? Miért nem lehet azokból a tisztított wolframsavakból, amelyekben az említett idegenanyagok 0,001%-nál jóval nagyobb mennyiségben (pl. 0,005%-ban) benne vannak, preparálás nélkül nagykristályos rudakat előállítani (II. táblázat, 1. oszlop)?

Mielőtt ezt a kérdést vizsgálnók, célszerűnek tartom megemlíteni azt a nézetemet [23], hogy az üzemi nagykristályos GK-rudak analitikailag megállapítható adalék-nyomaik (0,001—0,005%) nagy részét csak mint mechanikai zárványokat vagy interkrisztallin anyagot tartalmazzák, egészen kis részük (pl.

0,0001%) azonban atomdiszperzen fel van oldva a fémrácsban. Nézetem szerint ez az egészen kis rész szabja meg a kristályosodás és a rekrisztallizáció lefolyását és a krisztallitok képlékeny tulajdonságait; a nagyobb résznek csak a krisztallithatárok magatartására van befolyása a képlékeny alakváltozás, vagyis a megmunkálás alatt. Ez a rész többnyire nehezíti a megmunkálást és ezért inkább káros, mint hasznos.

Ha a „kis szennyezések" metallurgiai hatását a wolfram gyártásában tovább akarjuk követni, a nemzetközi irodalmi szintnél jóval részletesebben kell megismernünk a hidrogénes wolframoxidredukció viszonyait. Hiszen köztudomású, hogy a wolframfém megmunkálhatósága és a wolframdrót technológiai tulajdonságai helyesen választott adalékanyagok mellett is nagy mértékben függenek a redukciós folyamat feltételeitől.

4

A redukált wolframszemcsék porozitása

A WO_3-ból hidrogénes redukcióval előállított wolframszemcsék elektronmikroszkópban kb. 10 000-szeres nagyítással szemlélve többnyire tömöreknek látszanak és felületük sem tagolt.

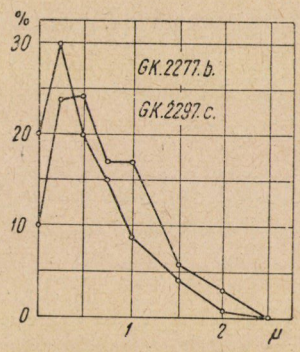
B. KOPELMAN azonban felismerte [35] és a közelmúltban kimutatta [36], hogy a finom, pl. 1 μ-os redukált wolframfémpor fajsúlya vízben mérve 19,2, nagy molekulájú butilstearátban ellenben gyakran csak 18,5 és ebből azt következtette, hogy a redukcióval kapott wolframfémszemcsék többnyire porózusak. Szerinte pórusaik átmérője 15—25 Å. Ezzel számolva, a fémszemcsék valódi felülete 10-szer, 20-szor nagyobb, mint látszólagos (burkoló) felületük. Ennek gyakorlati következményeit KOPELMAN azonban nem vonja le.

Évtizedes wolframgyártási megfigyeléseink (TÚRY P. és MILLNER T.) összhangban vannak ezzel a megállapítással. Évtizedes szóhasználat szerint vannak „durva" és „finom" adalékanyagos wolframporok: ezek zsugorításkor igen különbözően viselkednek. Azt hihetnők, hogy egyszerűen arról van szó, hogy a „durva" porok szemcséi nagyok, a „finom" porok szemcséi kisebbek. Mi régóta tudjuk, hogy itt másról is, sőt elsősorban másról van szó.

Régi tapasztalat, hogy az ún. durva, pl. 3 μ-os fémporok rúdjai vontatottan zsugorodnak és megolvadásig hevítve a visszamaradt adalékanyag-nyomok gőzétől felfúvódnak, ezzel szemben a finom, pl. 1 μ-os fémporok rúdjai gyorsan zsugorodnak és mégis — mintha kevesebb idegen anyagot zárnának magukba — felfúvódás nélkül olvadnak meg. Holott azt várnánk, hogy a lassabban zsugorodó durvább rudakból távozik el tökéletesebben az idegen anyag.

Azt is megfigyeltük már régen, hogy egyező szemcsenagyságú porok között is vannak zsugorításkor „durván" és „finoman" viselkedők. A 6. ábra GK. 2297. c. jelzésű, durva jelleggel zsugorodó fémporában a szemcsék 20%-a kisebb $\frac{1}{4}$ μ-nál és 75%-a esik $\frac{1}{4}$—1 μ közé. A GK. 2277. b. jelű, finom jelleggel

zsugorodó fémporban a szemcsék 10%-a kisebb $\frac{1}{4}\,\mu$-nál és 81%-a esik $\frac{1}{4}$—1 μ közé. Igazán nincs nagy szemcseméretkülönbség a két por között. Ha azt tartjuk, hogy az adalékok kipárolgásának és visszamaradásának mértéke a párologtató felület nagyságától függ és azt gondoljuk, hogy mindkét por szemcséi tömörek, szinte semmi különbséget sem várhatunk a két por zsugorodása között. Hiszen ha az egyik $\frac{1}{2}$ μ-os W-gömbökből állana, a másik pedig 1 μ-osakból, akkor is csak kétszer akkora lenne az előbbinek a fajlagos felülete, mint az utóbbié.



6. ábra. Zsugorításkor „durván" és „finoman" viselkedő olyan két wolframfémpor „szemcseszám%—szemcsenagyság" diagramja, amelyeknek szemcseeloszlása gyakorlatilag nem különbözik egymástól

Ha azonban feltesszük, hogy az egyik porózus 1 μ-os szemcsékből áll, a másik tömörekből, a 20-szoros felületkülönbség folytán máris jó magyarázatot kapunk a két por zsugorodásának különbségére.

Vajon miért nem köztudomású még ma sem, hogy az adalékanyagok zömének gyors és alapos elpárologtatását és ezzel együtt a nemkívánatos interkrisztallin adaléknyomok visszamaradását inkább lehet porozitás növeléssel, mint szemcseméret csökkentéssel elérni?

Először is azért, mert a finom porok gyorsan zsugorodnak és ennek folytán hajlamosak sok adalékot magukba zárni, akár porózusak a szemcsék, akár nem. Ez a tény túlságosan a szemcsenagyság jelentőségére irányítja a figyelmet. Másodszor azért, mert durvább fémport a gyakorlatban csaknem kivétel nélkül vízgőz okozta szemcsenövekedéssel szokás előállítani, ez a folyamat pedig nemcsak a szemcseméretet növeli, hanem még sokkal inkább betömi a pórusokat is és bezárja azokba az adaléknyomokat. Ezért a durvább fémporok rúdjai nemcsak vontatottabban zsugorodók, hanem felfúvódó jellegűek is. A szemcseporozitás előnyeit nehéz kihasználni, mert csak a finom porok kellően porózusak, ezek viszont rendszerint túl gyorsan zsugorodnak és így válnak felfúvódóvá.

A hazai wolframgyártás jellegzetessége, hogy TARJÁN I. és TÚRY P. már 1930 körül megtalálták a módját, hogyan lehet a finom porok porozitásának előnyeit a gyors zsugorodás hátrányai nélkül hasznosítani.

Mai szemmel mindezt talán úgy foglalhatjuk össze, hogy az adalékos wolframgyártásban a rudak zsugorodásának és ezzel együtt az adalékok kipárolgásának menetét elsősorban a szemcsenagyság szabályozza ugyan, de a finomabb poroknál a porozitás döntően elősegíti a kipárolgást és alacsony interkrisztallin szennyezésszintet biztosíthat.

5

A β-wolfram szerepe a wolfram redukciójában

A WO_3 hidrogénes redukciójának kémiáját az irodalom csak igen felszínesen ismerteti. Azt sem lehet belőle eldönteni, hogy redukciókor a jól ismert, sárga WO_3-ból a szintén jól ismert WO_2-ig hány és milyen összetételű wolframoxid keletkezik.

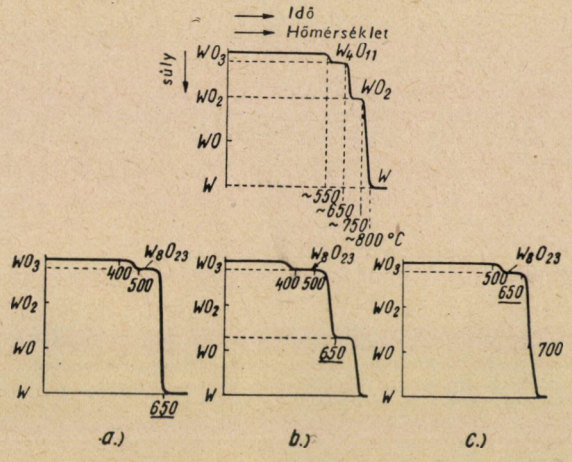
Hegedűs A., Neugebauer J. és Sasvári K. munkatársaimmal a WO_3 hidrogénes redukcióját termoanalitikailag és röntgenmódszerrel vizsgáltuk [37]. Duval-termomérlegben kb. 0,4 g WO_3-ot 33 l/ó sebességű 30% H_2 + 70% N_2 gázáramban 150 C°/óra hőfokemeléssel 20 C°-tól 900 C°-ig hevítettünk. A termomérleg eközben ± 0,1 mg érzékenységgel felrajzolta a redukciókor bekövetkező súlyváltozást. Az irodalmi ismeretek alapján kb. olyan termogörbét vártunk, mint amilyen a 7. ábra képzeletbeli görbéje, amelyen az egyes ismert fázisok állandó súlyú szakaszokkal árulják el jelenlétüket. A MoO_3 redukciójakor valóban ez következik be. A WO_3 redukciója azonban nagy meglepetésekkel szolgál.

A WO_3 redukciójának tényleges termogörbéit vizsgálva azt találtuk, hogy a szokásos (pl. a II. táblázatban megadott) tisztaságú WO_3-ot redukálva, az állandó súlyú szakasz, az ún. lépcső, a gáz vízgőz nyomaitól és a WO_3 fizikai állapotától függően nemcsak WO_2-nál, hanem $WO_{2.0}$ és $WO_{0.1}$ között bármely összetételnél megjelenhetik, azt a látszatot keltve, mintha WO_2 és W között a wolframoxidok egész sora léteznék. Lehet, hogy ez tévesztette meg K. Funaki és munkatársai [38 39] japán kutatókat, akik hasonló eljárással a $WO_{2,75}$, $WO_{2,5}$, $WO_{2,25}$, WO_2, $WO_{1.5}$, WO oxidok létezését vélték kimutatni. Mi ebben kételkedve, saját termogörbéinkből sok vizsgálódás és fejtörés után a következőket állapítottuk meg.

Van eset, amikor a redukció még 650 C° elérése előtt fémwolframig teljesen lefolyik. Ilyenkor a termogörbén kb. 500 C° körül a W_8O_{23} lépcsője jelenik meg és pl. 550 C°-tól kezdve a redukció (még 650 C° elérése előtt) lépcső nélkül gyorsan lefolyik fémig úgy, amint ezt a 8*a* ábra szemlélteti. Röntgenvizsgálataink szerint ilyenkor a fém nem stabilis α—W szemcsékből, hanem instabilis β—W szemcsékből áll. (A β—W önmagában 650 C° fölé hevítve irreverzibilis módon stabilis α—W-má alakul át.)

Más esetben lassabban folyik a redukció és a kritikus 650 C° hőmérsékletre valamely WO_2 és W közé eső összetétellel érkezik el az anyag, amely ekkor még

W_8O_{23}-ból és β-wolframból áll. Ezen a hőmérsékleten a bonyolult rácsú β-wolfram átalakul egyszerű térben-középpontos köbös rácsú α-wolframmá. A módosulatváltozás folyamata alatt a W-atomok rendkívül mozgékonyak és reakcióképesek és a gyorsan redukálódó W_8O_{23}-ot felemésztve lassan redukálódó WO_2-dá alakítják. Ezen a ponton lépcső jelenik meg a termogörbén úgy, amint azt a 8*b* ábrán látjuk. Ez a pont WO_2 és W között bármely összetételhez tartozhatik. A röntgenvizsgálat minden esetben azt mutatja, hogy 650 C° és ezzel együtt a lépcső elérése előtt az anyag W_8O_{23} és β—W, a lépcsőben és a lépcső után pedig WO_2 és α—W keveréke.



7. ábra. A WO_3 hidrogénes redukciójának elképzelt súlycsökkenés-diagramja (termogörbéje) egyenletes hőmérsékletemelkedéskor (ez nem valósul meg)
8. ábra. A WO_3-ból képződő W_8O_{23}-oxid 650 C° alatt, 650 C° körül és csak 650 C° felett lefolyó redukciójának súlycsökkenés-diagramja 150 C°/óra értékű egyenletes hőmérsékletemelkedéskor. A termogörbe típusát kis szennyezések, felületi sajátságok stb., azaz az ún. katalizáló tényezők szabják meg

Ha viszont olyan lassú a redukció, hogy a W_8O_{23} lépcsőből csak 650 C°-nál magasabb hőmérsékleten kezd tovább folyni, akkor közvetlenül α-wolfram keletkezik és lépcső egyáltalán nem jelentkezik, mert ilyen magasabb hőmérsékleten már a WO_2 is elég gyorsan redukálódik. Ilyenkor a 8*c* ábrának megfelelő termogörbe keletkezik és a röntgenvizsgálat W_8O_{23} mellett főleg WO_2-ot és α—W-ot mutat ki.

A wolframfém instabilis β-módosulatát először H. HARTMANN, F. EBERT és O. BRETSCHNEIDER írták le és állították elő elektrolitikusan 1931-ben [60]

Azt a tényt viszont, hogy a WO_3 hidrogénes redukciójában β-wolfram keletkezhetik N. J. PETCH és H. P. ROOKSBY közölte 1944-ben először [40, 41] és M. G. CHARLTON 1955-ben megerősítette [42]. A β-wolfram fázisátalakulásának és ebben a wolframatomok fokozott mozgékonyságának döntő jelentőségét a mi vizsgálataink derítették ki [37]. A redukciósebesség irányító hatását

is mi ismertük fel. Ennek kihasználása végett termogravimetriásan megvizsgáltuk azt a kérdést, hogy mely szennyezéseknek van redukciót gyorsító és melyeknek lassító hatása. E katalizáló-hatás vizsgálatainkat 31 elemre terjesztettük ki és megállapítottuk, hogy 0,1% As, Sb és Pd, valamint 0,5% Pt hatására a redukció jelentősen meggyorsul, úgyhogy viszonylag alacsony hőmérsékleten folyik le, és lépcső nélkül β-wolframhoz vezet, H_3PO_4 jelenlétében ellenben úgy lelassul, hogy csak viszonylag magas hőmérsékleten folyik le, és lépcső nélkül α-wolframhoz vezet. A katalitikus hatások egy részét TARJÁN I. és TÚRY P. már 30 évvel ezelőtt kísérletileg felismerte és a hazai wolframgyártás módszereiben értékesítette.

Meg kell itt említenünk, hogy O. COLLENBERG és B. SANDBERG 1941-ben megállapították [43], hogy az alkálisóknak a redukció hatásfokát javító katalizáló hatásuk van. Termogravimetriás vizsgálataink szerint ez a hatás az As, Sb, Pd és Pt hatásához képest elenyészően csekély, úgyhogy nem is vezet β-wolframhoz.

Mi a kis szennyezések technológiai hatásának kialakulásában a $\beta W \rightarrow \alpha W$ átalakulásnak döntő jelentőséget tulajdonítunk. Miből áll ez?

Az adalékanyagokat preparáláskor a WO_3-szemcsék felületére juttatjuk. Ezek túlnyomó része redukció után a fémszemcsék felületén található (és onnan pl. leoldható). Zsugorodáskor, különösen ha a szemcsék porózusak, az adalékok csaknem teljesen elpárolognak. A visszamaradó nyomok mennyisége a redukció vízgőzös szemcse növekedésének mértékétől függ és GK-fémporokban néhány ezredszázaléknál nem több. Ez a néhány ezredszázalék idegen anyag legnagyobbrészt zárványként (pl. krisztallithatárokon) van beágyazva a fémbe és a félig zsugorított rúdból a jó technológiai GK-tulajdonságok elvesztése nélkül eltávolítható. Ez az eltávolítás üzemszerű biztonsággal megvalósítható közepes hőfoktartományban alkalmazott huzamos kipárologtatással a zsugorítás folyamán [44], vagy a még porózus rudak HF-os kioldásával [44]. Ettől javul a wolframfém megmunkálhatósága. A jó kristályosodó képességet és a hasznos technológiai tulajdonságokat pedig a még ezután is visszamaradó, még kisebb hatóanyagnyomok váltják ki.

Miért nem távolítható el az interkrisztallin adaléknyomokkal együtt ez a még kisebb hatóanyag mennyiség is? Véleményünk szerint azért, mert ezt nem zárványként (nem mechanikusan), hanem atomosan, a fémrácsban feloldva tartalmazza a fém. Ez az idegen anyagrész oldószerek számára nem hozzáférhető és kipárolgása lassúbb, mint a pórusok felületéről párolgó nyomoké. Az a nézetünk, hogy csakis az atomosan, a fémrácsban oldott idegen anyag nyomok segíthetik elő a kristályosodási folyamatokat, az interkrisztallin szennyezések legfeljebb akadályozhatják azt vagy közömbösek. Az ásványtanból közismert, milyen tökéletes és víztiszta lehet pl. egy atomos lépésekben kialakult egyetlen kvarckristály annak ellenére, hogy számtalan fehér rutiltűt foglalt magába növekedésekor.

De hogyan kerülnek be a K, Si és Al atomok a redukció folyamán a fémrácsba?

A wolframfém rácsában a W-atomokat egymással érintkező 2,8 Å átmérőjű gömböknek képzelhetjük. A K-atom átmérője 4,7 Å, a Si-atomé 1,15 Å és az Al-atomé 1,40 Å. A W-atomnál jóval kisebb Si- és Al-atomok akár helyettesítő módon (szubsztituciósan), akár beékelve (interszticiósan) helyet találnak maguknak a wolframrácsban. A Si és Al valóban oldódnak is wolframban. A nagy K-atomok azonban nem tudnak a wolframrácsba illeszkedni. A kálium nem ötvöződik wolframmal. Márpedig abból a tényből, hogy a GK-jellegű nagykristályképződéshez mindhárom atomfajta jelenléte szükséges a redukcióban, mégiscsak azt kell következtetni, hogy mindháromból kerülnek egyes atomok a wolframrácsba. A Si- és Al-atomokat a wolframrács szívesen befogadja, a K-atomok azonban csak valami ritka véletlen folytán (természetellenesen) kerülhetnek a rácsba. Ez a ritka véletlen bekövetkezhetik a redukcióban keletkező W-atomok rácsrendbe való illeszkedésekor, vagy a vízgőzös szemcsenövekedéskor, ezenkívül igen valószínűen a $\beta W \rightarrow \alpha W$ átalakulás folyamán. A K-, Si- és Al-atomok rácsba kerülése a redukció folyamán már csak azért is ritka esemény lehet, mert ott keletkezésük csak igen kis koncentrációban valószínű. A K-atomok rácsba kerülése azonban még ennél is ritkább, mert a K-atomok nem kerülhetnek önként természetszerűen a rácsba, mint a Si- és az Al-atomok, hanem csak valamely véletlen folytán természetellenesen zárulhatnak oda be. Ennek az elméletnek alapján azonnal megértjük, miért kell a WO_3-ot a szükséges igen kis hatóanyag koncentrációnál mintegy 10 000-szer több adalékanyaggal és főképpen sok káliumsóval preparálni, ha erőteljes GK-fém tulajdonságokat akarunk elérni, és azt is megértjük, miért nem elég ehhez az, ha a WO_3 a szükséges hatóanyag koncentrációnál ugyan jóval több, de mindössze pl. 0,01% K, Si és Al szennyezést tartalmaz (II. tábl. 1. oszlop).

Megértjük végül és főképpen azt is, miért olyan érzékeny a GK-wolframfém gyártása a 700 C° alatt folyó első redukció hőmérsékletének ingadozására: ettől függhet ui., hogy keletkezik-e egyáltalán β—W, vagyis, hogy a hatóanyagok rácsba kerülését alátámasztja-e a $\beta W \rightarrow \alpha W$ átalakulás vagy sem.

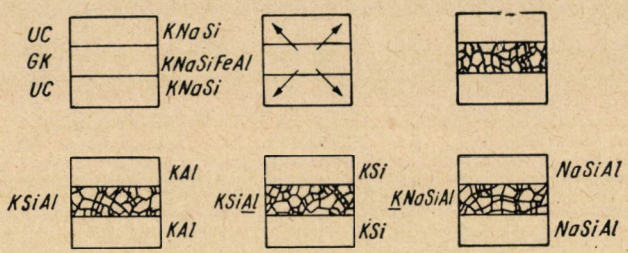
6

Az adalékanyagok viselkedése a zsugorodó wolframrudban kipárolgás közben

Vannak talán, akik erőltetett dolognak tartják, hogy az adaléknyomok rácsba kerülését a redukció folyamatainak tulajdonítjuk. Hiszen a wolframrudak zsugorításakor az adalékanyagok sokkal magasabb hőmérsékleten érintkeznek a wolframfémmel, mint redukciókor. A K-, Si- és Al-atomok keletkezése is és a rácsba kerülés is itt, a zsugorodás folyamán talán inkább lehetséges, mint a redukciókor.

A tények nem igazolják ezt a gondolatot.

A kérdés megvizsgálására a különböző adalékanyagokat tartalmazó fémporokból réteges rudakat sajtoltunk, majd szokásos módon mint GK-rudakat zsugorítottuk azokat. Ha a középső réteg K, Na, Si, Fe és Al-tartalmú GK-fémpor, a felső és alsó réteg ellenben csupán K-ot, Na-ot és Si-ot tartalmazó UC-fémpor volt, akkor zsugorítás után csak a középső réteg lett nagykristályos, a két UC-réteg ellenben nem, úgy amint a 9. ábrán látható. Ez meglepő, mert joggal feltételezhető, hogy zsugorodás közben a GK-réteg közepéből elpárolgó Al-tartalmú gőzök az UC-réteg pórusain át is távoznak és ezzel lehetőséget adnak az UC-rétegnek, hogy az is Al-tartalmúvá és nagykristályossá váljék. Ez azonban nem következik be.



9. ábra. A K, Na, Si-tartalmú UC-wolfram fémporrétegek közé iktatott K, Na, Si, Al (és Fe) tartalmú GK-réteget tartalmazó wolframrudakban zsugorításkor csak a GK réteg lesz nagykristályos, holott az Al-tartalmú adalékanyagok az UC-réteg pórusain is átpárolognak

10. ábra. Átpárolgó Si és K nyomok nem juttathatók be zsugorításkor nagykristályokat előidéző hatással a réteges wolframrudak csupán Si-ot vagy K-ot nélkülöző rétegeibe

Hasonló vizsgálatokkal, amelyeknek eredményét a 10. ábrában foglaltuk össze, kiderítettük, hogy nemcsak Al-ot, hanem Si-ot és K-ot sem lehet párologtatással a szomszédos rétegekbe hatásosan bejuttatni. A rácsba nem illő K-atomokra nézve ez még csak érthető, de meglepő a Si- és Al- atomok tekintetében, mert ezek az atomok wolframban jól diffundálnak és vele ötvöződnek. Úgy látszik tehát, hogy a redukció folyamatai nemcsak az Al-, Si- és főképpen a K-atomok rácsbajuttatása céljából nélkülözhetetlenek, hanem az együttes hatást, a kombinációs effektust is a redukció biztosítja. Mondhatjuk azt is, hogy a K, Si és Al-atomok hatásos együttese vagy csoportja a redukcióban alakul ki és azt később, a zsugorítás szokásos körülményei között már nem lehet létrehozni.

Mit értünk a K, Si és Al-atomok hatásos együttesén?

Évtizedekkel ezelőtt — az alkáli-tartalmú adalékanyagok első alkalmazása idején — az volt a nézet, hogy az alkáli-adalékos rudak és drótok szórványosan megjelenő nagykristályos szerkezetét wolfram-bronznyomok idézik elő. A mi

mai észleléseink nem cáfolják azt a nézetet, hogy a K, Si és Al-atomok együttes hatásukat esetleg valamely közös vegyületük révén fejtik ki. Ez a vegyület azonban nem lehet wolfram-bronz, mert a bronzok csupán alkálifém-, wolfram- és oxigén atomokból állanak és Si-ot, valamint Al-ot nem tartalmaznak. Egyébként sincsen kényszerítő okunk arra, hogy az együttes hatás magyarázatául vegyületképződést tételezzünk fel.

Ma még nem ismeretes ugyan, hogy K, Si és Al-nyomok miképpen fejtenek ki 10^{-6} koncentrációban olyan együttes hatást, amelynek következtében a preparált wolfram-fém rekrisztallizációs hőfoka a nem preparált féméhez képest 1000 C°-kal felemelkedik, és megjelenik a magas hőmérsékleti alaktartóképesség és a szobahőfokú képlékenység. Lehetséges azonban, hogy a magyarázatot a fémrácsokban szobahőfokon 10^{-8}—10^{-6} koncentrációban jelenlevő természetes rácshibák (diszlokációk, üres rácshelyek stb.) és a 10^{-6} koncentrációban jelenlevő szennyezőatomok kölcsönhatásában fogjuk megtalálni, amint erre a következőkben még rátérünk [58].

Ez a nézetünk az újabb fémfizikai ismeretekből [45, 46, 56] és annak az eléggé általános ténynek a felismeréséből származik, hogy amikor pl. egy elemi fémet olyan tisztán tudunk már előállítani, hogy 10^4—10^5 atomja között legfeljebb csak egy-két szennyező, azaz idegen atom van, akkor a fém tulajdonságainak egészen új területére érkezünk. Ettől a tisztasági foktól kezdve ugyanis két tulajdonságcsoportot észlelhetünk. Egyrészt jelen vannak már a nagy fémtisztaságra jellemző általános tulajdonságok (pl. jó alakíthatóság, jó vezetőképesség), másrészt előtűnnek olyan igen lényeges tulajdonságok (pl. a kristályosodó képességnek, szilárdságnak stb. olyan új vonásai), amelyek csak jelentős általános tisztaság mellett bontakoznak ki ugyan, amelyeket azonban nem a tisztaság, hanem igen kis, pl. milliomodrésznyi „szennyezések", azaz idegen anyagok jelenléte vált ki és biztosít, ha ezeknek az idegen anyagoknak atomjai az alaprácsban oldva (atomosan elosztva) vannak. Ezek a tulajdonságok a szélsőségesen tiszta fémeknél ismét eltűnnek és újabbaknak adnak helyet.

Ennek a koncentráció-tartománynak a kutatása a fémek nagy részénél egészen új keletű és talán még tudatossá sem vált más fémeknél, hogy nem annyira a „kis szennyezések", mint inkább a „rácsban oldott kis szennyezőatomkoncentrációk" tartománya az a feltárandó új világ, amelyben nagy lehetőségek rejlenek. A wolframgyártás nézetem szerint öntudatlanul bár, de kitűnő érzékkel már évtizedek óta ennek a területnek a lehetőségeit használta fel, erre azonban csak most kezdünk réeszmélni és most igyekszünk e lehetőségeket jobban megismerni és jobban kihasználni.

II

1

A wolframfém adalékanyagainak és mechanikai-technológiai tulajdonságainak kapcsolata

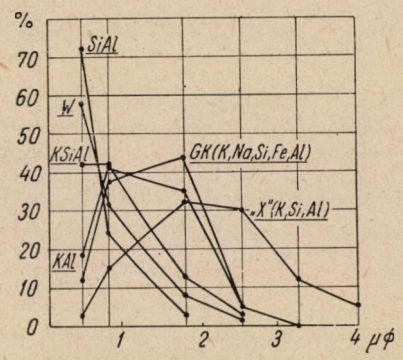
Az előzőkben főleg a wolframfém kis szennyezéseinek (azaz bizonyos kémiai tényezőknek) a fém kristályosodására és a drót rekrisztallizációjára gyakorolt hatásával foglalkoztunk. Most megvizsgáljuk, mint befolyásolják ezek a kémiai tényezők a fém és drót mechanikai—technológiai tulajdonságait.

Ilyen irányú vizsgálatokat elsősorban azoknak a fémfajtáknak drótjain végeztünk, amelyeknek kémiai és kristályosodási adatai a II. táblázatban vannak összefoglalva. Itt is megemlítjük, hogy azoknak a fémfajtáknak a drótjai, amelyeknek rúdjai nagykristályosak lettek, nagykristályos szerkezettel rekrisztallizáltak és át nem hajló izzólámpa spirálokká voltak feldolgozhatók. A többi fémfajta drótjai kiskristályosan rekrisztallizáltak és egyéb tekintetben sem voltak GK-jellegűek. Már ebből is következik, hogy a mechanikai—technológiai tulajdonságok sem igazodnak a fémek analitikailag megállapítható adalékanyagainak mennyiségéhez és minőségéhez.

Amint vizsgálni kezdtük, hogy milyen összefüggés található az adalékanyagok kémiai természete és a drótok mechanikai—technológiai tulajdonságai között, mindenekelőtt az tünt fel, hogy e tekintetben is az a döntő, milyen adalékanyagokat adtunk (nagy mennyiségben) a fém előállítására szánt wolframsavhoz. A wolframgyártás tapasztalt dróthúzó-munkásai például kétségtelenül meg tudják különböztetni a csak (K + Al)-mal preparált anyagú wolframdrótot a lényegében (K + Al + Si)-mal preparált GK-dróttól a jobb megmunkálhatóság alapján, akkor is, ha ezredszázaléknyi kémiai „szennyezéseik" tekintetében szinte semmi különbség sincs közöttük. A KAl-drótot „sokkal könnyebben húzhatónak" találják, mint pl. a GK-drótot. Az irodalomban ilyen összefüggésekről semmit sem találunk. Ezért magunk fogtunk hozzá a különbség okának felderítéséhez.

Mielőtt ezeket a vizsgálatokat ismertetnénk, jellemeznünk kell előbb a vizsgálatra került fémporaink szemcsenagyságát, mert igen elterjedt az a nézet, hogy a finom fémporok könnyebben megmunkálható drótot adnak, mint a durvák. Minden wolfram-szakember tud azonban példát az ellenkezőjére is. Célszerű mégis, amennyire lehetséges, arra törekedni, hogy az összehasonlításra kerülő fémek poraiban az egyes szemcseméretek viszonylagos mennyisége, az ún. százalékos szemcseszámeloszlás, ne legyen túlságosan eltérő. Hogy mennyire sikerült ezt a vizsgálati fémporainknál elérni, azt a 11. ábrán mutatjuk be. Megjegyezzük, hogy GK-fémporunk nemzetközi megítélés szerint finom fémpornak számít. Ezzel csaknem megegyező a KAl-fémporunk szemcseelosz-

lása. A tiszta W, valamint SiAl és KSiAl fémporaink a GK-nál valamivel finomabbak és egymástól alig különböznek. Durva fémpornak szokás tekinteni az itt csak példaként ábrázolt „X" fémport. Jobban érzékelhető a különbség a finom és durva fémporok között, ha szemcseszámszázalék helyett szemcsesúlyszázalékot veszünk figyelembe, vagyis pl. azt, hogy az X-fémpornak 86 súlyszázaléka, a GK-nak 22 súlyszázaléka és a finomabb porainknak 0 súlyszázaléka 1,8 μ-nál nagyobb szemcséjű. Összes vizsgálati fémporaink finomak



11. ábra. Finomnak (GK és KAl), igen finomnak (tiszta W, SiAl és KSiAl) és durvának (X) nevezett wolframfémporok „szemcseszám%—szemcsenagyság" diagramjai

és egymástól nem túlzottan eltérő szemcsézetűek, úgyhogy kísérleti eredményeink mérlegelésekor nem kell figyelemmel lennünk a szemcsenagyság hatására.

Az üzem a K, Na, Si, Fe, Al-mal preparált GK-drótjainkat évtizedeken át mindig kissé nehezebben húzhatónak találta, mint a csak K, Na Si-mal preparált UC-drótjainkat. Mivel a GK és UC fémporok szemcseméretei csak kevéssé különböznek egymástól, a GK azonban Al-tartalmú, az UC viszont nem, önként kínálkozik az a következtetés, hogy az Al-nyomok megnehezítik a megmunkálást. A IV. táblázat adatai szerint ez azonban elhamarkodott következtetés lenne. Mert bár a KAl-fém ugyanannyi Al-adalékkal készült, mint a

IV. táblázat

	Visszamaradó adaléknyomok $n \times 10^{-5}$ rész			%-os szemcseeloszlás				Rekrisztalliz. hőmérséklet 100 μ ⌀-nél C°	Kristályok száma azonos drót-hosszban	Megmunkálhatóság
	K	Si	Al	0,5 μ	1,0 μ	2,0 μ	2,5 μ			
KAl	5	2	2	15	42	35	5	2000	100	igen jó
KAlSi ...	7	2	3	42	42	12	—	2200	10	közepes
„GK" ...	6	2	3,5	12	38	45	5	2300	5	közepes
Tiszta W	0	10	1	58	32	9	—	1500	300	jó

GK, és szemcse méreteik is csaknem azonosak, mégis a KAl-drót sokkal könnyebben húzható, mint a GK-drót. Nem lehet tehát az Al-adagolásnak a többi adaléktól független hatást tulajdonítani. Legfeljebb azt állapíthatjuk meg, hogy az Al-adalék K-mal együtt nem rontja, K-mal és Si-mal együtt azonban megnehezíti a megmunkálást.

Kiderül, hogy a technológiai tulajdonságoknak már ilyen kezdetleges tanulmányozása is a kombinációs effektushoz vezet bennünket. A IV. táblázatból és a hozzá csatlakozó további megfigyeléseinkből megállapítható, hogy nemcsak a kristályosodási sajátságokat, hanem a mechanikai—technológiai tulajdonságokat is az adalékanyagok *együttes* hatása és nem az egyes adalékok egyedi hatása szabja meg. Ez az együttes hatás sok esetben lényegesen eltér az egyedi hatások összegétől. Egyes korábbi megállapítások szerint

a) a K- és Fe-nyomok emelik a rekrisztallizációs hőfokot,

b) a Si- és Al-adalékok nehezítik a megmunkálást,

c) a K- és Na-adalékok durvítják a fémport,

d) a Si- és Al-adalékok finomabbá teszik a fémport.

Mindezek egyes részletmegfigyeléseknek túlzott általánosításai. Mivel egyes adalékok hatásából nem lehet az adalékkombinációk hatására következtetni, technológiai tulajdonság vizsgálatainkat elsősorban azokra a fémekre terjesztettük ki, amelyeknek kristályosodási tulajdonságait korábban már vizsgáltuk és amelyeknek adalékkombinációit a II. táblázat tünteti fel.

Tudjuk már, hogy a KAl- és GK-drótok idegen anyag tartalma egyaránt néhány százezredrésznyi csupán és minőségileg is alig különbözik egymástól. Ha ehhez még tekintetbe vesszük azt is, hogy az adaléknyomok legnagyobb részét mindkét fémfajta félig zsugorított rúdjaiból pl. 40%-os HF-oldattal kioldva olyan KAl- és GK-drótokhoz juthatunk, amelyekben egyaránt csak milliomodrésznél is kevesebb idegen anyag van, de azért a KAl-drót így is kiválóan megmunkálható és a GK-drót így is nehezebben húzható, akkor meg kell állapítanunk hogy a wolframfémben nemcsak a kristályosodási, hanem a mechanikai—technológiai tulajdonságokat is 10^{-6} résznyi adaléknyomok alkalmas kombinációi szabályozzák.

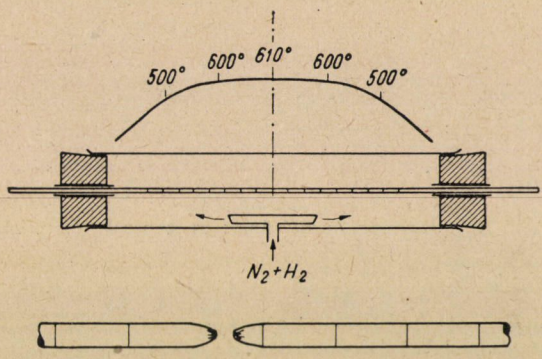
2

Az adalékanyagok hatása a wolframdrótok szakító diagramjának adataira 20 C° és 800 C° között

Szobahőmérsékleten szakítóvizsgálatokat végeztünk olyan wolframdrótokkal, amelyek a II. táblázat különféle adalékkombinációival készültek. Megmértük ilyen 0,6 mm-es drótok szakítószilárdságát, nyúlását és kontrakcióját, azt remélve, hogy a KAl-fém jobb megmunkálhatósága ezen adatok valamelyikében kifejezésre jut. A szakító diagramokat azonban mind egyformák-

nak találtuk. A szobahőmérsékletű drótok technológiai adatai semmiféle kapcsolatot sem árultak el adalékaik milyenségével.

Rövidesen rájöttünk, hogy ez a tény nincs ellenmondásban az üzemi észlelésekkel, hiszen a dróthúzás nem szobahőmérsékleten, hanem vörösízzáson történik. A szobahőmérséleten kapott technológiai adatoknak nem kell szükségképpen visszatükrözniük azokat a megfigyeléseket, amelyek a 800 C°-os wolframdrót húzásából, azaz meleg megmunkálásából származnak. Ezt sokkal inkább várhatjuk el melegszakítások adataitól. Kidolgoztunk tehát olyan eljárást, amellyel a wolframdrót szakító adatait szobahőfoktól 900 C°-ig terjedő hőmérsékleteken lehet megállapítani.

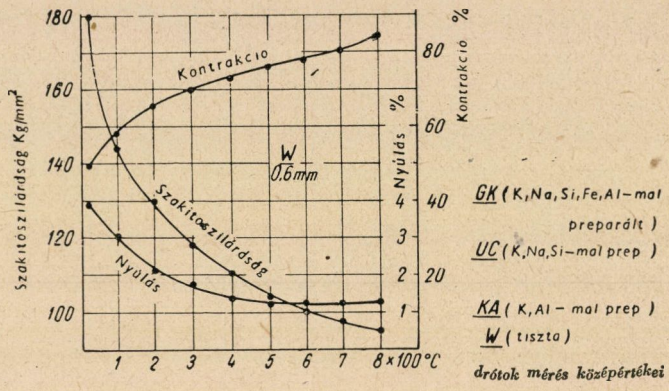


12. ábra. Wolframdrótok szakítószilárdságának, nyúlásának és kontrakciójának magasabb hőmérsékleteken történő megállapítására használt berendezés és módszer vázlata. A kontrakció szemléltetése

Melegszakításainknál a wolframdrótot nem elektromos árammal, hanem csőkályhával fűtöttük. Rejtő-féle vízszintes szakítógépre 900 C°-ig fűthető csőkályhát szereltünk úgy, hogy a szakítandó drót a kályha tengelyébe essék. A kályhán a 12. ábra elrendezése szerint tiszta N_2-öblítőgázt vezettünk át. Állandóan tartott maximális 100, 200, . . . 700, 800 C° hőmérsékleten 10 mm-ként megállapítottuk a kályha hőmérsékletét. A maximális hőmérsékletű zóna minden esetben legalább 5 cm hosszú volt. A szakítandó wolframdrótra 10 mm-ként finom tusjeleket húztunk és azok valóságos távolságát mérőmikroszkóppal megállapítva feljegyeztük. A szakítás után az elszakadt 10 mm-es szakasz ugyanolyan hőmérsékletű szomszédos szakaszainak mérőmikroszkóppal mért méretnövekedéséből megállapítottuk a maximális hőfokhoz tartozó nyúlást. A szakítóerőt a szakítógép regisztrálta. A kontrakciót pedig a szakadás helyének mikroszkópos lemérésével állapítottuk meg.

Sok száz ilyen mérést végeztünk (Sass L., Millner T. [47]) 0,6 mm-es drótokon. A mért technológiai adatok értéke és hőfokmenete drótfajtáról drótfajtára annyira egyezőnek bizonyult, hogy egyetlen ábrába foglaltuk őket

össze (13. ábra). A melegszakítás adatai sem tártak fel tehát olyan technológiai tulajdonságot, amelyet az adalékok észrevehetően módosítanak és amelyet magyarázatul használhatnánk fel abban a kérdésben, hogy miért jobb a KAl-drót megmunkálhatósága, mint a GK-dróté.



13. ábra. Különböző adalékanyagokkal készült wolframdrótok egymással nagymértékben megegyező szakítószilárdságának, nyúlásának és kontrakciójának hőfokfüggése

3

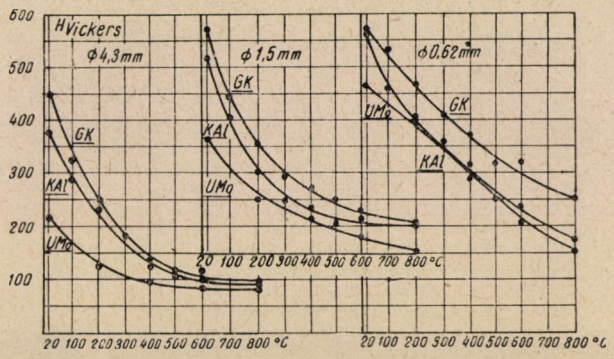
Különböző adalékanyagokat tartalmazó wolframdrótok Vickers-keménysége 20 C° és 800 C° között

A szakítókísérletek szinte semmitmondó eredményei után végül is figyelembe vettük, hogy a dróthúzáskor a wolframdrót maradó alakváltozása elsősorban nem húzó igénybevételtől, hanem nyomó igénybevételtől származik. Dróthúzáskor a drót nem azért vékonyodik, mert erősen húzva nyújtjuk, hiszen éppen ellenkezőleg, dróthúzáskor arra kell ügyelni, hogy a kövön kívül ne nyúljon meg a drót (mert így egyenlőtlenül nyúlna). A drótra húzáskor a kúpos húzónyílás oldalfalán nyomóerők hatnak: ezek vékonyítják a drótot.

Ha tehát ki akarjuk deríteni, milyen tulajdonságot érzékelnek az említett üzemi dróthúzó-munkások, rá kell térnünk olyan vizsgálati módszerre, amely nyomóerőket alkalmaz. Ebből a meggondolásból kiindulva rátértünk a különböző wolfram fémfajták mikro-Vickers-keménység mérésére. Úgy, mint a szakító vizsgálatoknál, itt is kiterjesztettük méréseinket egészen 800 C°-ig, azaz a dróthúzás üzemi hőmérsékletéig. SASS LÓRÁNT [48] munkatársam ehhez olyan készüléket szerkesztett, amelynek védőgázzal (pl. 5% H_2 + 95% N_2 gázeleggyel) öblíthető terében a 900 C°-ig hevíthető wolframcsiszolatokat kívülről, két egymásra merőleges irányba mikrométerrel el lehet tolni és bármely pontjukra, kívülről szabályozhatóan tetszőleges súllyal és ideig rá lehet helyezni

egy gyémántból vagy keményfémből készült mikro-Vickers-gúlát. Méréskor a készülékbe helyezett csiszolat felületét lépcsősen emelt hőmérsékleteken több ponton benyomattal láttuk el, majd lehűlés után a gödröket mikroszkóppal megmértük és az egyes hőfokokhoz tartozó keménységeket ezekből szokásos módon megállapítottuk.

Különböző wolframfémeken és molibdénen eddig már sok ezer melegkeménységmérést végeztünk. Ezekből kiválasztva a kilágyított 4,3 mm-es kovácsolt GK- és KAl-wolframrudak, valamint egy Mo-rud, majd az ezekből készült 1,5 mm-es vékony kovácsolt rudak és végül az ezekből előállított 0,6 mm-es



14. ábra. 4,3 mm-es kovácsolt GK- és KAl-wolfram rudak, valamint egy molibdén rud, majd az ezekből készült 1,5 mm-es vékony kovácsolt rudak és végül az ezekből előállított 0,6 mm-es húzott drótok 20 C°-tól 800 C°-ig mért Vickers-keménysége

húzott drótok 20 C°-tól 800 C°-ig mért keménységadatait, azokat a 14. ábrán ábrázoltuk. Látható, hogy a Vickers-keménység (H_V) az egyes fokozatokon belül minden drótfajtánál a hőmérséklet emeléssel erősen csökken, (pl. 0,6 mm-nél 550—600 H_V-ról 800 C°-ig 150—250 H_V-ra). Azt is jól látni, mennyire fokozódik a keménység a megmunkálás előrehaladásával. Mindez általánosságban eddig is ismeretes volt. Rendkívül érdekes azonban, hogy amíg a kilágyított 4,3 mm-es GK és KAl-rudak keménysége az egész hőfoktartományban alig tér el 20—30 H_V-kal egymástól, és a 0,6 mm-es GK és KAl drótok szobahőmérsékleten mért keménysége sem nagyon különböző (GK : 580 H_V, KAl : 550 H_V, eltérés $\sim 5\%$), addig 800 C°-on a GK drót keménysége 250 H_V, a KAl dróté ellenben csak 150 H_V (eltérés : $\sim 50\%$), nem több mint egy Mo-drót keménysége. A megmunkálás hőfokán tehát nagy különbség van a GK- és a KAl-drót keménysége között annak ellenére, hogy szobahőfokon alig van különbség [48]. Itt végre mérhetően jelentkezik az a technológiai tulajdonság, amely a szakítóvizsgálatokban nem észlelhető, de az üzemben erősen érezteti a hatását és magyarázatot ad a KAl-drót jobb megmunkálhatóságára. Rendkívül érdekes, hogy a keménységkülönbség csak magasabb hőmérsékleten jelentkezik.

Látjuk ebből, hogy a mikro-melegkeménység mérések milyen hasznosak a wolframdrót technológiai tulajdonságai és adaléknyomai között fennálló összefüggések kutatásában. Valószínű, hogy értékes üzemi ellenőrző módszerré is kifejleszthetők és wolframon kívül más fémekre is eredményesen kiterjeszthetők.

4

A wolfram és egyéb fémek nyúlásának és kontrakciójának viselkedése

A 13. ábrán azt látjuk, hogy pl. a 0,6 mm-es wolframdrót húzása a gyakorlatban, 800 C° körül, az adalékanyagoktól függetlenül 1%-os nyúlás mellett és 90%-nál nagyobb kontrakcióval folyik. Kétségtelen tehát, hogy a kontraháló képesség a wolframfém megmunkálhatóságának egyik legfontosabb fizikai alapjelensége.

Mit tudunk a kontraháló képesség fizikai természetéről?

A fémdrótok kontrahálóképességéről a mechanikai technológia egyes legkorszerűbb szakkönyveiben is azt olvashatjuk, hogy azonos a nyúlásképességgel. Eszerint a nyúlás és kontrahálás fizikai folyamata lényegében azonos lenne. Feltételezik, hogy a drót a szakító vizsgálat alatt egy bizonyos *egyenletes* megnyúlás és elvékonyodás után azért kezd egyes pontokon befűződni, azaz kontrahálni, mert az egyenletes nyúlás tulajdonképpen nem teljesen egyenletes, azaz a drót egy véletlen megszabta ponton jobban elvékonyodik, mint másutt, és ettől kezdve *csak* itt „nyúlik" tovább mindaddig, míg végül is elszakad, mert ezen a helyen állandóan nagyobb a fajlagos terhelése, mint a többi ponton.

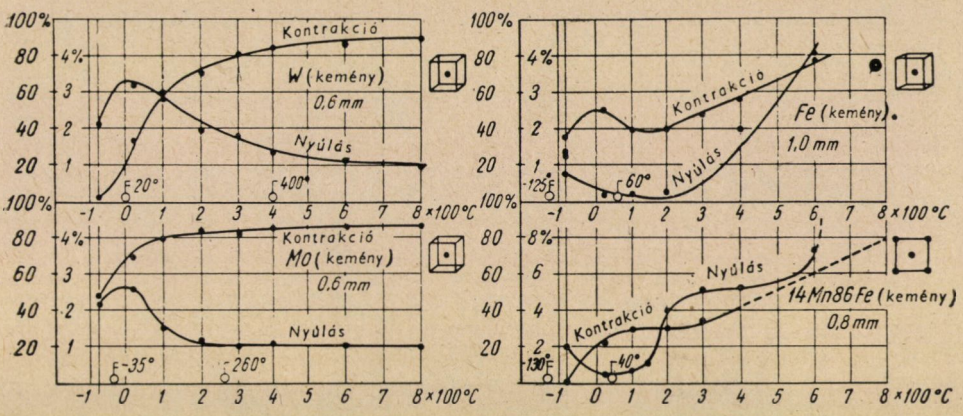
A hazai wolframgyártás nem tette magáévá ezt a nézetet. TÚRY PÁL már régen felhívta a figyelmet arra, hogy a technológia hazai kiválósága, REJTŐ SÁNDOR [49] a nyúlást és a kontrakciót egymástól különböző folyamatnak tartotta. Tapasztalataink alapján mi sem tarthatjuk azokat azonos fizikájú folyamatoknak. Csak rá kell néznünk a 13. ábrára, azonnal látjuk, hogy wolframdrótoknál a kontrakció 800 C°-tól 20 C°-ig 95%-ról 50%-ra csökken, a nyúlás ellenben 1%-ról 3,5%-ra nő! A nyúlás és a kontrakció hőmérsékleti tényezője 400 C° és 20 C° között az összes wolframdrót fajtáknál *ellentétes előjelű*. Ez nem vall azonos fizikai természetre.

Ellenvetheti valaki, hogy ez talán csak wolframfémre, vagy csak a porkohászati fémekre, avagy éppen csak a köbös, térben középpontos rácsú fémekre érvényes. Túlzás lenne tehát ebből a nyúlás és kontrakció alaptermészetére következtetést levonni.

Tüzetesen megvizsgáltuk ezért ezt az alapvető kérdést oly módon, hogy melegszakításainkat kiegészítettük hidegszakításokkal is. Porkohászati wolframdrótokon kívül porkohászati molibdéndrótokat, ferrites (térben középpontos köbös) vasdrótokat és 14% Mn tartalmú (részben felületen középpontos köbös) mangánacél drótokat, azaz nem porkohászati fémeket is vizsgáltunk. A 800 C°

és — 80 C° között mért adataink idevágó részét a 15. ábrán tüntettük fel (MILLNER T. és SASS L. [50]). Látjuk ebből, hogy a wolframdrót kontrakciója és nyúlása kb. 400 C°-tól kb. 20 C°-ig (azaz az absz. olvadás hőmérséklet 18 és 8%-a között) egymással ellentétes előjellel változik. Ugyanez észlelhető a Mo, Fe és 14 Mn + 86 Fe-drót ábráin a ♁ ♁ jelzésű analóg hőfoktartományokban [50].

Ha a 13, 14. és 15. ábrák anyagát együttesen mérlegeljük, arra a következtetésre juthatunk, hogy a keményre húzott drótok az absz. olvadás hőmérsék-



15. ábra. Keményre húzott porkohászati wolframdrót, molibdéndrót, valamint öntéssel készült ferrites (térben középpontos köbös) vasdrót és 14% Mn-tartalmú (részben felületen középpontos köbös) mangánacél drót nyúlás és koncentráció értékei —80 C° és +800 C° között

let 8%-a körül olyan (idegen atomoktól nem nagyon függő) mechanizmussal deformálódnak, amelynek hatása számunkra főleg nyúlásban jelentkezik, az absz. olvadás hőmérséklet 18%-a körül viszont olyan más (az idegen atomoktól kevéssé függő) mechanizmussal is deformálódnak, amely vizsgálatainkban kontrakcióként jelentkezik, a wolframdrótokban az absz. olvadás hőmérséklet 30%-a körül előtérbe lép ezenkívül egy olyan harmadik fizikai jelenség is, amellyel kifejezésre jut a melegkeménység függése kis mennyiségű idegen atomtól.

Ezek a gondolatok nem egyebek nyers tapogatózásnál. Nem kétséges azonban, hogy a közölt kísérleti tények sokkal inkább utalnak több fizikai okra, semmint a nyúlás és kontrakció mechanizmusának azonosságára.

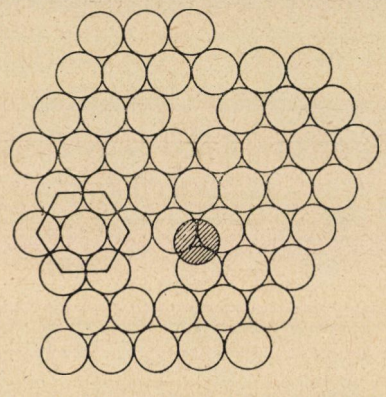
5

Diszlokációk és szennyező atomok kölcsönhatása

Fordítsuk figyelmünket ezek után megint legfőbb kérdésünkre : miként módosíthatják milliomodrésznyi idegen anyag nyomok jelentős mértékben a fémek, köztük a wolframfém technológiai tulajdonságait?

Mire irányul ez a kérdés?

Olyan fizikai modellt keresünk, amellyel úgy lehet leírni a fémegykristályok és polikristályos fémtestek képlékeny alakváltozásának lényeges vonásait, hogy ez magában foglalja a kis szennyezések hatásának magyarázatát is. Azonban ma még nem tudjuk a fémek alakváltozásának egymásba fonódó főbb jelenségeit szétbontva vizsgálni és nem tudjuk meglevő ismereteinket általános érvényű képbe összefoglalni. Már az is nagy szó, ha egy-egy tényezőt a többi fölé emelve tudunk akár elméletileg, akár kísérletileg vizsgálni, azonban rend-



16. ábra. Schottky-féle és Frenkel-féle rácshibák síkmodellje

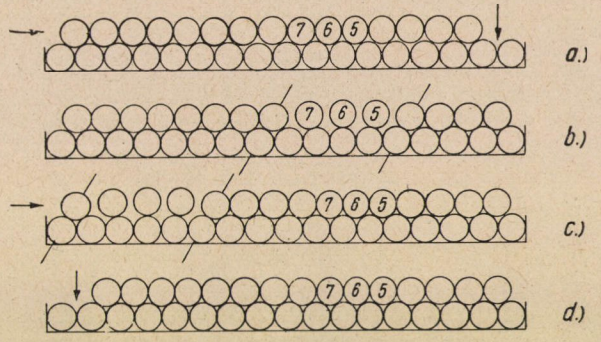
szerint ilyenkor is csak korlátolt érvényességű megállapításokhoz jutunk. Persze ezek is igen értékesek. Vannak ilyenek a mi alapkérdésünk területén is.

Fémegykristályok képlékeny alakváltozásához az szükséges, hogy egyes atomjaik vagy atomsoraik egymáshoz képest elmozduljanak (elcsússzanak). Polikristályos fémtestekben újabb és újabb kristályhatároknak kell létrejönniük. Mindehhez a kristályrács egyes atomjainak az átlagosnál nagyobb mozgékonyságra van szükségük. Ennek eredetét az elmélet többfelé keresi, de mindig feltételezi, hogy a valóságos kristályok rácsszerkezete azzal tér el kissé az ideális rácsszerkezettől, hogy benne „lyukak", azaz üres rácshelyek vannak.

A 16. ábrán ilyen rácshibákat mutatunk be. Itt egyenlő gömbök legsűrűbb illeszkedésű hexagonális rétegében egyrészt egy magában álló üres rácshelyet, ún. SCHOTTKY-rácshibát láthatunk, másrészt olyan üres rácshelyet szemlélhetünk, amely egy atomnak szomszédjai közé történt beékelődéséből ered, ez utóbbit FRENKEL-rácshibának nevezzük. Ezek megkönnyítik a környezetükben az atomok helycseréjét és ezzel lehetővé tesznek diffúziós folyamatokat, megújulást, kristályosodási és rekrisztallizációs folyamatokat, és képlékeny alakváltozásra vezető atomelmozdulásokat. Az bizonyítottnak vehető, hogy a mechanikai megmunkálás alatt nagyszámú üres rácshely keletkezik [51, 52, 57].

A 17. ábrán, egy ún. TAYLOR-diszlokáció modelljén, jól szemléltethető miképpen idézhet elő ilyen „diszlokáció"-nak nevezett rácshiba már igen kis csúsztatófeszültségek hatására nagy képlékeny deformációt [53].

Rögzítsünk rövid fahengereket sorban egymás mellé úgy, hogy palástjaikkal érintkezzenek. Felénk forduló körlapjaik fejezzenek ki számunkra egy atomsort. Fektessünk ennek völgyeibe, tehát félatomtávolsággal eltolva, egy felső sor fahengert úgy, amint azt a 17. ábrán látjuk. Ezek körlapjai mutassák számunkra azt az atomsort, amelynek csúszását vizsgálni óhajtjuk. Illesszünk a felső sor hengereinek tengelyvégződéseihez elől is, hátul is egy gyengén megfeszített gumiszalagot és kapcsoljuk a hengersort úgy össze, hogy a fahengerek hegyes acéltengelyeit a gumiszalagon átszúrjuk. Ily módon a felső hengersornak a középvonala mentén rugalmas összetartása van. A hengerek tengelyük körül nem forognak.



17. ábra. TAYLOR-féle vonaldiszlokáció magatartása rácssíkok elcsúszásában. A kis nyírófeszültséggel meginduló maradó alakváltozások modellje (ANDRADE szerint)

Nyomjuk meg a felső hengersort a bal végén, az ábrán látható nyíl irányában. Azaz kíséreljük meg elcsúsztatni a felső atomsort az alsó atomsoron. Ez sem kis erővel, sem nagy erővel nem sikerül.

Létesítsünk a felső hengersor jobb vége közelében a 17*b* ábra szerint „ritkítást", azaz tegyük a négy első hengert egy völggyel jobbra. A gumiszalag ezt megengedi. A szomszédos néhány henger kimozdul szabályos helyzetéből: ritkulás keletkezik. A ritkítás körül feszültség támad a gumiszalagban. Az ábrán ezen a szakaszon a felső sorban most négy henger tölt be annyi helyet, mint az alsó sorban öt henger. Azt a szakaszt, ahol az atomok rácsrendje ilyen noniuszszerűen hibás, diszlokációnak (a Taylor-féle vonalas diszlokációs front egy elemének) nevezik.

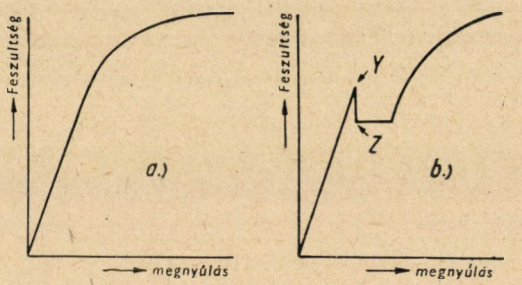
Nyomjuk meg ezek után újból a felső hengersor bal végét. De csak egészen gyengén. A ritkított szakasz, vagyis a diszlokáció, az enyhe nyomással, vagyis a csúsztatófeszültséggel *szembe* elindul és végigvonul a hengersoron (17*c* ábra). A felső hengersorban *egymás után* minden henger lép egyet jobbra és egy hengerátmérővel jobbra helyezkedik. Ily módon az egész felső hengersort odébb csúsztattuk egy lépéssel anélkül, hogy az egésznek *egyidejű* elmozdításához szükséges nagy erőt alkalmaztuk volna.

Ilyen diszlokáció sem egyéb, mint egy üres rácshely, hiszen a rácshiba helyén az alsó sor 6 atomja fölött csak 5 atom található, vagyis egynek a helye üres. Látjuk mindebből, hogy a mechanika művelői és a fizikusok milyen nagy jelentőséget tulajdonítanak a képlékeny alakváltozásban az üres rácshelyek bizonyos rendszerének. Ha elfogadjuk ezt a nézetet, olyan modellhez jutunk, amellyel értelmezni tudjuk igen kis koncentrációban jelenlevő idegen atomok befolyását a maradó alakváltozásra és egyéb technológiai tulajdonságokra. Jól megvilágítja ezt a következő példa.

6

Szennyezőatomok szerepe a felső folyási határ (yield-point) előidézésében

Az olyan igen tiszta vasdrótoknak a szakítódiagramját, amelyekben kevesebb a széntartalom 0,0001%-nál (tehát kevesebb 10^{-6}-od résznél), a 18*a* ábra szemlélteti. De ha a széntartalom csak valamivel több ennél, pl. 0,0003%,



18. ábra. Egészen tiszta vas szakítódiagramja és kb. 0,0003% C-et tartalmazó vas felsőfolyáshatár-jelenséget szemléltető szakítódiagramja

akkor a szakítódiagram a 18*b* ábra szerint alakul. Ezt a jelenséget a közelmúltban igen részletesen tanulmányozták [54] és arra az általános érdekességű megállapításra jutottak, hogy a felsőfolyáshatár (Y) azzal alakul ki, hogy a szénatomok, amelyek valamivel nagyobbak, mint a vasatomok között rendelkezésükre álló helyek, a diszlokációk ritkított szakaszaiba diffundálnak, mert ott jobban elférnek. Ezzel a diszlokációk kimozdítását nyugalmi helyzetükből megnehezítik. Ahhoz, hogy ilyen diszlokációt a szénatom atmoszférájából kimozdítsunk, nagyobb csúsztatófeszültségre van szükségünk, mint a szénatom-környezetből kiszabadult diszlokáció tovább mozgatásához (Z).

A felső folyási határt illető hasonló jelenségeket más fémeken is észleltek. Gyakran a fémrácsban oldott nitrogén váltja ki ezt a jelenséget, amelyet a Cd, Zn, β-sárgaréz és Mo fémeken tanulmányoztak részletesebben. TÚRY P. és KRAUSZ (KERÉNYI) I. már 1936-ban leírták [62], hogy igen tiszta molibdén-

drót tiszta nitrogénben izzítva több-kevesebb nitrogént old, ezért törékeny lesz és felsőfolyáshatár-jelenséget mutat.

Mindez alaposan alátámasztja azt a gondolatot, hogy már igen kis szennyezések is azáltal módosítják a fémek alakíthatóságát, hogy gátló kapcsolatba lépnek a diszlokációkkal.

Milyen koncentrációban tartalmaznak diszlokált rácshelyzeteket a valóságos fémkristályok? A legjobb mérlegelések és meghatározások szerint [45, 46] jól kilágyított fémtestben 1 cm^2 felület kb. 10^8 diszlokációs frontot metsz. Egy-egy front átlagosan 10^4 atomtávolságra terjed. Ebből a legerősebben diszlokált atomok koncentrációjára $10^{16}/cm^3$ érték számítható. Ez az összes atomoknak 10^{-7}-ed része. Másrészt a felsőfolyáshatár-jelenségek szerint is és a mi itt kifejtett wolfram vizsgálataink szerint is bizonyos idegen atomok kb. 10^{-6} koncentrációban erősen módosítják a technológiai tulajdonságokat. Ebben a kiváló nagyságrendi illeszkedésben megerősítését láthatjuk a kis szennyezések hatásáról kialakított nézeteinknek.

7

Kismennyiségű idegen atomok hatása a polikristályos fémtestek mechanikai—technológiai tulajdonságaira

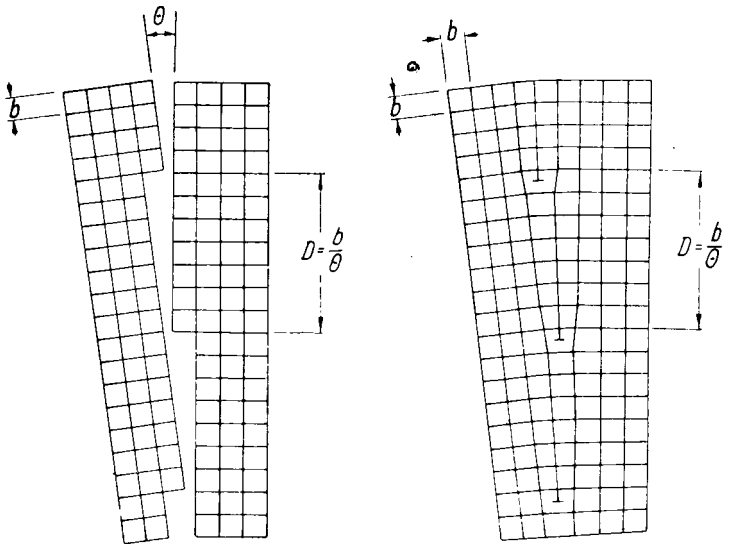
Nem távolodtunk-e el ezekkel a fejtegetésekkel túlságosan a wolfram technológiájának kutatási kérdéseitől a fémtechnológia általános kérdései felé?

Mit is tettünk eddig? Foglalkoztunk a porkohászati wolframfém adalék-nyomainak és a wolframdrót hasznos tulajdonságainak összefüggésével és megállapítottuk, hogy a kristályosodás és rekrisztallizáció alakulását a fémrácsban oldott egyes idegen atomfajták kombinációi kb. 10^{-6} koncentrációban szabják meg. Továbbá kimutattuk, hogy a kis szennyezések, a kristályhatárok esetleges mechanikai szennyezésén kívül, ugyanezen a kombinációs effektuson keresztül gyakorolnak hatást a wolframfém mechanikai—technológiai tulajdonságaira és felismertük a szennyezőatomok 10^{-5}—10^{-7} koncentráció-tartományának jelentőségét a többi fém számára is.

Az előzőkből azonban talán nem eléggé világlik ki az, hogy érvényesek-e ezek a megállapítások a *polikristályos* vagy éppen a *megmunkált polikristályos* fémtestekre is? Hiszen ezekben annyi krisztallit-határ, mozaik-határ, sőt rosthatár stb. van, hogy tulajdonságaikat nem is annyira a rács sajátságai, mint inkább a határok viselkedése szabja meg. Nincsen-e nagyobb jelentősége a határok viselkedésében a szennyezések kis krisztallitjainak, azaz a régi értelemben vett interkrisztallin szennyezéseknek (zárványoknak), mint a rácsban oldott idegen atomoknak?

Nem kétséges, hogy a határok mechanikai szennyezései — *ha számuk jelentékeny* — erősen csökkenthetik a megmunkálhatóságot. Magunk is emlí-

tettük, hogy ha pl. zsugorodó wolframrúdból kioldjuk vagy elpárologtatjuk a határok szennyezéseit és olyan fémtestet állítunk elő, amelyben szennyezőatomok már csak 10^{-6} koncentrációban vannak, akkor amellett, hogy a GK jó tulajdonságok rúd- és drótalakban egyaránt megmaradnak, a megmunkálhatóság lényegesen megjavul. Ezt az interkrisztallin szennyezések eltávolításának tulajdoníthatjuk. Az ilyen GK-fém megmunkálhatósága azonban még mindig meg sem közelíti a már ismertetett KAl-fém kitűnő megmunkálhatóságát.



19. ábra. Kis orientációkülönbséggel érintkező kristályrácsrészletek találkozásánál kialakuló és szabályos távolságokban ismétlődő diszlokációs helyzetek

A rácsban oldott bizonyos fajta idegen atomoknak talán ugyanolyan képlékenységet csökkentő hatása van a krisztallithatárokra, mint a diszlokációkra?

Vegyük szemügyre, milyen az atomok elrendeződése két olyan krisztallit határán, amelyeknek orientációja nem nagyon különböző. A 19. ábrán láthatjuk, hogy egy ilyen határon a legnagyobb hiányosságú vízszintes sorok $D = \frac{b}{\Theta}$ távolságban szabályosan követik egymást. (Itt b a rácsállandót, Θ pedig az érintkezőt két rácsrészlet orientáció különbségét jelenti radiánokban.) Közvetlenül felettük legszorosabb zárkózású vízszintes sorok találhatók. Együttesen nem egyebek ezek, mint kissé hajlott, vízszintes vonaldiszlokációk a maguk összetartozó atomritkulásaival és sűrűsödéseivel. A polikristályos fémtestek krisztallithatárai mai nézeteink szerint jórészt ilyen diszlokáció-elemek frontjaiból állanak [45, 46]. Ezeket éppen úgy gátolhatják elmozdulásukban mindazok az idegen atomok, amelyek felkeresik őket és hozzájuk kapcsolódnak,

mint a krisztallitok belső diszlokációit. A szennyező atomok és kombinációik deformációt akadályozó hatása a krisztallithatárokon tehát ugyanúgy jelentkezhetik, mint a krisztallitok belsejében (deformált és nem deformált fémtestekben egyaránt). Nem kétséges, hogy egyes szennyezőatomfajtáknak polikristályos testek képlékenységét csökkentő hatása részben ezzel a diszlokációkat rögzítő hatással is magyarázható.

Szerintem azonban bizonyos idegen atomfajtáknak nem ez a leglényegesebb deformálást nehezítő hatása. A vonaldiszlokáció nem olyan egyenes vonalú képződmény, mint ahogy azt a túl egyszerű 17. ábra szemlélteti, hanem természeténél fogva inkább a 19. ábrának megfelelően kissé ívelt [45, 46], akár a krisztallit belsejében, akár a határon van. Ezenfelül amiközben egy vonaldiszlokáció a csúszósíkban végighalad, minden egyes atom (pl. valamely pillanatban a 17*a* ábra 6. jelzésű atomja) a diszlokációban való részvételkor eredeti egyensúlyi helyzetéből oldalirányban és felfelé kimozdulva pontosan az alsó atomsor egy atomja fölé kerül (17*b* ábra), majd a diszlokált helyzet továhaladtával eredeti egyensúlyi helyzetétől egy rácstávolsággal odább fekvő egyensúlyi rácshelyzetbe jut át (17*c* ábra). Eközben az atom összes szomszédjaival, tehát az alsó sor „átlépett" atomjaival is állandó összefüggésben, azaz fémes kötésben marad, amiből következik, hogy kapcsolatának iránya, amely az alsó sor „átlépett" atomjához fűzi, az adott esetben 60°-kal megváltozik. Ezek miatt a szomszédos atomok kapcsolata kénytelen akkor, amikor a maradó alakváltozások folyamán a rácssíkokon diszlokációk haladnak végig, csuklószerű mozdulattal irányt változtatni. A fémes kötés természete olyan, hogy a fémkristályok atomjai képesek erre, hiszen a fémek alakíthatók, és ez a diszlokációktól függetlenül is annyit jelent, hogy atomjaik kapcsolata csuklószerűen más irányba terelhető anélkül, hogy megszakadna, meggyengülne vagy érdemleges ellenállást fejtene ki ez ellen. Más szóval: a fémes kötés többé-kevésbé gömbszimmetrikus. A szomszédokhoz kapcsolódó kötésirányoknak erre az egymástól független, jelentős változtatására azonban szerintem nem minden atomfajta képes. Úgy képzelem, hogy ha a 19. ábra ⊥ -tel jelzett helyén (a diszlokációban) olyan idegen atom ül, amely gömbszimmetrikus vegyértékfunkciójú $(s)^1$, $(s)^2$ vagy $(s)^2(p)^1$ vegyértékelektron csoportokkal vesz részt az alapfém elektronseregében, és ezzel szükség esetén maga is iránytól független vegyértékműködésre képes, akkor ezek az 1, 2 vagy 3 vegyértékű idegen fématomok (pl. K, Be, Al) csuklósan alkalmazkodó kötésükkel alig jelentenek akadályt a diszlokációk továbbhaladásában, a krisztallithatárok odábbtolódásában avagy keletkezésében. A deformálással szemben szerintem ellenállást az jelent, ha a ⊥ -tel jelzett helyen olyan atom ül, amely kapcsolódásában általában *egynél több p-elektront működtet*, mint pl. az O^{II}, S^{II}, N^{III}, P^{III}, As^{III}, C^{IV}, Si^{IV}, Sb^{V} stb. atomok, mert a p-elektronok pályáinak *egymásra* merőleges iránykényszere miatt ezek csuklózó vegyértékműködtetésre nem képesek. Világítsuk meg ezt példákkal.

Ha valamely fémrácsban egy Al^{III} atomot $1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^1$ elektron szerkezetének megfelelően 3 vegyértékelektronja fűzi egyidejűleg több szomszédos fématomhoz, akkor a két 3s elektron, s-funkciója gömbszimmetrikus lévén, nem akadályozója a kötések irányváltozásának, de nem akadályozója ennek a nyújtott p-funkciójú egyetlen 3p elektron sem, mert ez *bármerre* irányulhat a térben és így gátlás nélkül követheti a hozzákapcsolódó szomszéd atom diszlokációs helyzetváltozását.

Ha azonban az Al^{III} atom helyén egy $1s^2$, $2s^2$, $2p^3$ elektronszerkezetű N^{III} atom ül, akkor ennek kapcsolatait a szomszéd atomokhoz 3 p-funkciójú elektron tartja fenn, ezek pedig mindig merőleges magatartásra kényszerülnek a p-funkció természete folytán. Az ilyen elektronok által kifejtett kapcsolatok — vagyis általában az egynél több p-elektront működtető kapcsolatok — egymáshoz viszonyított iránya csak kényszerítve követheti — ha egyáltalán követi — azokat az egymáshoz viszonyított irányváltozásokat, amelyeket a diszlokációk haladása az atomok kapcsolatától megkövetel, és ezzel nehezíti vagy akadályozza a képlékeny alakítást.

Valószínűleg ez az oka annak, hogy a legtöbb tiszta fém képlékenységgel összefüggő tulajdonságai oxigénnyomokra olyan érzékenyek, valamint annak is, hogy éppen a felsorolt idegen atomok és analóg társaik azok, amelyek még pl. 10^{-5} koncentrációban is közismerten törékenységet okoznak egyes fémekben. A törékenységet szerintem nem azzal okozzák, hogy oxid, szulfid stb. zárványokat alkotnak a krisztallithatárokon, hanem azzal, hogy lekötik a diszlokációkat. Ismeretes, milyen csekély az az S vagy P koncentráció, amely a vasban, vagy az az As koncentráció, amely a rézben, vagy az a N koncentráció, amely a molibdénben már törékenységet okoz. Olyan koncentrációk ezek, amelyeknél a krisztallithatárokon még csak elvétve találunk egy-egy zárványt. Szerintem nem ezek a zárványok az okozói a törékenységnek. Jelenlétük csak indikálja azt a tényt, hogy a diszlokációk (a krisztallithatárokon is!) már telítve vannak szennyező atomokkal. A törékenység fennállhat akkor is, ha zárványokat egyáltalán nem látunk. A törékenység megszüntetésére nem annyira a zárványoktól kell a krisztallithatárokat megszabadítani, mint inkább a szennyezőatomokat a diszlokációktól elvonni.

Így válik érthetővé, miért lehet a rezet szinte mézszerűen nyújthatóvá tenni néhány tizedszázalék litium hozzáötvözésével: a litium elvonja az oxigénatomokat a diszlokációkról, erre megjavulnak a nyúlási sajátságok, és nem rontják ezt sem a Li_2O-zárványok, mert szórványos jelenlétük nem döntő tényező, sem a felesleges Li-atomok, mert csuklózó kötésre képesek. Így érthetjük meg, miért lehet $\leq 0{,}05\%$ oxigéntartalmú törékeny öntött molibdénfémet 0,4% Al hozzáötvözésével megmunkálhatóvá tenni [55]. Az ilyen oxigéntartalmú, de egyébként igen tiszta fém törékeny és krisztallithatárain MoO_2 zárványok találhatók. Al-ötvözés után azonban alakítható, bár most meg Al_2O_3-zárványok vannak benne. Nem a zárványok ilyen vagy amolyan össze-

tétele a döntő tényező itt, hanem az, hogy az Al-atomok eltávolítják az O-atomokat a diszlokációkból, a fölöslegben maradó Al-atomok pedig csuklózó kötésre képesek, nem úgy, mint az O-atomok. GILLEMOT L. hívta fel figyelmemet arra a körülményre, hogy pl. 0,18% C-tartalmú titánnal ötvözött acélban a széntartalomra számított négyszeres Ti-tartalom környékén meglepően kicsiny (13—14 kg/mm^2) folyási határ jelentkezik [61], talán éppen azért, mert ilyen arányok esetén a titán a széntartalmat annyira leköti, hogy még a diszlokációkról is elvonja a szénatomokat.

Mit jelent mindez a wolframkutatás számára. Jelenti többek között azt a felismerést, hogy a tiszta wolframfém és a KAl-fém szinte azonos jó megmunkálhatóságának az a magyarázata, hogy a KAl-fém idegen atomjai, a K- és Al-atomok, csuklózó kötésre képesek, a GK-fém nehezebb megmunkálhatósága pedig onnan ered, hogy „merev" Si^{IV} atomok nyomai is vannak benne. Lehetséges, hogy ezek nemcsak a fémmegmunkálás 1500 C°—700 C° hőmérséklet-szakaszában nehezítik a diszlokációk mozgását, hanem nagymértékben hozzájárulnak ahhoz is, hogy a nagykristályos GK-izzóspirálok pl. 2500 C°-on ezer órán át is mereven megtartják eredeti alakjukat, azaz nem mutatkozik bennük tartós folyás, vagy más szóval „creep" jelenség. Ennek az érdekes kérdésnek tanulmányozása folyamatban van.

*

Könnyen úgy tűnhetik fel, mintha ezek a gondolatok a tudományos kutatás és annak gyakorlati alkalmazása keretein alaposan kívül esnének. De ez nincsen így. Ilyen gondolatok nagymértékben elősegítik a kutatást, mert sokszor hasznot hajtó következtetésekhez vezetnek, és igazolásuk vagy megcáfolásuk közben új észlelésekre is alkalmat adnak.

Ha a krisztallithatárok szennyezőatomjainak csuklózó vagy merev viselkedéséről alkotott új nézeteinkről ezt ma még nem is mondhatjuk el, az kétségtelen, hogy az a nézetünk, amely szerint a jelenlegi wolframfémekben a szennyezések csak egy igen kis hányada idézi elő a hasznos technológiai tulajdonságokat és hogy ez a kis részlet atomdiszperzen van elosztva a rácsban és a krisztallithatárokon: ez a feltevés már igen hasznos wolframtechnológiai eljárásokhoz vezetett. A wolframrudak hosszú zsugorítása porózus állapotban [44] és a redukció folyamán WO_2 összetételnél alkalmazott alapos keverés [59] két olyan új technológiai eljárás, amely egyrészt feltevéseinkből származik, másrészt már jelenleg is jelentős megtakarítást és minőségi hasznot jelent a vákuumtechnikai iparban.

De ha nem a praktikum szemszögéből, hanem főképpen a természettudományos megismerés terén elérhető előrehaladás szempontjából vesszük szemügyre a wolframkutatás mai állását, akkor legyen szabad itt néhány olyan sokat ígérő vizsgálati területre felhívni a figyelmet, amelyek ugyancsak szoros össze-

függésben vannak nemcsak eddig végzett kísérleteinkkel, hanem hipotéziseinkkel is.

Azt hiszem, a W- és Mo-oxidok vízgőzös illékonyságának olyan vizsgálata, amely a gáztér elektrondiffrakciós tanulmányozását is magában foglalná, felderíthetné azt az alapvető kémiai kérdést, milyen kapcsolat van magashőmérsékletű gáztérben a H_2O és az oxidmolekulák között.

Úgy gondolom, hogy az ún. Robinson-kísérleteink folytatása — amelyekben izzó wolframszálak rekrisztallizációs folyamatai saját elektronemissziójukkal leképezve figyelhetők meg — értékes felvilágosítást adhatnak majd arról, miképpen keletkeznek és növekednek rekrisztallizációkor a wolframkristályok és milyen különbség van e tekintetben a különféle adalékanyagokkal készült wolframdrótok között.

Nem kétséges, hogy a β-wolframfém tömeges előállítására és redukcióban viselt szerepének tisztázására irányuló termogravimetriás, termoanalitikai és röntgenvizsgálatok gyakorlati értékük mellett nagy nemzetközi figyelmet is keltenek és kelthetnek még ezután is ezen a már lezártnak hitt területen.

De éppen így rendkívül érdekes lenne általános metallográfiai szempontból is és wolframtechnológiai szempontból is, ha felderíthetnénk — pl. mikroszikrás spektroszkópos analízissel stb. —, hogy az öntött fémek krisztallithatáraihoz hasonlóan a rekrisztallizációban keletkező kristályhatárok is akkumulációs helyei-e bizonyos szennyezéseknek vagy sem. Más szóval: van-e szegregáció a rekristallizációs kristályképződésnél is?

Folytathatnám az érdekesnél érdekesebb kérdések felvetését. De mivel ezek szinte önként kínálkoznak, befejezésül talán csak annyit legyen szabad mondanom: örömmel töltene el, ha előadásommal legalább részben sikerült volna bemutatnom, hogy a hazai wolframkutatásnak gyakorlati célkitűzései mellett mindig voltak és ma fokozott mértékben vannak tudományos célkitűzései és törekvései is.

IRODALOM

1. Just S. és Hanaman F.: Magy szab. 34 541 (1904) és Angol szab. 23 899 (1904).
2. Coolidge: Angol szab. 23 499 (1909).
3. Pacz Aladár: USA szab. 1 410 499 (1920).
4. Langmuir, I.: A. J. E. E. Journ. *32*, 1931 (1913). USA. Pat. 1 180 159 (1916).
5. Tarján I. és Túry P.: Magy. Szab. 91 980 (1924).
6. Millner T. és Túry P.: Magy. szab. 106 268 (1933). USA szab. 2 012 825 (1935).
7. Abegg, R. Auerbach, Fr.: Handbuch der anorganischen Chemie Bd. IV., Abt. 1, 2. Hälfte, S. Hirzel, Leipzig, 1921.
8. Alterthum, H.: Wolfram. Fortschritte in der Herstellung und Anwendung in den letzten Jahren. F. Vieweg. Braunschweig. 1925.
9. Zwikker, C.: Physische eigenschappen van Wolfram bij hooge temperaturen. (Doktori értekezés) Amsterdam. 1925.
10. Lax, E. Pirani, M.: Wolfram. G. Gelhoff, Lehrbuch der technischen Physik. Bd. III. J. A. Barth, Leipzig, 1929.
11. Gmelińs Handbuch der anorganischen Chemie. VIII. Aufl. Wolfram. System-Nummer 54 (Verl. Chemie, Berlin) 1933.

12. FORSYTHE, W. E. ADAMS, E. Q.: The tungsten filament incandescent lamp. Denison University Bulletin. Journ. Scient. Lab. Vol. XXXII, USA. 1937.
13. LI, K. C. WANG, C. J.: Tungsten. Reinhold Publishing Corp. New-York, 1943.
14. MILLNER T. és TÚRY P.: Wolframgyártás. A Mérnöki Továbbképző Intézet kiadványa XXVI. kötet, 42. füzet, 1944.
15. B. I. O. S.-Report No. 1431. (1945). Tungsten and Molybdenum Metallurgy of Japan.
16. B. I. O. S.-Report No. 962. (1945) H. R. WILLIAMS: Production of tungsten wire and processing of Scheelite.
17. B. I. O. S.-Report No. 684. (1945). J. S. HARRISON, H. WILLIAMS, R. W. REES: Production of Molybdenum and Tungsten for Radio Valves and Electric Lamps. Metallwerk Plansee, Reutte.
18. F. I. A. T.-Report No. 413. (1945) D. E. TESEN: Report on Tungsten and Molybdenum Wire.
19. SMEATON, T. F.: Tungsten: Its Preparation for Use in Electronics and Carbide Products. The Institution of Mining and Metallurgy. The Refining of Non-Ferrous Metals. Proceedings of a Symposium held in London in July 1949. P. 367—390.
20. SMITHELLS, C. J.: Tungsten (II. Edition 1936), III. Edition. 1952. Chapman and Hall. London.
21. GEE, C. C.: Fine Tungsten and Molybdenum Wire for Electron Tubes. The Wire Industry Vol. 20. (1953) I. 977—981, II. 1075—1080.
22. AGTE, C. VACEK, J.: Wolfram a Molybden. Praha, 1954. Státni Nakladatelstvi Technické Literatury.
23. MILLNER T.: Beszámoló a wolfram területén végzett kutatásokról. M. T. Akad. Műszaki Tud. Oszt. Közleményei. XVI. 1. sz. 99—109. 1955.
24. BRIGHT, A. A. JR.: The electric-lamp industry. Mc Millan Co. New-York. 1949.
25. MILLNER T. NEUGEBAUER, J.: Volatility of the Oxydes of Tungsten and Molybdenum in the Presence of Water Vapour. Nature. *163*, 601—602. (1949).
26. HUTCHINSON, C. A. MALM, F. G.: J. Am. Chem. Soc. *71*, 1338 (1949).
27. MILLNER T., NEUGEBAUER J.: Még közzé nem tett megállapítás.
28. MILLNER T.: Die colorimetrische Aluminiumbestimmung mittels Eriochromcyanin-R. I. Die Grundlagen. Z. anal. Chem. *113*, 83—102. 1938.
29. MILLNER T. und KÚNOS F.: Die colorimetrische Aluminiumbestimmung mittels Eriochromcyanin-R. II. Teil. Die Methode. Z. anal. Chem. *113*, 102—119. (1938).
30. MILLNER T.: Kolorimetriás alumíniummeghatározás eriochromcyanin-R-rel. Magy. Tud. Akad. Értesítője LVII. 584. (1938).
31. MILLNER T. és KÚNOS F.: Alumíniumnyomok meghatározása wolframsavban és wolframfémben. Magy. Kém. Egy. Közlemények, 68 — 75. (1939).
32. MILLNER T. és NEUGEBAUER J.: Kis mennyiségű szennyezések kolorimetrikus meghatározása wolframban. Magy. Kém. Folyóirat *57*, 321—330. (1951).
33. NEUGEBAUER J., HEGEDÜS A. és DVORSZKY M.: Még közzé nem tett tanulmány. 1954.
34. NEUGEBAUER J.: „Wolframsav előállítása wolframitércből szublimációs úton." Még közzé nem tett tanulmány. (1953).
35. KOPELMAN B.: Some Factors Affecting Particle Size of Hydrogenreduced Tungsten Powder. American Institute of Mining and Metallurgical Engineers Technical Publication. No. 2100. (1946).
36. KOPELMAN B.: Nature of Metal Powders Prepared by Reduction of Oxydes. W. E. Kingston. The Physics of powder Metallurgy (Symp. 1949). Chapter 18. P. 303—310. Mc. Graw-Hill. New-York. 1951.
37. HEGEDÜS, A. J. MILLNER, T. NEUGEBAUER, J. SASVÁRI K.: Thermo- und röntgenanalytischer Beitrag zur Reduktion des Wolframtrioxyds. Z. anorg. allg. Chem. *281*, 64—82. (1955).
38. FUNAKI, K. ASADA K.: J. electrochem. Soc. Japan, *18*, 250. (1950).
39. FUNAKI, K. OGAWA T.: J. electrochem. Soc. Japan, *18*, 198. (1950).
40. PETCH, N. J.: Nature, *154*, 337. (1944).
41. ROOKSBY, H. P.: Nature, *154*, 337. (1944).
42. CHARLTON, M. L. DAVIS, G. G.: Allotropes of Tungsten. Nature *175*, 131. (1955).
43. COLLENBERG, O. SANDBERG B.: Katalytisk reduktion av wolframtrioxid med väte. Svensk Kemisk Tidskrift. *53*, 192—201. (1941).
44. MILLNER T., NEUGEBAUER J.: Eljárás wolframfém-porból készült fémtestek egyenletességének fokozására stb. Magy. szab. 143 027. (1954).
45. COTTRELL, A. H.: Dislocations and Plastic Flow in Crystals. Oxford, Clarendon Press, 1953.
46. READ, W. T.: Dislocations in Crystals. Mc. Graw-Hill, London, 1953.

47. SASS L. és MILLNER T.: Még közzé nem tett vizsgálatok (1953).
48. MILLNER T. és SASS L.: Acta Technica Hung. 1957 (megjelenés alatt).
49. REJTŐ SÁNDOR: Az elméleti mechanikai technológia alapelvei és a fémek technológiája. II. kötet. (1924).
50. MILLNER T., SASS L.: Még közzé nem tett vizsgálatok (1954—1955).
51. FRENKEL, J. J.: Bevezetés a fémek elméletébe. Akadémiai Kiadó, Budapest 1951.
52. UMANSZKY, J. Sz. FINKELSTEIN, B. H. BLANTER M. E.: A metallográfia fizikai alapjai. Akadémiai Kiadó, Budapest 1952.
53. ANDRADE, E. N. DA C.: The physics of the deformation of metals. Endeavour, IX. 1950. 165.
54. NABARRO, F. R.: Mechanical effects of carbon in iron. Report of a Conference on Strength of Solids. The Physical Society, London 1948.
55. Angol szab. 741 360 (1955).
56. VERŐ JÓZSEF: Általános metallográfia II. A fémek és ötvözetek tulajdonságai. Akadémiai Kiadó, 1956.
57. MOTT, N. F.: Nature *171*, 234 (1953).
58. MILLNER T.: A diszlokációk és a fémek technológiai tulajdonságai. Mérnöki Továbbképző Intézet, 2754. sz. 1954.
59. MILLNER T., NEUGEBAUER J.: Eljárás wolframfém-porból készült fémtestek egyenetlenségének fokozására a redukció közben WO_2 összetételnél alkalmazott keverés által. Találmányi bej. EE-224 (1954).
60. HARTMANN, K. EBERT F., u. BRETSCHNEIDER, O.: Z. anorg. allg. Chem. *198*, 116 (1931).
61. GILLEMOT LÁSZLÓ: M. Tud. Akad. Műsz. Oszt. Közleményei X. 231. (1953).
62. TÚRY. P. KRAUSZ, S.: Effect of Molecular Nitrogen on Molybdenum at High Temperatures. Nature *138* 331 (1936).

ÖSSZEFOGLALÁS

A székfoglaló előadás évtizedes wolframgyártási gyakorlat és ezzel összefüggő kutatómunka alapján röviden ismerteti azoknak a tapasztalati és természettudományos ismereteknek nemzetközi és hazai fejlődését, amelyek a hazai wolframgyártás és wolframkutatás alapjául szolgáltak. Rámutat az 1945 előtt elért hazai eredményekre, majd ismerteti a vákuumtechnikai wolframfém előállításának és tulajdonságainak természettudományos kérdései terén 1945 után elért és legnagyobbrészt eddig még közzé nem tett eredményeket. A jelentősebb új felismerések a következők:

1. Az ismert wolframoxidok (pl. WO_3, W_4O_{11}, WO_2) 1000 C°-ig vákuumban vagy száraz közömbös gáztérben gyakorlatilag nem illók, vízgőz jelenlétében ellenben nagymértékben párologtathatók. Elsősorban a WO_2 vízgőzös illékonysága okozza azt a gyakorlati fontosságú jelenséget, hogy kis mennyiségű WO_3 redukciójakor nagyszemcséjű W-por keletkezik és a WO_3 adalékanyagaiból több-kevesebb a wolframszemcsékbe záródik.

2. Wolframrudak és wolframdrótok előnyös nagykristályos szerkezetét K, Si és Al adalékok visszamaradó nyomai egyenként vagy kettesével nem idézik elő, ehhez a három atomfajta együttes jelenléte szükséges a fémben. Ezek kedvező mennyisége a zsugorított fémben kb. 10^{-5} num. koncentráció körül vagy ez alatt van. A nagykristályos szerkezet kialakulásában nem annyira az interkrisztallin, mint inkább a rácsban oldott hatóanyag nyomoknak van szerepük. Félig zsugorított rudakból kioldhatók az interkrisztallin idegen anyagok anélkül, hogy a kristályosodóképesség leromlana.

3. Igen tiszta (és nem preparált) wolframrudakban nem fejlődik ki nagykristályos szerkezet.

4. Adalékos WO_3-ból készülő wolframporok szemcséi a redukció feltételei szerint különböző mértékben porózusak lehetnek azonos látszólagos szemcseméretek mellett is. A szemcseporozitás lényegesen elősegítheti az adalékanyagok szükséges mértékű kipárolgását zsugorításkor.

5. A WO_3 redukciója folyamán alacsony hőfokon β-wolfram keletkezik. Ennek a reakciója a még nem redukált oxidokkal α-wolframhoz és WO_2 képződéshez vezet a β-wolfram allotrop módosulatváltozásának kb. 650 C°-os hőmérsékletén. Ennek a folyamatnak szerepe van az idegen atomok és a főleg a K atomok beépülésére a wolframrácsban.

7. A wolframfémnél 10^{-4}—10^{-5} szennyezőatom-koncentráció körül jelen vannak már a nagy fémtisztaságra jellemző általános tulajdonságok (pl. alakíthatóság, jó vezetőképesség stb.), másrészt előtűnnek már a kristályosodóképességnek, rekrisztallizációnak, szilárdságnak stb. olyan új vonásai, amelyek csak jelentős fémtisztaság mellett bontakoznak ugyan ki, amelyeket azonban nem a tisztaság, hanem specifikus szennyezések igen kis nyomainak jelenléte vált ki.

8. A csak K és Al adaléknyomokat tartalmazó wolframdrótok sokkal jobban megmunkálhatók, mint pl. a K, Si és Al nyomokat, vagy K és Si nyomokat tartalmazók. A wolframdrótok egyes technológiai tulajdonságait azonban éppen úgy nem az egyes adaléknyomok, hanem azok kombinációi szabják meg, mint a kristályosodási tulajdonságokat.

9. A szakítószilárdság, a nyúlás és a kontrakció mérőszámai szobahőfokon és 800 C°-ig emelkedő hőmérsékleteken függetlenek attól, hogy K és Al, vagy K, Si és Al, avagy K és Si adaléknyomokat tartalmaz-e a wolframdrót.

10. A K és Al, valamint K, Si és Al adaléknyomokat tartalmazó 0,6 mm-es wolframdrótok Vickers-keménysége szobahőfokon egyaránt kb. 580 H_V. 800 C°-on ellenben a KAl-os drót keménysége csak 150 H_V, míg a KSiAl-os dróté 250 H_V. Ez egyik oka annak, hogy a KAl-os drót üzemi hőmérsékleten (kb. 850 C°-on) jobban megmunkálható, mint a KSiAl-os drót.

11. Első ízben nyert beigazolást, hogy 10^{-5} num. koncentrációban jelenlévő adaléknyomok jól mérhető módon változtatják a wolframfém technológiai tulajdonságait (pl. keménységét).

12. Kemény wolframdrótok nyúlása 400 C°-tól 20 C°-ig 1%-ról 3%-ra nő, kontrakciója pedig 80%-ról 20%-ra csökken. A nyúlásnak és kontrakciónak ilyen ellentétes hőfokmenetét az absz. olvadáspont 18%-ának és 8%-ának megfelelő hőmérsékletek között más fémeknél is megtaláltuk (így pl. Mo, Fe, 14 Mn 86 Fe, Cu stb. drótoknál). Mindez arra vall, hogy — ellentétben az általános felfogással — a nyúlás és kontrakció fizikai folyamata nem azonos, hanem egymástól eltérő.

13. A szennyező atomok kb. 10^{-5}—10^{-6} num. koncentrációjának valószínűleg azért van a wolframfémnél (és más fémeknél is) kiemelkedő jelentősége, mert a valóságos fémkristályokban a diszlokált atomok egyensúlyi koncentrációja szintén közel ilyen nagyságrendű, és a „tiszta" fémek technológiai tulajdonságai e két tényező kölcsönhatásától függenek.

14. Krisztallithatárok diszlokáció-rendszereit idegen atomok éppen úgy rögzíthetik, mint a krisztallitok belsejében lévő diszlokációkat. Főképpen az egynél több p-vegyértékelektront működtető atomok nehezítik a diszlokációk mozgását és ezzel együtt a megmunkálást, mert irányított vegyértékkapcsolataikkal merevvé teszik a diszlokációs frontot. Valószínű, hogy a K, Si és Al adaléknyomokat tartalmazó nagykristályos wolframspirálok magashőmérsékletű alaktartásukat a Si-atomok kimerevítő hatásának köszönhetik.

ELJÁRÁS ALUMÍNIUM SEGÉDÖTVÖZETEK ELŐÁLLÍTÁSÁRA MAGAS OLVADÁSPONTÚ ELEMEKKEL

F. ERDMANN-JESNITZER és K. H. ERLER, Freiberg/Sa

A FREIBERGI BÁNYÁSZATI AKADÉMIA METALLOGRÁFIAI ÉS ANYAGVIZSGÁLATI INTÉZETÉNEK KÖZLEMÉNYE

[Beérkezett 1956. április 29-én]

Bevezetés

Ebben a dolgozatban új eljárás leírását adjuk, amelyet F. ERDMANN-JESNITZER dolgozott ki. Ez az eljárás olyan alumíniumötvözetek, különösen segédötvözetek előállítására látszik alkalmasnak, amelyek olvadáspontja magasabb, mint az alumíniumé. Az eljárást előzőleg laboratóriumi viszonyok között próbálták ki. A félüzemi körülmények közötti kipróbálás, amelynek célja a gyakorlatba való átvitel, folyamatban van. A szabványos ötvözeteknek számos és többnyire különleges esetekre kell ötvöző elemként magas olvadáspontú alkotókat tartalmazniuk, ha csak nyomokban is (pl. Al—Mg-ötvözetekben Cr—Mn vagy egyéb magas olvadáspontú járulékos elemek a feszültség okozta korrózió kiküszöbölésére, a szilárdság és különösen a rekrisztallizációs hőmérséklet fokozására ; Al-ötvözetek szemcsefinomítóval stb.). Ezek a laboratóriumi kísérletek azért alkalmazhatók azonnal a gyakorlatban ötvözetek előállítására, mert éppen a magas olvadáspontú elemeket, a részünkről is vizsgált nikkel kivételével, általában csak csekély százalékban adagolják különleges hatások elérése céljából. Éppen ezért a gyakorlatban is aránylag kis mennyiségeket használnak ezekhez a segédötvözetekhez.

F. ERDMANN-JESNITZER már 1939-ben vetette fel a gondolatot, hogy az alumíniumbázison magas olvadáspontú ötvözőanyagok segítségével képzett segédötvözeteket az eddiginél ésszerűbben kell előállítani, különösen az olvasztási idő csökkentésével. Nemcsak azért, mert különleges többalkotós alumíniumrendszerek, azaz két-, három- és többalkotós rendszerek vizsgálatához minél tisztább, tehát lehetőleg szennyezésmentes segédötvözeteknek kell a főolvadék előállításának alapját képezniük, hanem az üzemi gyakorlatban, alumíniumötvözetek előállításakor is, sokszor kell kiküszöbölni a nem kívánatos kísérő anyagokat korrózió-kémiai okokból. Az említett esetekben már a kiindulási anyagnak, például az alumíniumnak, valamint a segédötvözethez szükséges kiindulási nyersanyagnak technikailag lehetőleg tisztának kell lennie. Egy sor ötvöző fémet, mint például szilíciumot, mangánt, krómot stb. nem lehet, mint például az acélkohászatban, több-kevesebb vastartalmú ferroötvözetek alak-

jában használni, minthogy alumíniumötvözetekben a vas rendszerint nem kívánatos elem. Ennélfogva az alumíniumbázisú segédötvözetek előállításának főként két módját fejlesztette ki a gyakorlat arra az esetre, ha az ötvözet nem képződik már az elektrolízis alkalmával. Az egyik esetben tiszta, gyakran elektrolízissel leválasztott fémekből indulnak ki, amelyeket az alumíniumolvadékba bekevernek ; ezek — az elemtől és az olvadásponttól függően — gyorsabban vagy lassabban olvadnak. A másik esetben például fémsókat alkalmaznak. Gyakran használják az ismert „Wöhler-reakciót" (fémkloridokat) ; azt az eljárást, amelyben az ötvözetben részt vevő anyagokat, azaz az alap- és az ötvöző elemet tűzfolyékony állapotban, kvantitatív adagolással keverik össze, itt nem tárgyaljuk. Ezzel szemben egyéb nehézségek adódnak az ötvözetben részt vevő anyagok olvadáspontjai közötti különbözetből, valamint a felszabaduló, gyakran jelentékeny reakcióhőből, amelyek hőmérsékletemelkedést és további elsalakosodást okozhatnak. De ez a módszer a most vizsgált magas olvadáspontú komponensek esetében amúgy sem válik be.

Elektrolízissel leválasztott, többnyire igen tiszta fémek alkalmazásakor az alumínium bázisolvadék és az ötvözőelem, például króm, nikkel, vanádium, mangán, titán, wolfram stb. olvadáspontjai közötti lényeges különbség az oka annak, hogy a segédötvözet olvadási ideje aránylag hosszú, minthogy a folyékony alumíniumot kezdettől fogva nem szabad erősen túlhevíteni, mert különben elsalakosodhatik, sőt részben elpárologhat. Amennyiben darabos ötvözőfémet adagolnak be, az alumíniumolvadékot előbb csekély mértékben túlhevítik és az ötvözőfém hozzáadása után folyamatosan növelik a fürdő hőmérsékletét az oldódás fokozódásának arányában. Így lehet például az alumínium—króm-olvadékot fokozatosan erősen túlhevíteni az alumínium párolgási vesztesége nélkül. A króm részesedésének növelésével növekedik a gőznyomás, ugyanakkor, a fokozódó hőmérséklettel, rohamosan gyorsul a bevitt ötvözőelem oldódása. Az ily módon előállított segédötvözetekkel aránylag hosszú olvasztási időre van szükség. Ugyanakkor szükségképpen tekintélyes mennyiségű hidrogén oldódik és ennek fölös mennyisége az öntés után is visszamarad. Különösen a megdermedéskor, oldottan és pórusok alakjában, már a segédötvözetben is előfordul. A segédötvözet bevitelével azután a fürdőbe és ily módon a végső ötvözetbe is belekerül. Olyan eljárásokat kell tehát előnyben részesíteni, amelyekben a segédötvözet előállítása rövid időt kíván, de mégis az ötvözet alkotórészeinek egynemű eloszlását biztosítják, és az alumínium meg a magas olvadáspontú járulékelem egyesítésére is alkalmazhatók.

Ha a megolvasztáshoz a Wöhler-reakciót használjuk, akkor — hogy a króm példájánál maradjunk — a krómkloridot nem szabad közvetlenül az olvadt alumíniumba keverni, hanem előzőleg teljesen el kell távolítani a kristályvizet. Ugyanez érvényes a mangánklorid és kristályvizet tartalmazó valamennyi fémsóra, ami a fémkloridoknál csaknem kivétel nélkül így van. Előbb tehát a krómkloridot külön olvasztják és ezzel a kristályvíz legnagyobb részét elpáro-

logtatják, amikor is az ismert színváltozások (zöld — rózsaszín) mutatkoznak. Ezután aprítják a regulust, majd igen óvatosan, darabonként keverik be a segédötvözet előállítására szolgáló alumíniumfürdőbe. A reakció hatására az alumíniumból illó alumíniumklorid keletkezik és az ötvöző krómfém az ötvözésre szabaddá válik. Ez az eljárás tehát nagy gondosságot kíván, minthogy a tégelyfalon visszamaradó nyúlós krómklorid-pép még nagyobb tégelyben is „befagyhat". (Így fennáll az a veszély, hogy a fürdő felszínén a gázok részére áthatolhatatlan réteg képződik, ha ti. nem gondoskodunk folyamatosan arról, hogy a krómklorid reakciója az alumíniumolvadékkal teljes legyen.) Ha ilyen tégely felülete befagyott, akkor, a befagyott takaró és a fürdő felülete között, nyomás alatt álló, gázhalmazállapotú alumíniumklorid keletkezik. Ekkor robbanás veszélye áll fenn. A Wöhler-reakció alkalmazása igen tiszta alu ínium segédötvözetek előállításához tehát igen gondos, üzemi szempontból gyakran nehézkes és nem gazdaságos munkát tesz szükségessé. Ebből következik, hogy a megfelelő segédötvözetek előállítását különböző okokból ajánlatos egyszerűsíteni.

Úgynevezett burokötvözésű acélelektródák hegesztésekor, a leolvadó magdrót ötvözése céljából F. Richter és F. Erdmann-Jesnitzer egészen más vizsgálatokból indultak ki. A csiszolat alapján megállapították, hogy a folyékonnyá váló elektródavég ötvözése lényegében már az elektródán, nem pedig a folyékony hegesztő fürdőben történik. Ennek figyelembevételével Erdmann-Jesnitzer azt a felfogást fejtette ki, hogy ekkor a gyors ötvözés — úgy ahogy burokötvözésű acélelektródák esetében megállapították — elvben alumínium vagy Fe, továbbá egyéb színes fém segédötvözetek előállítására is alkalmazható. Ezek szerint valamely előzőleg csak mérsékelten túlhevített (például alumínium) fürdő felületére megfelelő ötvöző alapanyagokat kell vinni, majd a felület hőmérsékletét ívfénnyel való pásztázás útján, helyileg hevíteni. Ugyanúgy, mint a burokötvözetű elektródák leolvasztásakor, az ötvözésnek itt is azonnal meg kell történnie. A burokból történő ötvözéskor, amit egyelőre főként acélelektródákon, nagy krómtartalmú, valamint nagy krómnikkeltartalmú és egyéb ötvözött acélok előállítására kipróbáltak, az ívfény katóda vagy anódafoltja a folyékonnyá váló cseppet a dróton helyileg nagyon erőteljesen és főként igen gyorsan melegíti fel. A folyékonnyá váló burokalapanyag eközben körülfolyja a cseppet, miközben az ötvözés már az elektróda oldalán megy végbe. Kiindulási anyagok lehetnek ilyenkor akár por alakban az elektróda burkolatába beadagolt tiszta fémek, ferroötvözeteik vagy részben fémoxidok ; ezek itt redukálódnak. Így például az ívfény magas hőmérséklete következtében a króm ferrokróm-alakban vihető az St. 37-magdrótolvadékba, más részről például nikkeloxidok is redukálhatók, megfelelő, a redukcióban részt vevő kiadós anyagok útján, miközben új nikkel kerül az olvadékba. Ilyen esetben a reakció lefolyása időben nem függ kizárólag a reakcióhőtől, hanem a folyékony fürdő felőli ívfény magas hőmérséklete, például a katódfolt magas

hőmérséklete is lényegesen gyorsítja a reakciót. Az olvadék felületét lokálisan erősen felhevítik. Ezzel — mint ahogyan ezt az ívfényhatással és ívfényhatás nélkül végzett kísérletek bizonyították — az ötvözés ideje lényegesen csökkent. Amikor már az ötvözőelem az olvadékban van, tapasztalat szerint gyorsan megy végbe a diffúziós kiegyenlítődés. Lényeges azonban a művelet kezdetének energetikai biztosítása, ami az ívfény melege révén könnyen elérhető. Nem járunk tehát tévúton, ha feltételezzük, hogy a szabaddá váló reakcióenergia és az olvasztófürdő kezdeti energiája között különbséget kell tennünk.

Alumíniumötvözetek előállításához ajánlatosnak látszott elsősorban beszerezhető kiindulási anyagokból kiindulni. Ezek általában a fémek oxidjai vagy szulfidjai, minthogy termodinamikailag ezek bonthatók el a legkönnyebben. Alumíniummal többnyire akkor redukálhatók, ha az oxigén és az alumínium vegyi affinitása nagyobb, mint az oxigén és a fémoxid fémjéé. Az olvadékban képződő Al_2O_3-felületi hártya süllyedése az olvadékban nem várható, minthogy a sűrűsége nem sokban tér el az alumíniumétól (Al_2O_3 : 3,9 g/cm^3, legtisztább Al : 2,7 g/cm^3). De különben az 1,2 g/cm^3 sűrűségkülönbözet az olvadék ötvözetének növekedésével fogy. Mielőtt a továbbiakban részleteiben foglalkoznánk a kísérleti berendezéssel, foglalkozzunk kissé a jelenlegi ismereteink rövid irodalmi áttekintésével.

Irodalmi áttekintés : Fémoxidoknak alumínium ötvözésére való felhasználását a múltban egészen más okok indokolták. Eleinte még nem álltak rendelkezésre tömör, főként pedig nagyon tiszta magas olvadáspontú fémek, és annak idején ezért eleinte fémoxidok használatára kellett szorítkozni. Ha jelenleg oxidokat használnak, akkor ez az ötvözetek előállítási idejének és költségének csökkentése, néha pedig a beszerzési nehézségek kiküszöbölése céljából is történik. Az alumínium előállítását követőleg (Oersted 1824) [1], Wöhler [2] nemsokára tulajdonságait, főként pedig krómmal és titánnal való ötvözhetőségét kezdte vizsgálni. A TiO_2—Na_3AlF_6 elegynek NaCl-al és KCl-al, mint folyósító anyaggal való redukálásakor, mintegy 1000 C°-on, titánt, alumíniumot és sziliciumot tartalmazó reakciósterméket kapott. A kísérleteket később F. Michel [3] tovább folytatta és wolfram-, molibdén, mangán-, vas- és nikkel-Al-ötvözetekre kiterjesztette. H. Moissan [4] különböző elektromos kemencéket szerkesztett ; kísérleteihez két szénelektróda között ívfényt létesített és a hőt sugárzással és konvekcióval hasznosította, de nem használta ki az áram elektrolitos hatását. Ötvözeteinek előállításához az alumínium és az oxigén affinitását vette alapul, amit többek között már Winkler is megállapított. A folyékony Al-fürdőre Al-reszelékből és redukálandó oxidból elegyet dobnak. Az Al-forgács egy részének elégése a fürdő felületén eközben olyan hőt fejlesztett, hogy még a legállékonyabb oxidok is redukálódtak. A hozzáadott fém folyamatosan ment az Al-olvadékba és növelte annak olvadáspontját. Ezzel az eljárással Moissan Ni-, Mo-, W-, Ti- és V-ötvözeteket állított elő. J. W Richards [5] beszámolt arról, hogy Langley Cr_2O_3-nak Al-fluorid olvadékba való

bekeverésével, olvasztott Al-hozzáadásával 2—3% krómtartalmú ötvözeteket állított elő. RICHARDS azt is közölte, hogy ajánlatos segédötvözeteket használni, mert ekkor nem kell az alumíniumfürdőt annyira túlhevíteni. Cr-mal és Mn-nal képzett Al-ötvözetekről G. HINDRICHS [6] (Zeitschrift für Anorg. Chemie 1908) is beszámolt. Utalt arra, hogy WÖHLER [7] krómkloridnak alumíniummal való redukálása útján állított elő Al-ötvözeteket. COMBES [8] oxidok helyett szulfidokat vagy kloridokat alkalmazott és WÖHLERhez hasonlóan megállapította, hogy a krómklorid hevesen reagál az alumíniummal. L. GUILLET [9] a Goldschmidt-féle eljárással állított elő Al Cr-ötvözeteket. Megjegyzi, hogy a reakció akkor jön létre, amikor a krómoxid és Al-por keverékét előzőleg 600 fokra melegítik.

A reakció gyorsítása céljából a krómoxidhoz J. OLIE JR. [10] adatai alapján előzőleg megolvasztott és porrá őrölt káliumdikromátot adtak. C. H. IVINSON [11] két módszert ismertet alumíniumötvözeteknek Cr-, Mn-, Mo-, Ti-, W- és egyéb ötvözőelemek segítségével való előállítására.

a) Ti- és Cr-oxidok redukálása Al-porral, magnezittégelyben,

b) a fém oxidjainak redukálása olvasztott alumíniummal. Ebben az esetben kriolitot és KCl—NaCl-t használtak folyósító anyagként.

FÖRSTER és GRUBE [12] a titán aluminotermikus előállítását vizsgálták és megállapították, hogy a báriumszuperoxid—magnézium gyújtókeverékek nem elegendők az elegyek gyújtásához. Az elegy csak 1 molekula TiO_2 és 1 molekula $KClO_3$, valamint az oxigén kötéséhez szükséges alumíniummennyiség hatására képez reakciót. Megállapították továbbá, hogy ha rutil Al közbenjöttével, a Goldschmidt-eljárás szerint redukálódik, nem állítható elő tiszta titán. Ilyenkor mindig Al-tartalmú ötvözetek keletkeztek. Minél kisebb az Al-tartalom, annál több hiány mutatkozott az elemzéskor, ami nyilván a titán valamely kis értékű oxidjának jelenlétével magyarázható. Ez azonban a redukált titánnal és az alumíniummal egyaránt fémes külsejű ötvözeteket képez. Itt azért érdemes megemlíteni a titánnak ezt a viselkedését, mert O. RUFF és W. MARTIN [13] vizsgálatai szerint a vanádium hasonlóan viselkedik. E. V. ERKELENS [14] megállapította, hogy a titán előállítása aluminotermikus úton a két komponensnek az oxigénnel való nagymérvű affinitása miatt lehetetlen. A TiO_2 redukálásával felszabaduló hő nem elegendő az 1700° olvadáspontú titán megolvasztásához.

GUILLET ezek után azt állítja, hogy aluminotermikus reakció mégis végbemehet, ha a tégelyt 600 fokra hevítik és gázhalmazállapotú oxigén hozzáadásával élénk reakciót indítanak meg. Állítólag még célszerűbb a gáz alakú oxigén helyett valamely olyan anyag (például $KClO_3$) hozzáadása, amely könnyen ad le oxigént. Ezt már GOLDSCHMIDT is közölte 1921-ben, "Beiträge zur Metallurgie" című művében.

K. GOLDSCHMIDT beszámolt H. GOLDSCHMIDT munkájáról, amelyben valamely fémoxidnak alumíniummal történő redukálásával foglalkozott.

Indító gyújtók és lehetőleg nagy helyi hőkoncentráció alkalmazásával, termiteljárással 3000—3500 C° hőmérsékletet is el lehet érni, amely nehezen olvasztható fémek olvasztására és hegesztésére hasznosítható. Az adott eljárásban az ívfény is hasonló „gyújtólabdacsnak" felel meg. V. ZSULEJKIN és K. ZOLOVOVA [16] különböző termitkeverékek elégésének időbeni lefolyását vizsgálta. Mindig sikerült ilyen úton alumínium és Cr-, Ni-, Mn-, Ti-, Mo- és egyéb nehezen olvadó fémek szénmentes ötvözeteit előállítania. E. T. RICHARDS [17] szerint azonban az ezzel az eljárással készült ötvözetek összetétele nagyon egyenlőtlen, ami a főötvözet vegyvizsgálatának találati biztonsága szempontjából hátrányos, amennyiben így állítanának elő segédötvözeteket. H. RÖHRIG [18] megállapította, hogy titán és alumínium közvetlen összeolvasztásakor a titán nagy része könnyen marad vissza olvasztatlanul, vagy pedig számolni kell az olvadék fokozott túlmelegedésével. Pedig éppen ezt kell elkerülni. Egy másik eljárás lényege, amelyet már W. MANCHET és A. LEBER [19], újabban pedig változott alakban A. PACZ alkalmaz, hogy kálium—titánfluorid és alumíniumforgács keverékét labdacsok alakjában az ötvözendő fürdőbe keverik. Ez elég forró legyen ahhoz, hogy a fémtitánná való átalakulás végbemehessen. Az alumíniummal csaknem tökéletesen ötvözhető elemek legteljesebb reakciója azonban végbemehet, ha azok oxidjait vagy a timföld az Al-elektrolizáló kemencék részére szolgáló egyéb alkalmas vegyületeit hozzákeverik. A TiO_2 ezzel az eljárással nehézség nélkül, maradéktalanul redukálódik, és az alumíniummal in statu nascendi képez vegyületet. Az irodalomban azoknak a közleményeknek a száma (lásd még W. L. FINK, K. R. HORN, P. M. PUDGE munkáit [20]), amelyek fémoxidoknak alumíniummal közvetlen ötvözet képzésére való felhasználásával foglalkoznak, aránylag nem nagy. Ennek oka valószínűleg az, hogy végeredményben az ötvözőfémek kellő mennyiségben, főként pedig megfelelő tisztaságban álltak rendelkezésre.

A második világháború óta azonban ez a helyzet általában már nem állt fent. Az egyik amerikai közlés egy pittsburgi tanácskozásról ad hírt, amelyen G. SOLER [21] az amerikai elektroacél bizottság előtt a csiszolópor, a gyorsacél-reve és az oxidanyag értékesítéséről számolt be. Kifejti, hogy scheelit vagy egyéb wolframércek, vanádium,- kobalt- és molibdénoxidok felhasználásával a ferroötvözet felhasználás jelentékenyen csökkenthető. Ezek az eljárások állítólag beváltak a gyakorlatban és az egyik acélgyár rozsdamentes acél előállításánál alkalmazza is. Elegendő mennyiségű és kívánt tisztaságú ércnek természetesen rendelkezésre kell állnia. A kihozatalról nem adtak ki jelentést.

Végül hivatkozunk a *DRP 803331* szabadalomra [22], amely szerint a szokásos eljáráshoz képest cirkonban dúsabb (például 5% cirkon tartalmú) alumínium—cirkon segédötvözet állítható elő, ha cirkondioxidot olvasztott alumíniumba visznek, 1000—1300 C°-ra hevítenek és abba klórgázt vezetnek, amivel hőtermelő reakciót idéznek elő.

Mindez három főeljárásban foglalható össze:

1. Az alumíniumolvadék ötvözése fémoxidok, kloridok vagy szulfidok, adott esetben Al-forgács hozzáadásával, a Goldschmidt-eljáráshoz hasonlóan.

2. Az alumíniumolvadék ötvözése tiszta fémek vagy segédötvözetek hozzáadásával.

3. Alumíniumolvadék ötvözése fémoxidoknak az elektrolízishez való hozzáadásával.

Itt csak az 1. alatt említett módszert fejtjük majd ki. Ez az ötvözési mód a következőképpen hajtható végre :

Az oxidokat, illetőleg az oxid—alumíniumreszelék-keveréket az olvasztófürdőbe teszik és ott, részben gáz átvezetésének hatására létesül a reakció. Eközben az oxidok az olvadék alumíniumjával a következő egyenlet szerint alakulnak át :

$$3\,MeO + 2\,Al \longrightarrow Al_2O_3 + Me + x\,kcal.$$

A reakció exotermikus. Az olvadék hőmérséklete ezzel jelentősen növelhető. Az oxid redukálásakor keletkező hőhatás jellemző az elem és az oxigén affinitására.

$$2\,Me + O_2 \rightleftharpoons 2\,MeO + x\,kcal.$$

Ez a reakció az oxidáció, illetőleg a redukció lefolyását mutatja. A kcal-ban mért hőmennyiség az oxid képződési hőmérsékletének felel meg, amely a különböző oxidok szerint változó.

1. táblázat

Az acél kísérő és ötvöző elemei oxidjainak képződési hői 20—25 C°-on és állandó nyomáson

Oxidvegyület	Képződési hő kcal-ban		Oxidvegyület	Képződési hő kcal-ban	
	a vegyület moljára számítva	az oxigén g-atomjára számítva		a vegyület moljára számítva	az oxigén g-atomjára számítva
CaO	151,7	151,7	ZnO	83,3	83,3
MgO	146,1	146,1	P_2O_5	369,4	73,9
BeO	138,0	138,0	SnO	67,0	67,0
Al_2O_3	393,3	131,1	WO_3	195,5	65,2
ZrO_2	258,1	129,0	FeO	64,5	64,5
CeO_2	233,0	116,5			
B_2O_3	349,0	116,3	MoO_3	180,4	60,1
TiO_2	220,0	110,0	NiO	58,4	58,4
SiO_2	205,6	102,8	CoO	57,5	57,5
Na_2O	99,45	99,45	Sb_2O_3	164,0	54,7
Ta_2O_5	486,0	97,2	PbO	52,4	52,4
MnO	96,5	96,5	Bi_2O_3	138,0	46,0
Nb_2O_5	463,1	92,6	Cu_2O	41,0	41,0
Cr_2O_3	273,0	91,0	As_2O_3	156,6	32,2
V_3O_3	437,0	87,4	CO	26,6	26,6

Az 1. táblázat [23] néhány oxid képződési hőjét adja meg. Ebből látható, hogy a Ni, Fe, W, V, Cr, Mn és Ti számításba jöhető oxidjainak a képződési hője kisebb, mint az Al_2O_3-é. Ebből következik, hogy az alumínium az említett összes fémoxidokat redukálja. Hogy ehhez — mint a titán esetében — módosított módszereket kell alkalmazni, lényegtelen.

Mint VON CONRADI [24] megállapította, a fémoxidok magas hőmérsékleten, ívfényben disszociálódnak, és eközben ismét hő használódik fel.

$$2\,MeO + x\,kcal \longrightarrow 2\,Me + O_2.$$

A 2. táblázatban [25] az egyes fémek és oxidjaik meghatározott és ismert olvadás- és forrpontját közöljük.

A reakció hatására keletkezett Al_2O_3 az olvadékban nem oldódik és a csiszolaton már legkisebb mennyiségben is felismerhető. Az Al_2O_3 részecskék süllyedése csekély. Az olvadékot különböző módszerekkel, például gázok átfuvatásával vagy gáztfejlesztő sók hozzáadásával igyekeznek tisztítani, de ez az eljárás mindig nagyobb üzemköltséggel jár.

2. táblázat

A fémek és fémoxidok olvadás- és forrpontja

Képlet	Olvadáspont Fp C°-ban	Forrpont Kp C°-ban
Al	658	2500
Al_2O_3	2046	2700
Cr	1550	2327
Cr_2O_3	1990	
Fe	1535	2730
Fe_2O_3	1570	
Mn	1221	2152
Ni	1453	3177
NiO	1990	
Ti	1727	3000
TiO_2	1775	
V	1726	3000
V_2O_5	658	1750-en bomlik
W	3380	6000
WO_3	1473	

A második módszer szerint a fémoxidokat az olvadék felületére öntik és ezek ott lépnek reakcióba. Ennek a folyamatnak azonban minél tökéletesebbnek kell lennie és a lehető legrövidebb idő alatt kell végbemennie, mert ellenkező

esetben csak a fürdő felületével közvetlenül érintkező oxidrészecskék létesítenek reakciót. A felettük levő részecskék azonban a keletkezett hő hatására részben elpárolognak vagy zsugorodnak.

Előnyös tehát fémoxid—alumíniumdara-keverékét használni. Ebben az esetben az alumínium részesedése az elegyben nagyobb, és a reakció teljesebben mehet végbe.

A fémoxidok termikus disszociációjának hatására oxigén szabadul fel, amely a tiszta fürdőfelülettel azonnal Al_2O_3-dá alakul át. Ez a sűrű ellenálló oxidréteg azonban nem engedi át a reakció révén képződött alumíniumötvözetet, úgyhogy rétegek képződnek. Ezért nemcsak előnyös, de szükséges is folyósító anyagokat használni. Ezeknek egy részről aránylag alacsony hőmérsékleten folyósoknak kell lenniük, más részről az ívfény hőmérsékletén sem szabad vagy csak kis részben elpárologniuk.

A kísérlet végrehajtása

a) Alap- és járulékos anyagok. A kísérletekhez legtisztább bitterfeldi alumíniumot használtak, amelynek vegyi elemzését a 3. táblázatban közöljük. Járulékos vagy ötvöző anyagokként fémoxidokat tiszta, részben legtisztább alakban alkalmaztak.

3. táblázat

A saját kísérletekhez használt kiindulási nyersanyagok

	Cu	Zn	Si	Fe I	Mn	Mg	Al
Alumíniumolvadék	0,0005	—	0,0040	0,0035	—	—	99,9920%
	Előállító				Tisztasági fok		
Cr_2O_3	VEB Schering, Berlin				legtisztább		
Fe_2O_3	Merck, Darmstadt				tiszta (S-mentes)		
MnO_2	—				tiszta		
MnO	—				tiszta		
NiO	C. A. F. Kahlbaum				tiszta		
V_2O_5	Pharma Laborchemie, Apolda				tiszta		
TiO_2	—				—		
WO_3	Merck, Darmstadt				legtisztább		
NaCl	—				kristályos		
KCl	—				kristályos		
Al-dara	VEB Schering, Berlin				tiszta		

b) Olvasztó berendezés. Az olvasztás és az ötvözés hőszabályozós szilitkemencében történt.

Minthogy ívfénnyel kellett a fürdő felületét pásztázni, az alumíniumfürdőt egyenáramforrás (hegesztődinamó) egyik sarkával vezetőleg kötötték

össze. A grafittégelyt ezért szelepszerű tányérra állították, amelynek nyele átment a kemencefeneken és ott a második kábelhez volt kötve. Az 1. ábra a kísérleti berendezést vázlatosan mutatja. Gépi erejű pásztázó berendezés és gépi erejű keverékadagolás ezeknél a laboratóriumi kísérleteknél az egyelőre nem teljesen egyenletes oxidkeverék adagolás miatt célszerűtlennek bizonyult. Éppen ezért a későbbi kísérletek alkalmával az olvadékot kézi erővel pásztázták a szénívfénnyel, amely a fürdő felülete és egy normális elektrodatartóba rögzített 12 mm vastag ívfényszén között égett. Az olvadék szeneződésének elkerülése céljából az elektródát a *negatív* sarokra kell kapcsolni.

c) Kísérletek. A fent ismertetett berendezéssel alumíniumötvözeteket magas olvadáspontú — például 3, 5 és 10% Cr-t, Fe-t, Mn-t, Ni-t, Ti-t, V-t és W-t tartalmazó — alkotórészek felhasználásával állítottak elő.

A bevitt alumínium súlya kb. 90—100 g volt. Az ötvözéshez szükséges fémoxid és alumíniumdara mennyisége például alumíniumolvadéknak vassal való ötvözésekor a következőképpen alakult.

$$Fe_2O_3 + 2\,Al \longrightarrow Al_2O_3 + 2\,Fe$$

$$159{,}7 + 54 \qquad 111{,}7 + 102\ g\,.$$

Abból a célból, hogy a reakcióval alumíniumötvözetet és ne az aránylag tiszta járulékanyagot kapjuk, még a következő egyenletet is figyelembe vettük :

$$Fe + 3\,Al \longrightarrow Al_3Fe\,.$$

Az alumíniumdara mennyisége a reakció gyorsaságától függően változott és WO_3 esetében különösen nagy volt. Az Mn-ötvözetet MnO_2 és MnO felhasználásával kaptuk (az MnO fékezi a reakciót). A kihozatalt becslésszerűen 50%-kal vettük fel.

A fémoxid és alumíniumdaraoxid keveréket bemérés után szárítószekrényben, 150°-on 12 órán át szárítottuk ; ezzel akartuk elejét venni annak, hogy az olvadékban ötvözéskor káros hidrogénfejlődés mutatkozzék. Miután a kemencében a félgrafitos széntégely minden nedvességtartalmát eltávolították, belehelyezték az ötvözendő alumíniumot és a folyékony állapot elérése után lehúzták a felület oxidhártyáját. Eközben azonban nem szabad felszakítani az Al_2O_3-hártyát a tégelyfal mentén, mert ez esetleges szén- és gázfelvétellel szemben önvédelmet biztosít. A felületre szórt folyósítóanyag ezenkívül megakadályozta a másodlagos oxidációt.

Ezt követőleg az oxid—alumíniumdara-keverék mintegy 2 mm vastag első rétegét nem egészen a tégelyfalig, kézi lapáttal felszórták, majd ívfénnyel meggyújtották. Az elporladás-veszteség csekély volt. A fedőréteg rendszerint ellobbanás nélkül nyugodtan égett el. Ezt követte a felület pásztázása ívfénnyel.

Az átégés következtében — mint zsugorodáskor — esetleg visszamaradó laza lepény teljesen összeolvadt, mire az eddig meg nem gyulladt helyek is reakcióba léptek. Ugyanakkor a bezárt alumíniumötvözet-golyócskák az olvadékba kerültek. A pásztázás 4—5 percig tartott, aszerint, hogy milyen vastag volt a fedő oxidréteg. Eközben kikapcsolták a kemencefűtést. A beolvadás befejeztét a fürdő sima, fényes felülete mutatta. Miután az olvadék hőmérséklete ismét csökkent, folyósítóanyagot adtak a fürdő felületére abból a célból, hogy az oxidsalak-burkolat lehúzásakor minél kisebb legyen a vakarék okozta veszteség. Ezt az eljárást addig ismételték, míg az egész előirányzott fémoxid—alumíniumdara-keveréket fel nem használták. Ugyanezt az olvasztási eljárást alkalmazták minden ötvözéshez, hogy összehasonlításra alkalmas kiindulási alapot kapjanak. 10 g fémoxid—alumíniumdara-keverék olvadási ideje mintegy 15 perc volt. A szénelektróda, mint ahogyan a 2. ábrából látható, alig égett le a gyújtási helyen. Ezzel szemben felső részén erős leégés volt észlelhető. A szén ott a külső levegővel is érintkezésbe jutott. Ez azt mutatja, hogy a tégely légterének $CO—CO_2$-védőgázelegye messzemenőleg védte a fürdő felületét a levegő oxigénjével szemben. Ezután lemérték a megdermedt regulust.

d) A minta előkészítése a vizsgálathoz. A kapott regulust hidegfűrésszel függőlegesen felvágták, és az egyik felét még egyszer átfűrészelték (3. ábra). A vizsgálati forgácsokat a Brinell-keménység vizsgálat helyeiről vették. Az ábra A, B, C darabjait a mikroszkópiai vizsgálat számára előkészítették.

A vizsgálat értékelése

A regulusok vizsgálata először az üregképződés makroszkópos vizsgálatára, majd a hosszanti felületen Brinell-keménység vizsgálatra terjedt ki. Azután az ötvözet mikroszerkezetét kellett megvizsgálni. Ezekhez a metallográfiai vizsgálatokhoz a mintákat nagyolva és finomra csiszolták, majd előfényesítették és azután elektrolitikusan fényesítették és maratták. Elektrolitként foszforsavat használtak. A finomszerkezet meghatározása HANEMANN és SCHRADER [26] Atlas Metallographicus, III. kötetének I. része alapján történt. Mindegyik csiszolat képe 1 : 100 nagyítással készült; így a szerkezetet jól át lehetett tekinteni.

IRODALOM

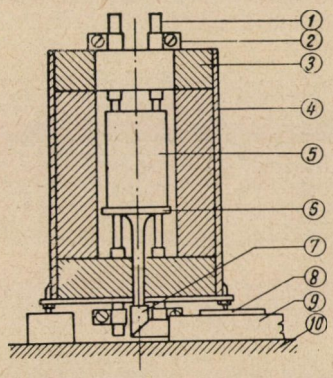
1. GMELINS Handbuch der anorganischen Chemie, 8. Auflage, System Nr. 35, Aluminium, Teil A, Lieferung 1, 1934, Verlag Chemie GmbH.
2. WÖHLER, F., Lieb. Ann. *113* (1860) S. 248.
3. WÖHLER, F., FR. MICHEL, Lieb. Ann. *115* (1860) S. 103.
4. MOISSAN, H., Der elektrische Ofen, franciából fordította T. Zettel, Berlin-W., Verlag M. Krayn, 1897.
5. J. W. RICHARDS, The Iron Age, *72* (1903) 13. August, S. 4.
6. HINDRICHS, G., Zeitschr. anorg. Chemie, *59* (1908), S. 414.
7. WÖHLER, F., Lieb. Ann. *106* (1858) S. 118.
8. COMBES, Ch., Comp. rend. *122* (1896) 1482.

9. GUILLET, L., Cenie civil *41* (1902) 381.
10. OLIE J. JR. C. B. 2 (1906) 1755.
11. IVINSON, C. H., Foundry *41* (1913) S. 322.
12. FÖRSTER, F., GRUBE G. und NEUSS C., Beiträge zur Metallurgie, Dresden, Leipzig (1921) S. 32.
13. RUFF, O., MARTIN W., Z. f. angew. Chemie *25* (1912) 49.
14. ERKELENS, E. VAN, Met. Erz *20* (1923) S. 207.
15. GOLDSCHMIDT, K., Aluminothremie, Verlag S. Hirzel, Leipzig 1925.
16. SHOULJEKAN, W., X. SOLOWOWA, Z. f. phys. Chem. A *149* (1930), S. 443.
17. RICHARDS, E. T., Z. gesamte Gießereipraxis. Das Metall *51* (1930) S. 66.
18. RÖHRIG, H., Metallwirtschaft *10* (1931) S. 105.
19. MANCHOT, B., A. Leber, Z. f. angew. Chemie *150* (1925) S. 26.
20. FINK W. L., HONR K. R. VAN, PUDGE P. M., Trans. Am. Inst. min. met. Eng. Inst. Metals Division (1931) S. 422.
21. SOMMER, F., Stahl u. Eisen *73* (1953) Heft 10, S. 1295.
22. DRP 803 131, Aluminium (Dez. 1951) 27. Jahrg. Nr. 4, S. 112.
23. 1. táblázat. Az oxidok képződési hői. UHLICH, SCHWARZ und CRUSE szerint; Die Edelstahlerzeugung von F. LEITNER u. E. PLÖCKINGER, Springer-Verlag Wien, 1950. c. könyvből.
24. ERDMANN-JESNITZER, F., Werkstoff und Schweißung, Bd. I, Akademie-Verlag Berlin (1951) S. 216.
25. 2. táblázat. A fémek és fémoxidok olvadás- és forrpontjai Taschenbuch für Chemiker und Physiker von J. D'ANS u. E. LAX, Springer-Verlag Berlin (1949) S. 214. c. könyvből.
26. HANEMANN und SCHRADER, Atlas Metallographicus, Bd. III, Teil 1, Verlag Gebr. Bornträger (1941).
27. WINKLER, O., Z. f. Metallkunde, Bd. *44* (1953) S. 333.

ÖSSZEFOGLALÁS

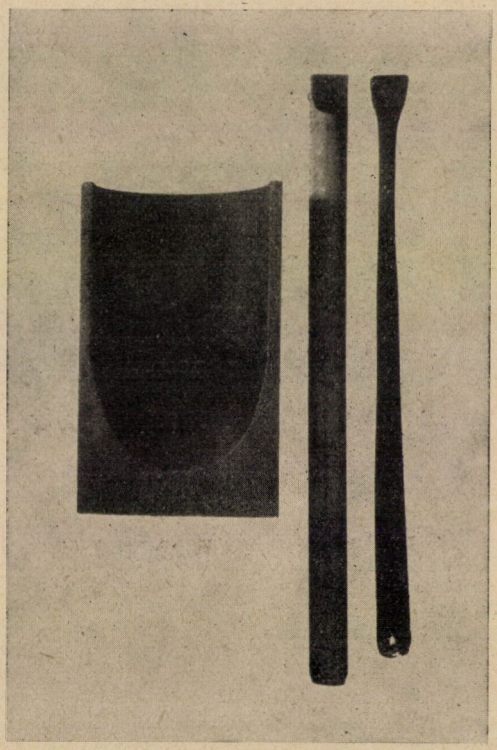
A kísérletek azt mutatják, hogy valamely legtisztább alumíniumolvadéknak ívfénnyel meggyújtott és megolvasztott fürdőfelületére, fémoxid—alumíniumdara-elegy hozzáadásával való ötvözése lehetséges. A fémkihozatal fémdioxidokból átlag 50 és 70% között volt. Csak a mangánnal ötvözött minták kihozatala volt 30 és 40% között. Ennek oka az, hogy a mangánnak az ívfény magas hőmérsékletén nagy gőznyomása van. Az alumíniumveszteség a dúsabban ötvözött mintákban túl sok, de megfelelő rendszabályokkal, mint például durvább szemcsézésű oxidok felhasználásával, az Al_2O_3-salak olvadáspontját erősen csökkentő egyéb folyósító anyagok alkalmazásával, kisebbíthető. Célszerűbb olvasztó berendezés alkalmazása, mint amilyen többek között *O. Winkler* [29] a folyamatos olvasztó elektróda képzéséhez használt Kellog-eljáráshoz leírt, hozzájárulhatna az alumíniumveszteség csökkentéséhez. Ugyanakkor az oxidokból történő fémkihozatal növekednék, minthogy az ötvöző fém egy része mindig újra a salakba kerül.

A kísérletek azt mutatják, hogy fémoxidoknak alumíniumdara helyett szénporral való redukálása nem vezetett eredményre. Ezen az úton gyorsabban és olcsóbban kellene alumíniumötvözeteket és segédötvözeteket előállítani, mint jelenleg. A tiszta ötvözőfém szükséglet ezzel nagymértékben csökkenne, természetesen azzal a feltétellel, hogy a fémoxidok a kívánt tisztaságban és mennyiségben rendelkezésre állnak.

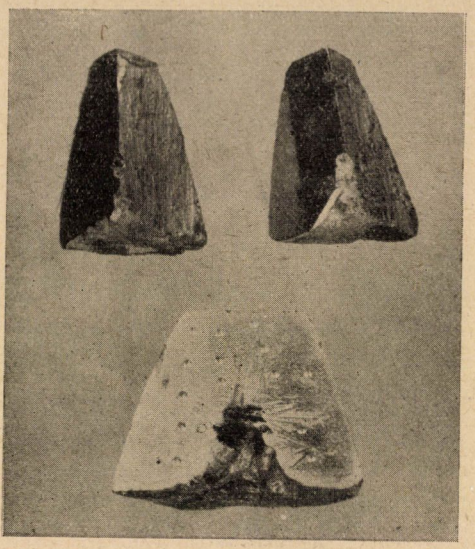


1. ábra. A szilitkemence függőleges metszete

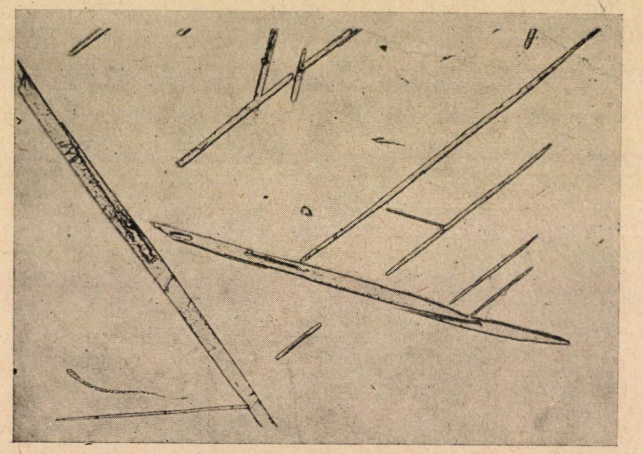
1 Szilitrúd
2 Csatlakozószorító
3 Kemencefalazás
4 Kemenceköpeny
5 Olvasztótégely
6 Szeleptányér
7 Összekötő szögvas
8 Szigetelő lemez
9 Szigetelőcső
10 Alaplemez



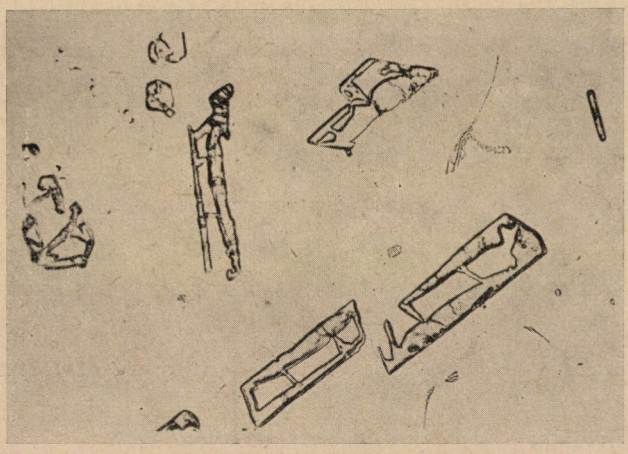
2. ábra. A félgrafitos széntégely metszete, mellette új és használt 12 mm vastag ívfényszén



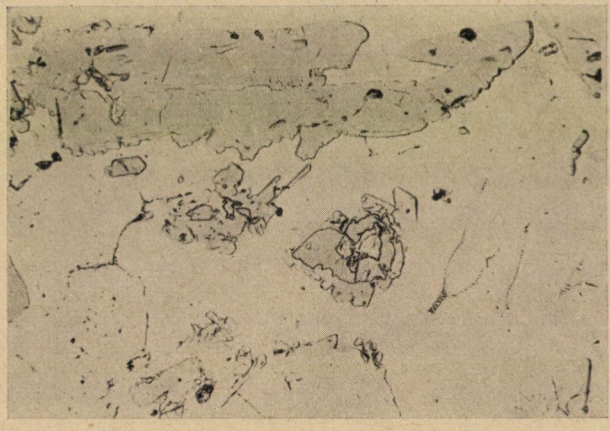
3. ábra. A keménységi és mikroszkópi vizsgálat céljára átfűrészelt regulusz



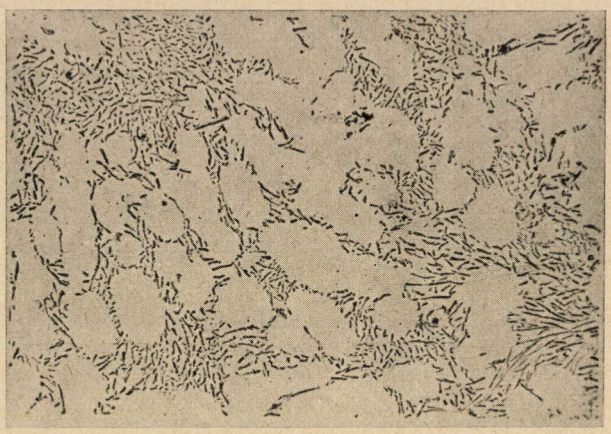
4. ábra. 3,0% krómtartalmú Al—Cr-ötvözet ; az Al_7—Cr-primerkristályok tű alakban jelentkeznek



5. ábra. 4,65% krómtartalmú Al—Cr-ötvözet. Az Al_7—Cr-primerkristályoknak itt más, de az ötvözetre éppen olyan jellegzetes alakjuk van. Ezek belül össze nem nőtt tűk keresztmetszetei



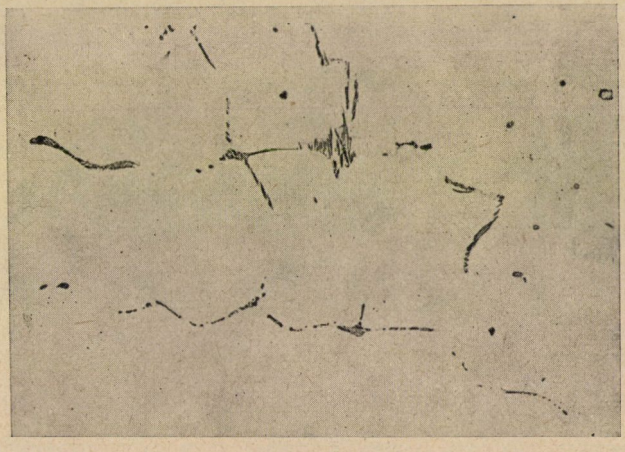
6. ábra. 9,3% krómtartalmú Al—Cr-ötvözet. A kristályok közepén a világos Al_7Cr-szegélyek mellett tisztán látható az $Al_{11}Cr_2$-mag. A szemcsehatárokon Al_7Cr kristályosodás



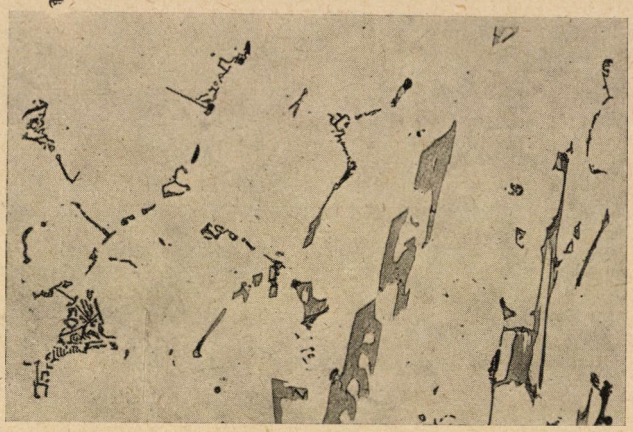
7. ábra. 1,7% vastartalmú Al—Fe-ötvözet. Primer α-elegykristályok, az Al_3Fe-t vékony pálcikák alakjában tartalmazó eutektikummal

8. ábra. 5,5% vastartalmú Al—Fe-ötvözet. A priméren kivált Al_3 Fe-kristályok mellett az eutektikum látható

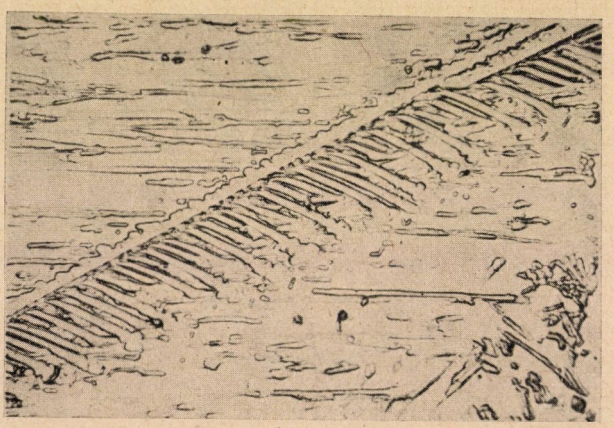
9. ábra. 8,9% vastartalmú Al—Fe-ötvözet. A primeren kivált, a feldolgozás következtében részben töredezett Al_3Fe-tűk mellett az eutektikum látható



10. ábra. 1,2% mangántartalmú Al—Mn-ötvözet. A felvétel α-elegykristályokat mutat, a szemcsehatárokon Al_6Mn kiválásokkal

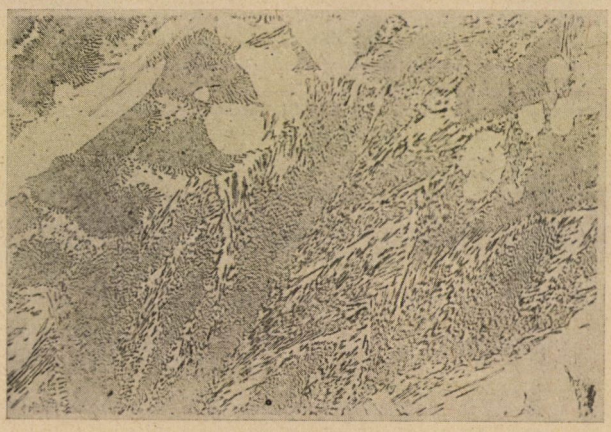


11. ábra. 3,3% mangántartalmú Al—Mn-ötvözet. Al_6Mn primerkristályok α-elegykristályokkal és eutektikummal

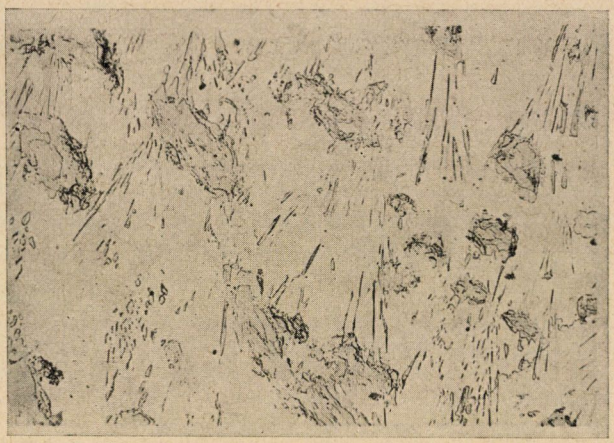


2. ábra. 6,5% mangántartalmú Al—Mn-ötvözet. Al_4Mn-kristály Al_6Mn krisztallitok mellett.

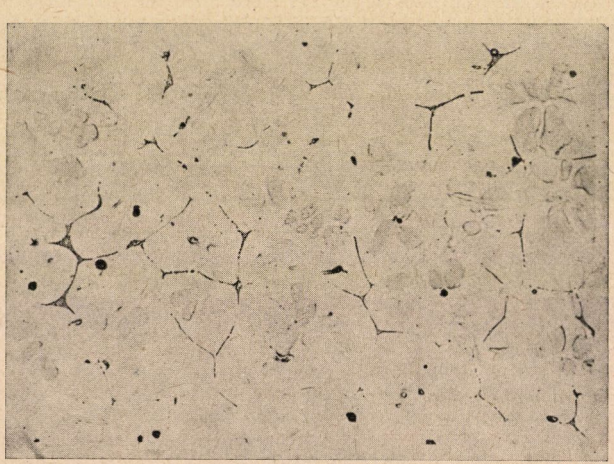
13. ábra. 2,9% nikkeltartalmú Al—Ni-ötvözet. Az α-elegykristályok mellett az eutektikum a tűnyalábok helyzete szerint részben szemcsés, részben sáv alakú



14. ábra. 7,4% nikkeltartalmú Al—Ni-ötvözet. Az apró Al_3Ni-primer kristályok mellett az α-elegykristályok és az eutektikum

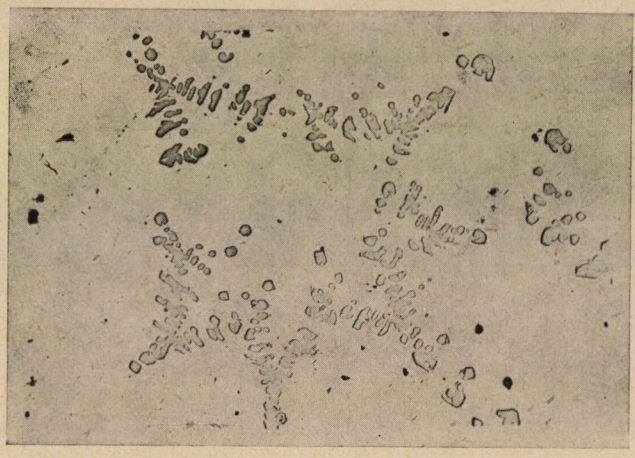


15. ábra. 11,0% nikkeltartalmú Al—Ni-ötvözet. Az α-elegykristályok mellett Al_2Ni_2-magú Al_3Ni-kristályok ismerhetők fel

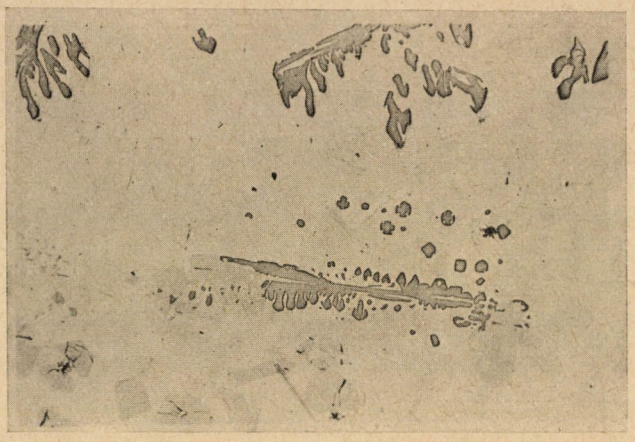


16. ábra. Al—Ti-ötvözet, 0,03%-nál kisebb Ti-tartalommal

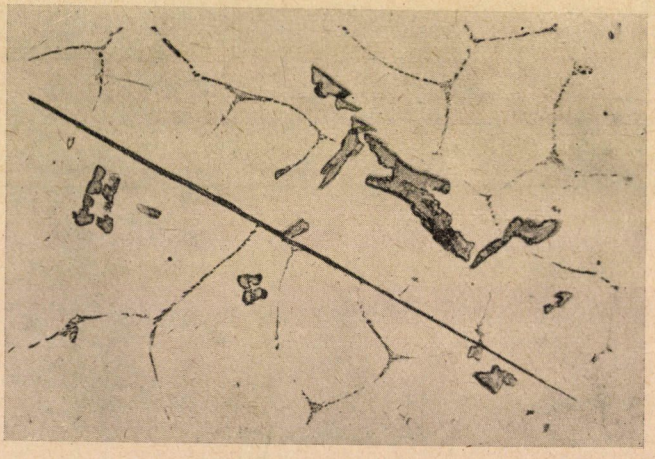
17. ábra. Al—Ti-ötvözet primer Al_3Ti-kristályokkal



18. ábra. 2,75% vanádiumtartalmú Al—V-ötvözet. Al_3V krisztallitok

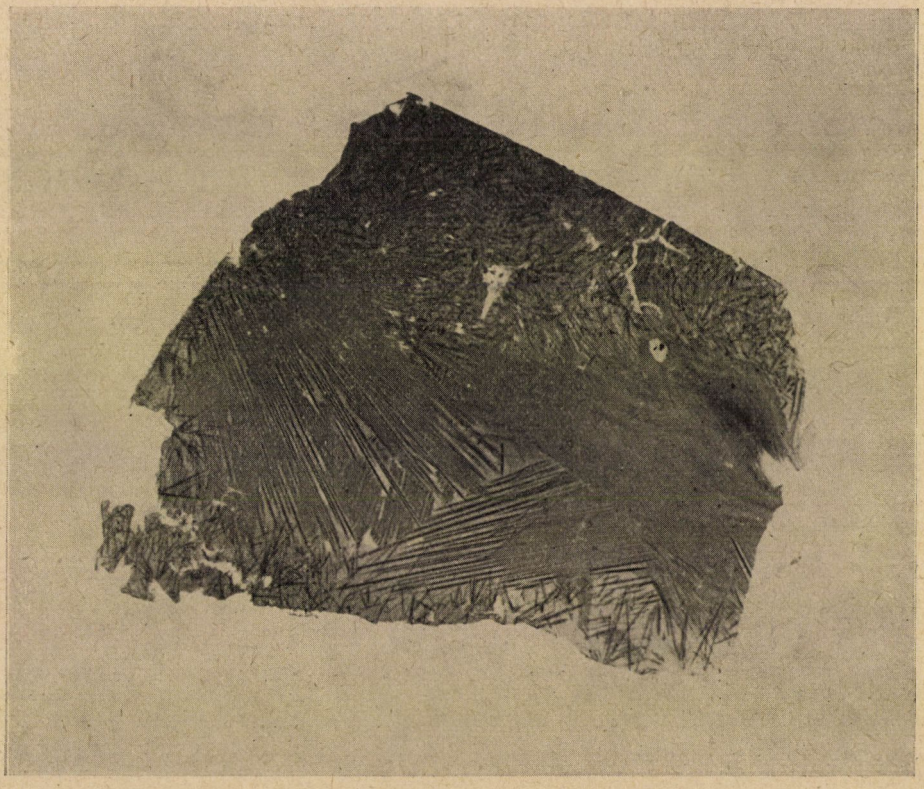


19. ábra. 4,95% vanádiumtartalmú Al—V-ötvözet. Különböző színűre mart krisztallitok, valószínűleg Al_3V és Al_3V_2 kristályok



20. ábra. Kb 5% wolfrámtartalmú Al—W-ötvözet

21. ábra. Kb. 8% wolfrámtartalmú Al—W-ötvözet



22. ábra. Al—Mn-kísérleti olvadék mikrodiagramja
Mintavastagság 0,3 mm; kék, különlegesen kemény spektrállemez. Röntgensugárzás: Co-sugárzás (30 kV/10 mA) 3 perc

Ötv.	Ábra száma	Betét g	Kihozatal g	Ötv. fémtart. %	Ötv. fémkihozatal %	Brinell-keménység kg/mm^2 HB_m 2,5/5/30	A regulus leírása
Al—Cr	4	85 g Al 5 g Al-dara 5 g Cr_2O_3	80	3,0	70	29,5	Felület kissé besüppedt, alatta kis fészkes üreg, gravitáció okozta csekély különválás
Al—Cr	5	80 g Al 10 g Al-dara 10 g Cr_2O_3	75	4,65	51,4	36,0	Kis mikroüregek összenőtt Al_7Cr-tűkkel : mellettük a gravitáció okozta csekély különválás
Al—Cr	6	85 g Al 15 g Al-dara 20 g Cr_2O_3	65	9,3	44,2	53,0	Szívás okozta kis üreg a fejen, alatta kis mikroüreg, csekély különválasztódással
Al—Fe	7	100 g Al 5 g Al-dara 4 g Fe_2O_3	90	1,7	55,0	28,0	Felület kissé besüppedt, kis üreg
Al—Fe	8	90 g Al 10 g Al-dara 12 g Fe_2O_3	85	5,5	56,5	36,0	Mindjárt a felület alatt fészkes üreg
Al—Fe	9	90 g Al 15 g Al-dara 20 g Fe_2O_3	85	8,9	54,0	39,5	Dermedéskor az ötvözet fröccsent. A regulus közepén kis fészkes üreg Al_3Fe-kristályokkal
Al—Mn	10	90 g Al 5 g Al-dara 3 g MnO_2 2 g MnO	85	1,2	30	28,0	Szívás okozta kis üreg a felületen, gravitáció okozta csekély különválás
Al—Mn	11	90 g Al 10 g Al-dara 5 g MnO_2 5 g MnO	75	3,3	35,4	41,0	Csekély fejüreg, gravitáció okozta kis különválás
Al—Mn	12	90 g Al 15 g Al-dara 8 g MnO_2 12 g MnO	70	6,5	31,8	52,0	Közvetlen a felület alatt fészkes üreg tű alakú primer kristályokkal
Al—Ni	13	95 g Al 5 g Al-dara 5 g NiO	90	2,9	66,9	29,5	Kis üreg közvetlenül a felület alatt

Ötv.	Ábra száma	Betét g	Kihozatal g	Ötv. fémtart. %	Ötv. fémkihozatal %	Brinell-keménység kg/mm² HB_m 2,5/5/30	A regulus leírása
Al—Ni	14	90 g Al 10 g Al-dara 13 g NiO	85	7,4	62,7	37,0	Tömör tömb üreg nélkül, minimális különválással
Al—Ni	15	95 g Al 15 g Al-dara 20 g NiO	90	11,0	63,0	42,5	Kis fejüreg, egyébként tömör, gravitáció okozta kis különválás
Al—Ti	16 és 17	80 g Al 6 g Al-dara 5 g TiO_2	—	—	—	—	—
Al—V	18	90 g Al 5 g Al-dara 6 g V_2O_5	85	2,75	69,6	26,5	Csekély fogyási üreg a felület alatt, egyébként tömör tömb
Al—V	19	90 g Al 10 g Al-dara 12 g V_2O_5	80	4,95	59,2	37,0	Sima felületű tömör tömb
Al—W	20	—	—	kb. 5	—	29,0	—
Al—W	21	—	—	kb. 8	—	43,0	—

AZ ACETILEZETT PAMUT ELSZAPPANOSÍTÁSI FOLYAMATÁNAK TOPOKÉMIAI VIZSGÁLATA*

ZILAHI MÁRTON

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

és

OSWALD LORÁND

BUDAPESTI MŰSZAKI EGYETEM, TEXTILTECHNOLÓGIAI TANSZÉK

A pamut acetilezése részletesen feltárt folyamat. Ebben a reakcióban a pamut mikroheterogén szerkezete nagy jelentőségű. HAPPEY [1] vizsgálatai szerint tömény ecetsavas duzzasztás során az ecetsav csak az amorf részekbe hatol be. Röntgenvizsgálattal sikerült ugyanis kimutatnia, hogy a 100%-os ecetsavban duzzasztott pamut röntgenelhajlási képe megegyezik a nem duzzasztott pamut röntgenelhajlási képével, ami a kristályos részek érintetlenségét bizonyítja. Ugyancsak fenti szerző, valamint HESS és TROGUS [2] és mások megállapították, hogy az ecetsavas duzzasztást követő ecetsavanhidriddel végrehajtott acetilezés során a reakció az amorf részekben indul, az ecetsavanhidrid csak ott reagál és csak miután az amorf részek triacetáttá alakultak, kezdődik meg a kristályos részek reakciója. Mindez a részlegesen acetilezett pamutról készített röntgenelhajlási képekkel beigazolódott.

HAPPEY [1] fenti megállapításait rami részletes acetilezése során tette és a pamut acetilezésére vonatkozóan a rami acetilezése során levont következtetésekkel megegyezőket közölt. Természetszerűen az egyes interferenciacsíkok megjelenése nem következik be azonos acetiltartalmú pamut és rami mintákon a rami nagyobb kristályossága következtében.

A cellulózacetát elszappanosítása látszólag az acetilezéshez hasonló módon játszódik le. HESS és TROGUS [2] röntgenvizsgálatokkal ellenőrzi az elszappanosítás menetét. Megállapítják, hogy a triacetilcellulózt átlagos diacetátig elszappanosítva, az egyes közbülső mintákról készített felvételek a cellulóztriacetát röntgenképével azonosnak látszottak. További elszappanosításnak alávetett rami mintákról készített röntgenelhajlási képen már megjelennek a cellulózkristályok jelenlétére jellemző interferenciacsíkok. Kísérleteikhez HESS és TROGUS is ramit használtak.

TATTERSFIELD [4] elszappanosítási vizsgálataihoz fűzött megjegyzéseiben HAPPEY [3] kijelenti, hogy a cellulóz észterezésekor kétféle reakció-típust különböztethetünk meg:

1. olyan észterezést, amelynek során a reakcióban nincs jelentősége a cellulóz mikroheterogén szerkezetének, tehát az átalakulás a cellulóz külsejétől egyenletesen hatol a szál belseje felé. Ilyen reakció a cellulóz nitrálása.

2. Olyan észterezést, amelynek során a reakció menetét a cellulóz mikroheterogén szerkezete döntő módon befolyásolja. Itt tehát az észterezés az amorf részeken indul meg és csak az amorf részek teljes mértékű átészterződése után terjed ki a kristályos részekre.

HAPPEY ugyanott kijelenti, hogy a cellulóz alkáliás elszappanosítása a 2. reakció-típus szerint játszódik le.

TOMONARI [5] a cellulóz elszappanosításának menetére vonatkozólag a cellulóz amorf és kristályos részeinek jelentőségét hangsúlyozza.

Összefoglalva tehát az idézett irodalomban leszögezett megállapításokat, a cellulózacetát elszappanosítását a részlegesen elszappanosított cellulózacetát minták röntgenelhajlási képeinek értékelése alapján olyan folyamatnak foghatjuk fel, amelynek során az alkáliás elszappanosodás először az amorf részeken következik be és az amorf részek elszappanosodván, terjed ki a reakció a kristályos részekre. Ezekhez a megállapításokhoz meg kell jegyeznünk, hogy az idézett kísérleteket egyrészt acetilezett ramin, másrészt acetát műselymen végezték.

A cellulóz acetilezése csak akkor játszódik le mikroheterogén módon, ha az acetilezést jégecetes kezelés előzte meg. ELÖD [6] viszkóz műselyem

* Német nyelven megjelent a „Faserforschung und Textiltechnik" c. kelet-németországi folyóiratban. (1956). pp. 262—268

ecetsavanhidrides, kénsavval katalizált acetilezése során az előzőktől eltérő eredményre jutott. Vizsgálatai szerint nem az amorf részek reagáltak először, majd ezt követően a kristályos részek, hanem az átalakulás gyűrűsen haladt a szál külsejétől a szál belseje felé. Az acetilezés előrehaladását differenciálszínezéssel ellenőrizte. A részlegesen acetilezett viszkóz műselymet acetát és szubsztantív színezékkel színezte, majd a szál keresztmetszetét vizsgálta. Az általa közölt színes mikroszkópi felvételeken jól látható, hogy éles határral elkülönül a szál keresztmetszetének kerülete mentén elhelyezkedő cellulózacetát réteg, amelynek vastagsága az acetiltartalom növekedtével nő. ELÖD vizsgálatainak célja ugyan nem az acetilezés menetének vizsgálata, hanem a viszkóz műselyem szerkezetének megállapítása volt, mégis leszögezhető, hogy olyan acetilezést hajtott végre, amelynek során — elérően HAPPEY jégecetes duzzasztást követő, ramin végrehajtott acetilezése során tett megállapításaitól — nem az amorf részeken indul meg az átalakulás, hanem az általa vizsgált acetilezés a mikroheterogén szerkezettől függetlenül játszódott le.

A cellulózacetát elszappanosítására vonatkozóan nem egyértelműek az irodalmi megállapítások. Nevezetesen HAPPEY [1, 3], HESS és TROGUS [2] munkássága alapján összefoglalt előző megállapításokkal szemben KUNIO MATISHIMA, KENJI MATSUMOTO és MITSOUNOBO HAGA [7] acetát műselyem nátriumhidroxidos elszappanosításakor azt tapasztalták, hogy a szálat szubsztantív színezékkel színezve, keresztmetszetén az elszappanosítás mértékétől függően elhatárolt elszíneződött réteg volt észlelhető, ami egyértelműen bizonyítja, hogy az acetát műselyem elszappanosításának mechanizmusa nem követi HAPPEY, valamint HESS és TROGUS feltevését, hanem az elszappanosítás a mikroheterogén szerkezettől függetlenül játszódik le.

A kétfajta vizsgálat eredményei nem ellentmondók, csak az eredmények alapján felállított következtetések. Kézenfekvő ugyanis, hogy olyan szálas anyag röntgenelhajlási képén, amelyben cellulóz- és cellulózacetát-kristályok vannak megfelelő mennyiségben, mindkét fajta kristálynak megfelelő interferenciacsíkok láthatók, függetlenül attól, hogy a kristályok a szálban elkeveredve vagy egymástól elhatárolva fordulnak elő. Abból a tényből, hogy a csekély mértékben elszappanosított cellulózacetát röntgenelhajlási képén még nem jelentkeznek a cellulózkristályokra jellemző röntgen interferenciacsíkok, még nem következik szükségszerűen, hogy cellulózkristályok a szálban nincsenek jelen, hanem valószínűen következik, hogy a szálban jelenlevő cellulózkristályok mennyisége nem elegendő ahhoz, hogy értékelhető intenzitású interferenciacsíkot okozzon.

Kísérleti rész

A kísérletek célja az acetilezett pamut elszappanosítási folyamatának topokémiai vizsgálata volt.

A kísérletekhez felhasznált pamutfonal jellemzőit az I. táblázatban foglaljuk össze.

I. táblázat

A kísérletekhez felhasznált pamutfonal jellemzői

Tulajdonság	Érték
Finomság	Nm = 131,4
Szakítóerő	124,58 g
Szakítóerő viszonylagos szórása	14,1 %
Nyúlás	3,79 %

Acetilezés

A pamutfonalat 2 órán keresztül 18°-on 100%-os ecetsavban áztattuk, majd 30% ecetsavanhidrid, 10% benzol, 60% ecetsav és 0,044% perklórsav tartalmú fürdőben 30°-on 90 percig acetileztük. Az ecetsavas áztatáskor a léarány 1 : 20, acetilezéskor 1 : 30 volt. Acetilezés közben a matringokat forgó rúdra függesztettük oly módon, hogy a matringoknak csak $^1/_3$ része merült az acetilező fürdőbe. A forgó rúd a matringokat az acetilezés egész ideje alatt mozgásban tartotta.

Az acetilezést centrifugázás követte, majd váltakozva hétszer 95°-os és 15°-os vízben a matringokat váltakozó irányú mozgatással mostuk. Az utolsó mosást követően a matringokat kifeszített állapotban 60°-on szárítottuk. Az 1 fonalra eső terhelés nem haladta meg a fonal átlagos szakítóerejének 1%-át.

Az elért acetiltartalom 36,35% volt. A pamutfonal átlagos szakítóereje az acetilezés előtt 132,61 g, az acetilezés után 122,45 g volt. Az acetilezés alatt a fonal szakítóereje 7,67%-ot csökkent.

Vizsgálati módszerek

1. Acetiltartalom meghatározása. Az acetiltartalom a cellulózacetátban lévő $CH_3—CO$ csoport mennyiségét jelenti a cellulózacetát súlyára vonatkoztatva. A bemért cellulózacetát mintát n/10 káliumhidroxid-oldatban 2 órán keresztül visszacsepegő hűtővel forraljuk, majd a káliumhidroxid feleslegét fenolftalein-indikátor jelenlétében n/10 kénsavoldattal visszatitráljuk.

2. Szakítóerő mérése. A szakítóerő mérése Schopper-féle súlymotoros szakítógépen történt 50 cm-es befogási hosszon. A szakítósebesség 1,8 cm/másodperc volt. A szakítás előtt a mintákat 65% rel. légnedvességű térben 20°-on 24 óra hosszat kondicionáltuk. Az egyes mintákon 100 szakítóerő-mérést végeztünk.

3. Nedvességtartalom meghatározása. A 24 óráig meghatározott légnedvességű térben 20°-on tartott mintákat szárítószekrényben 100—105°-on súlyállandóságig szárítottuk. A kapott súlykülönbséget a száraz súlyra vonatkoztatjuk.

4. Szigetelési ellenállás mérése. A szigetelési ellenállást 16 mm-es befogási hosszon mértük. A mérendő fonalat 50 mm szélességben egymástól 16 mm-re elhelyezkedő rézhasábra csévéltük fel. A mérést 80% rel. légnedvességű térben végeztük. A 80% rel. légnedvességet 1,19 g/cm^3 fajsúlyú kalciumklorid-oldattal állítottuk be. Mérőműszerként Siemens-féle megohm-hidat használtunk. A műszer mérési határa 0,1 megohmtól 10 millió megohmig terjed. A mérési feszültség 500 volt egyenfeszültség. [8].

5. Színezés. A színezés 1 : 35 lé-aránnyal, 10% konyhasó, 8% Siriusrot BB és 8% Cellitonechtblau oldatával, 30 perces forralással történt. A színezést mosás követte.

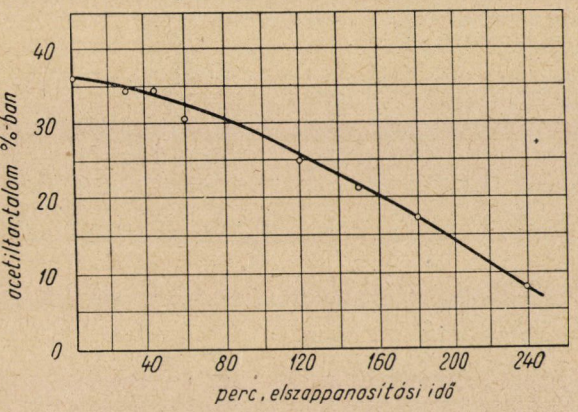
6. Keresztmetszet készítés. Keresztmetszet készítéshez a pamutfonalat kisodortuk úgy, hogy 20—30 elemi szálból álló, már csak csekély sodrattal rendelkező, az elemi szál átlagos hosszánál valamivel hosszabb kötegeket kapjunk. A kötegeket egymás mellé fektetve kolofóniumgyanta 10%-os benzolos oldatával bedörzsöltük, majd száradás után paraffinba ágyaztuk. A paraffint megszilárdulása után 0°-os hőmérsékleten tovább hűtöttük. A paraffintömböt ezután mikrotomba helyeztük. A mikrotom segítségével 5—7 mikron vastagságú metszetet vágtunk. A metszeteket zselatin, glicerin és deszt. víz 1 : 1 : 1 oldatával vékonyan bekent tárgylemezen helyeztük el, majd a tárgylemezt 80° hőmérsékletű térbe helyezve, a parafin megolvadt és az egyes elemi szál darabkák a meglágyult zselatinréteghez hozzáragadtak. A tárgylemezt lehűlése után xilollal és benzollal lemostuk. A xilol és benzol elpárolgása után a tárgylemezt mesterségesen sűrített cédrusolajjal lecsöppentettük és fedőlemezzel leborítva végeztük a mikroszkópi vizsgálatokat.

Vizsgálati eredmények

1. *Elszappanosítás és acetiltartalom*

A részlegesen acetilezett pamutmatringok elszappanosítását úgy végeztük, hogy az elszappanosítás ideje alatt a pamutmatringok a levegővel nem érintkezhettek. Elszappanosításra 0,1 molos nátriumkarbonát oldatot használtunk. Az elszappanosítást forrási hőmérsékleten végeztük, 1 : 100 léaránnyal. Az elszappanosítást többszörös meleg és hideg vizes mosás követte. Az elszappanosítási idő és az acetiltartalom összefüggését az 1. ábra szemlélteti.

Az ábrán látható, hogy az elszappanosodás lassan indul, 60 perces forralás után a minta acetiltartalma csak kb. 3%-ot csökken. Az elszappanosodás sebessége 60 perc után meggyorsul.



1. ábra. Az elszappanosítási idő és az acetiltartalom összefüggése

2. *Az elszappanosítás hatása a szakítóerőre*

A részlegesen acetilezett pamutfonal szakítóereje elszappanosítás hatására nagymértékben, átlagosan 34%-ot csökken. A különböző mértékig elszappanosított minták szakítóerejét a II. táblázat szemlélteti.

II. táblázat

A szakítóerő változása az elszappanosítás hatására

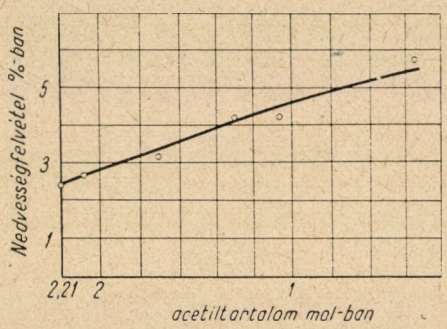
Elszappanosítási idő percben	Acetiltartalom %-ban	Szakítóerő		
		elszappanosítás előtt g-ban	elszappanosítás után	
			g-ban	az elszappanosítás előtti %-ában
30	35,02	124,8	87,05	69,75
45	34,68	118,4	78,95	66,6
60	30,77	119,35	82,75	69,3
120	25,26	116,0	70,5	60,75
150	21,49	113,7	93,8	82,5
180	20,45	142,45	80,45	56,4

A táblázat adataiból látható, hogy bár a szakítóerő értékei nagymértékben szórnak, már 30 perces elszappanosítás után 30,25%-os szakítóerő-csökkenés következik be. További elszappanosítás hatására a szakítóerő a 30 perc alatt elért értékhez közeleső. Az elszappanosodás kezdetén bekövetkező és további elszappanosítás hatására gyakorlatilag nem változó szakítóerő-csökkenés okát abban kereshetjük, hogy kísérleteink alatt a pamut olyan kezeléseket kapott, amelyek a szakítóerő nagyfokú csökkenésében is megmutatkozó polimerizációs

fok csökkenést okoztak. Nevezetesen az acetilezést kiméletes fehérítés előzte meg. A polimerizációs fok a fehérítés után 1600 volt. A fehérítést követő tömény savas kezelés további károsodást eredményez. Az acetilezés hatására — mint fentebb láttuk — a szakítóerő 7,67%-ot csökkent. Az acetilezést követő alkáliás forralás azonban olyan károsodást idéz elő a már csekély mértékben oxidációs és savas károsodást szenvedett cellulózon, ami a szakítóerő jelentős csökkenésében is megmutatkozik.

3. *Az elszappanosítás hatása a nedvszívó képességre*

Az elszappanosított minták nedvszívó képességét 50% rel. légnedvességű térben 20°-on mértük. Az eredményeket a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. Az elszappanosítás hatása a nedvszívó képességre

Az elszappanosítás következtében szabaddá váló cellulóz, valamint az érintetlen cellulózacetát mennyisége alapján számolt nedvszívó képességet a III. táblázatban hasonlítjuk össze a mért értékekkel.

III. táblázat

50% rel. légnedvességű térben mért és számított nedvszívó képesség összehasonlítása

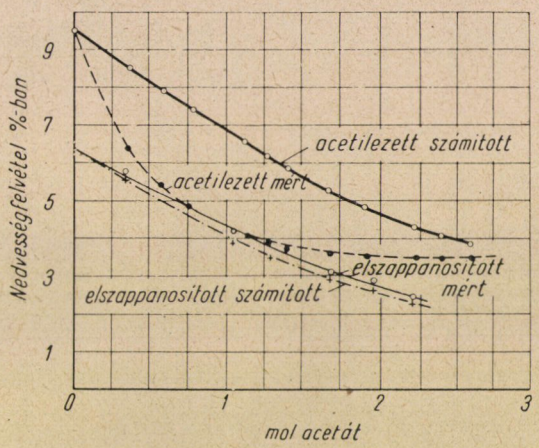
Acetiltartalom molokban kifejezve	Nedvszívó képesség %-ban	
	mért	számított
0,35	5,74	5,62
1,05	4,17	3,91
1,30	4,16	3,44
1,71	3,15	2,93
1,97	2,91	2,60
2,08	2,61	2,46
2,21	2,40	2,32

A számítás alapjául az

$$\frac{162\left(1-\frac{x}{3}\right)c+\left(162\,\frac{x}{3}+42x\right)a}{162+42\,x}=n\,\%$$

egyenlet szolgál, ahol

x az acetilezési fok mértéke molokban kifejezve,
c a cellulóz nedvszívó képessége adott légnedvességben,
a a cellulóztriacetát nedvszívó képessége adott légnedvességben,
n a számított nedvszívó képesség százalékban.



3. ábra. Részlegesen elszappanosított és részlegesen acetilezett pamut számított és mért nedvességfelvételének összehasonlítása

A III. táblázat adataiból a részlegesen elszappanosított minták számított és mért nedvességfelvételének jó egyezését láthatjuk. Ugyanezeket az adatokat diagramban ábrázolva és összehasonlítva részlegesen acetilezett pamut számított és mért nedvességfelvételével (3. ábra) azt láthatjuk, hogy a részlegesen acetilezett minták számított és mért nedvességfelvétele nagymértékben eltér egymástól.

A nedvességfelvételt egyrészt a fibrillaszerkezet kapillaritása, másrészt a szálasanyagot alkotó molekulák vagy azok egyes csoportjainak hidrofilitása határozza meg. Természetszerűleg a hidrofil és hidrofob csoportok eloszlása döntően befolyásolja a nedvességfelvételt.

Abból a tényből, hogy a részlegesen elszappanosított acetilezett pamut nedvességfelvétele a cellulóz és a cellulóztriacetát nedvességfelvétele alapján a mért értéknek megfelelően számítható, míg a részlegesen acetilezett pamut

nedvességfelvétele a számított értéknél jelentősen kisebb, arra következtethetünk, hogy a kétfajta szálban, bár a hidrofil hidroxil csoportok mennyisége (azonos acetiltartalomnál) megegyezik, de eloszlásuk különböző. Amint a 3. ábra görbéiből érzékelhető, elszappanosításkor a hidroxil csoportok a tiszta cellulóznak megfelelően adszorbeáltak nedvességet, míg részlegesen acetilezett mintákon a vízadszorpció az át nem alakult cellulóz mennyiségével nem arányos.

Ha tehát a részlegesen elszappanosított acetilezett pamutban a hidroxil csoportok eloszlása különbözik a részlegesen acetilezett pamut hidroxil csoportjainak eloszlásától és a részlegesen elszappanosított acetilezett pamutban az elszappanosított rész úgy fejti ki vízadszorpciós képességét, mint a tiszta cellulózban, akkor joggal feltételezhetjük, hogy az elszappanosítás folyamata az acetilezés folyamatával ellentétben a pamut, illetőleg acetillezett pamut mikroheterogén szerkezetétől függetlenül játszódik le, az elszappanosodás a szál felületén indul meg és gyűrűsen halad a szál belseje felé.

4. *Az elszappanosítás hatása a szigetelési ellenállásra*

A szigetelési ellenállást 33 és 80% rel. légnedvességű térben mértük. Az elszappanosított minták acetiltartalmának és szigetelési ellenállásának összefüggését a IV. táblázat szemlélteti.

IV. táblázat

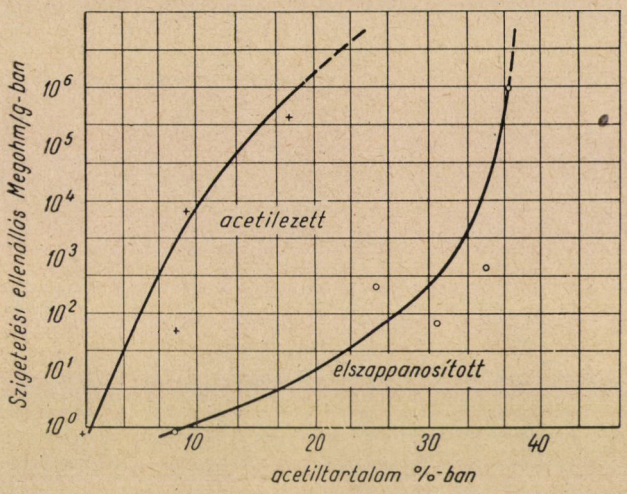
Az elszappanosítás hatása a szigetelési ellenállásra

Acetiltartalom molokban	Szigetelési ellenállás megohm/g	
	33%	80%
	rel. légnedvességű térben	
2,21	$> 10^6$	$> 10^3$
2,08	$> 10^6$	$6{,}6 \cdot 10^2$
1,977	10^6	$3{,}7 \cdot 10^3$
1,71	$1{,}1 \cdot 10^5$	$5{,}5 \cdot 10^1$
1,30	$4{,}2 \cdot 10^5$	$3{,}5 \cdot 10^2$
1,05	$2{,}9 \cdot 10^5$	$1{,}6 \cdot 10^2$
0,35	$1{,}7 \cdot 10^5$	$0{,}8 \cdot 10^0$

A táblázat adataiból látható, hogy a 80% rel. légnedvességű térben mért szigetelési ellenállás már csekély mértékű elszappanosításkor nagymértékben csökken. A 33% rel. légnedvességű térben mért szigetelési ellenállás csak nagyobb fokú elszappanosítás hatására és csak csekély mértékben csökken.

Fenti táblázat mérési eredményeit a 4. ábrán hasonlítjuk össze a különböző mértékig acetilezett pamut 80% rel. légnedvességben mért szigetelési ellenállásával.

A különböző mértékig acetilezett pamutfonal szigetelési ellenállása az acetiltartalom növekedtével nő. A 22% acetiltartalmú minta szigetelési ellenállása már meghaladta az általunk használt mérőműszer mérési határát. Az elszappanosított minták szigetelési ellenállása több nagyságrenddel kisebb, mint a megfelelő acetiltartalmú minták szigetelési ellenállása. A triacetáttá



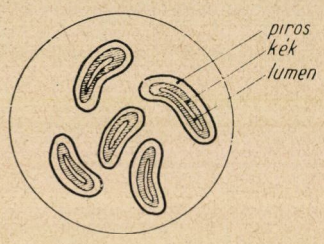
4. ábra. Különböző mértékig acetilezett és különböző mértékig elszappanosított pamut szigetelési ellenállása az acetiltartalom függvényében

alakult glükózanhidrid egységek 20—22% acetiltartalmú pamutban az amorf részekben találhatók meg, míg a kristályos részek nagyrészt cellulóznak tekinthetők. Mivel a szigetelési ellenállást elsősorban a vegyi jelleg és a nedvszívóképesség határozza meg, ezért nyilvánvaló, hogy az amorf részek triacetáttá alakítása a nedvszívó képességet oly mértékben csökkenti, hogy a szigetelési ellenállás a pamut szigetelési ellenállásához képest 5—6 nagyságrenddel nő. Az elszappanosítás hatására bekövetkező nagymértékű szigetelési ellenállás csökkenés azt látszik bizonyítani, hogy az elszappanosodás elsősorban a szál felületén következik be. Az áram is a szál felületén halad. Amint a IV. táblázatból látható, már igen csekély mérvű elszappanosítás hatására négy nagyságrenddel csökken a szigetelési ellenállás. Ha az elszappanosodást a szál külsejétől gyűrűsen befelé haladónak fogjuk fel, az 1,34% acetiltartalom-csökkenésnek megfelelő elszappanosodáskor kb. 0,01 mikron vastagságú cellulózgyűrű keletkezik. Amint a IV. táblázatból látható, további elszappanosítás hatására a szigetelési ellenállás már csak csekély mértékben csökken. Igen nagymérvű elszappanosításkor a pamut szigetelési ellenállásával megegyező értéket mértünk ($0{,}8 \times 10^{6}$),

jóllehet az acetiltartalom 8,23% volt. Ilyen acetiltartalmú, részlegesen acetilezett pamutminta szigetelési ellenállása 10^3 megohm/g, ami csekély mérvű acetilezés jelentős szigetelési ellenállás-növelő hatását mutatja.

5. *A részlegesen elszappanosított acetilezett pamut keresztmetszetének vizsgálata*

A fentebb leírt módon színezett elszappanosított mintákból az ugyanott leírt módon készített keresztmetszeti képek azt mutatják, hogy az el nem szappanosított cellulózacetáttá átalakított pamut keresztmetszete teljesen kék, azaz el nem szappanosított mintára a szubsztantív Siriusrot BB nem húz fel.



5. ábra. Részlegesen elszappanosított differenciálszínezett acetilezett pamut keresztmetszetének vázlatos képe

A 8,25% acetiltartalomig elszappanosított minta keresztmetszete élesen elhatárolt kék és piros gyűrűből állott (5. ábra), ahol a kék gyűrű a lumen körül, a piros gyűrű a szál külső szélén helyezkedett el. Ezen a mintán tehát a szál külseje teljes mértékben elszappanosodott cellulóz, amelyikre jól felhúz a szubsztantív Siriusrot BB, míg a belseje a Cellitonechtblau hatására keletkező kék szín intenzitása alapján azonos acetiltartalmúnak tekinthető a kiindulási mintával.

A keresztmetszeti képekre jellemző, hogy az elszappanosítás növekedtével a keresztmetszeti kép külső piros elszíneződése növekszik. Az 1,34% acetiltartalom csökkenésének megfelelő elszappanosítás után készített differenciálszínezett keresztmetszeti képen a piros elszíneződésű réteget nem észleltük folytonosnak.

IRODALOM

1. J. Text. Inst., 41, (1950) T 381 pp.
2. Z. Phys. Chem., 1931. B. 11. p. 157—223.
3. J. Soc. Dyers Colour., 66, 1. p. 14.
4. J. Soc. Dyers Colour., 66, 1 p. 9.
5. Z. El. Chem., 40, (1934) p. 207.
6. Melliand Text. Ber., 34, (1953) 1. p. 1.
7. J. Soc. Text. Cell. Ind., (Japán), 8, p. 432—435, (Chem. Abstr., 326. b.).
8. ZILAHI M.: A textilipar nyersanyagai. 1953. p. 212.

ÖSSZEFOGLALÁS

A 36,25% acetiltartalomig benzolos közegben, ecetsavanhidriddel perklórsav katalizátor jelenlétében acetilezett pamutból 0,1 molos nátriumkarbonát oldattal, 30, 45, 60, 150, 180, 240 perces forralással készített, részlegesen elszappanosított minták vizsgálata során megállapítottuk, hogy :

1. Az elszappanosodás folyamata lassan indul, egy órás elszappanosítási idő csak 5,58% acetiltartalom-csökkenést okoz. Az elszappanosodás sebessége 90 perc után növekszik.

2. Az elszappanosítás hatására a pamutfonal szakítóereje 30—40%-kal csökken. A szakítóerő csökkenése a reakció kezdetén következik be és a reakció folyamán már nem változik.

3. Az elszappanosítás hatására a nedvszívó képesség növekszik. A cellulóztriacetát és a cellulóz nedvszívóképessége alapján adott acetiltartalomra számított nedvszívó képesség az elszappanosított minta mért nedvszívó képességével egyezik, azonban erősen különbözik a különböző mértékig acetilezett pamut nedvszívó képességétől.

4. A szál hossztengelye mentén mért villamos szigetelési ellenállás elszappanosítás hatására nagymértékben csökken. Csekély mérvű elszappanosítás hatására 4 nagyságrenddel csökken a szigetelési ellenállás és további elszappanosítás hatására teljes elszappanosodásig nem változik.

5. A részlegesen elszappanosított, szubsztantív és acetát színezékkel színezett pamut keresztmetszetén élesen elhatárolt, szubsztantív színezékkel színezett cellulózrész, és acetát színezékkel színezett, az elszappanosítással nem érintett cellulózacetát rész különböztethető meg.

A keresztmetszeti kép, valamint a számított és mért nedvszívó képesség egyezése és a szigetelési ellenállás nagyfokú csökkenése alapján megállapítható, hogy az acetilezett pamut alkáliás elszappanosítása — HAPPEY, HESS és TROGUS és TOMONARI megállapításaival ellentétben — nem az amorf részeken indul és a reakció csak az amorf részek elszappanosodása után terjed ki a kristályos részekre, hanem — hasonlóan az acetátselyem elszappanosításakor észlelt megfigyelésekhez — az acetilezett pamut elszappanosítása az elemi szálak felületén indul meg és gyűrűsen halad a mikroheterogén szerkezettől függetlenül a szál belseje felé.

AZ AZIMUTNAK ÉS FÖLDRAJZI SZÉLESSÉGNEK EGY CSILLAG MEGFIGYELÉSEIBŐL ÚJ MÓDSZERREL VALÓ MEGHATÁROZÁSA*

TÁRCZY-HORNOCH ANTAL

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA RENDES TAGJA

[Beérkezett 1956. május 17-én]

Az a nagy érdeklődés, amely S. K. GHOSH tanulmányát (Emp. Surv. Review. XII. 87, 17—26) kísérte, indokolja az alábbi sorok közzétételét. GHOSH szellemes téranalitikai megoldását tudvalevőleg nemrégiben (uo. XII. 94, 342—349) GOUGENHEIM közelítő értékek bevezetésével grafikus meghatározásra is jól használható módszerrel egészítette ki.

A probléma maga tulajdonképpen egyik variánsa annak a feladatcsoportnak, amelynél egy vagy több csillag különböző helyzetben való megfigyeléséből egy pontban a meridiánt és földrajzi szélességet meghatározzuk. Ezeknél a bizonyos technikai célokra szolgáló vagy felfedező utakon végzett méréseknél nem a felsőgeodézia szélső pontosságára, hanem elsősorban a külső mérések gyorsaságára törekszünk. Az e csoportba tartozó feladatokat jó áttekintésben C. W. WIRTZ foglalta össze.[1] Mi az ott tárgyalt problémákat 1938-ban azzal egészítettük ki, hogy ugyanazon csillag két különböző helyzetének magassági szögéből, idő- és azimutkülönbségéből — adott csillagdeklináció mellett szigorú kiegyenlítéssel is — meghatároztuk a földrajzi koordinátákat.[2] Minthogy ez a módszer alkalmasnak látszik a Gougenheim-féle számításhoz szükséges közelítő értékek meghatározására, tanulmányunkat ezzel kezdjük.

I

Föltételezzük tehát GHOSHsal és GOUGENHEIMmal együtt, hogy csillagkatalógusunk nincsen. Óra azonban mindenesetre van, s az alábbi megoldás még csak jó időt mutató órát sem kíván, mivel csak két idő különbségére van szükségünk.

Legyenek az 1. ábrán ábrázolt éggömbön viszonyainknak megfelelően P_N az északi sarok, Z a zenit, QQ' az égi aequator, W a nyugati pont, S_1 és S_2

* A tanulmány angolul az Empire Survey Review 1956. évi januári számában jelent meg. A cím az ugyanott megjelent előbbi tanulmányok címéhez alkalmazkodik.

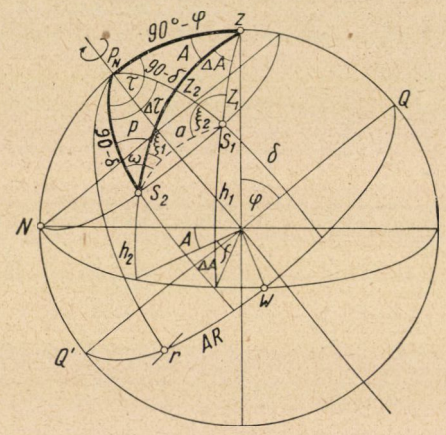
[1] Encyklopedie der Mathematischen Wissenschaften Vol. VI/2, 1. Hälfte, pp. 100—105.

[2] Über eine Methode der gleichzeitigen Meridian- Breiten- und Zeitbestimmung. Publications of the Department of Mining and Metallurgy, Sopron. Vol. X. pp. 157—168.

a csillagnak két megfigyelt helyzete, amelyeknek z_1 és z_2 zenittávolságát, illetőleg h_1 és h_2 magassági szögét meghatároztuk, s vízszintesvetületi irányait a vízszintes körön, végül a leolvasások t_1 és t_2 időpontját egy órán leolvastuk. δ a felhasznált csillagnak ismeretlen deklinációja. A megmért adatokból ismeretesek tehát az 1. ábrán ΔA és $\Delta\tau$. Ennek megfelelően számítható az S_1S_2Z gömbháromszögből az S_1 és S_2 közötti a gömbi oldal és ξ_1 szög :

$$\cos a = \cos z_1 \cos z_2 + \sin z_1 \sin z_2 \cos \Delta A \tag{1}$$

$$\sin \xi_1 = \frac{\sin z_1 \sin \Delta A}{\sin a} . \tag{2}$$



1. ábra

Az $S_1 S_2 P_N$ egyenlőszárú gömbháromszögből :

$$\cos a = \sin^2 \delta + \cos^2 \delta \cos \Delta\tau = 1 - \cos^2 \delta \,(1 - \cos \Delta\tau). \tag{1a}$$

Ebből :

$$\cos \delta = \sqrt{\frac{1 - \cos a}{1 - \cos \Delta\tau}} = \frac{\sin \dfrac{a}{2}}{\sin \dfrac{\Delta\tau}{2}} \tag{3}$$

δ ismeretében :

$$\sin \omega = \frac{\sin \Delta\tau}{\sin a} \cos \delta . \tag{4}$$

Továbbá a p parallaktikus szög :

$$p = \begin{matrix}(+)\\(-)\end{matrix} \omega \begin{matrix}(+)\\(-)\end{matrix} \xi_1 . \tag{5}$$

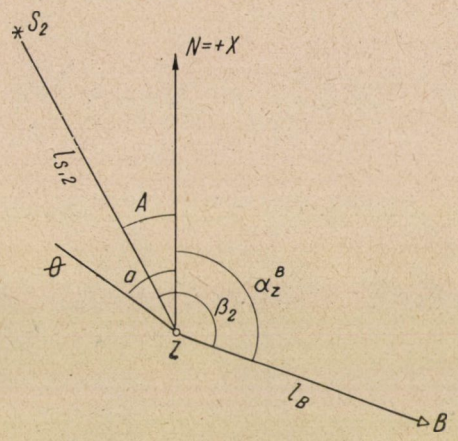
Ebben a képletben a nagyobb zenittávolságú pont p értékének a kiszámításánál ω pozitív, míg a kisebb zenittávolságúéban negatív. Viszont ξ pozitív, ha a kérdéses csillag-helyzet vízszintes vetületi irányához viszonyítva a másik helyzet vízszintes vetületi iránya felső kulmináció előtt balra, felső kulmináció után jobbra tér el. Az ellenkező esetben ξ negatív előjelű.

Ezzel :

$$\sin \varphi = \sin \delta \cos z_2 + \cos \delta \sin z_2 \cos p \tag{6}$$

és végül :

$$\sin A = \cos \delta \frac{\sin p}{\cos \varphi} . \tag{7}$$



2. ábra

Ez utóbbival a 2. ábra szerint a $\overline{ZB}$ oldal α_z^B azimutja, ha $l_{s,2}$ a csillag második helyzetének, s l_B a B földi pontnak megfelelő limbusleolvasást jelenti :

$$\alpha_z^B = l_B - (l_{s,2} + A) . \tag{8}$$

Ez érvényes tehát a felső kulmináció után.

Ha a csillagot a felső kulmináció előtt figyeljük meg, azaz S_2 magassági szöge nagyobb, mint S_1-é, akkor :

$$\alpha_z^B = l_B - (l_{s,2} - A) . \tag{8a}$$

A fenti képletekkel δ, φ és A részére elég jó közelítő értékeket tudunk levezetni.

Az a kérdés, milyen pontosak az így kapott értékek, mert kellő pontosság esetén ezeket egyes célokra véglegeseknek is tekinthetjük.

A megmért szögek hatását a számított a értékre (1) differenciálásából kapjuk:

$$-\sin a\, da = (-\sin z_1 \cos z_2 + \cos z_1 \sin z_2 \cos \Delta A)\, dz_1 +$$
$$+ (-\sin z_2 \cos z_1 + \cos z_2 \sin z_1 \cos \Delta A)\, dz_2 -$$
$$- \sin z_1 \sin z_2 \sin \Delta A\, dA\,.$$

Ha z_1-nek középhibája $\pm m_{z,1}$, z_2-é $\pm m_{z,2}$ és ΔA-é $\pm m_{\Delta A}$, akkor a keresett $\pm m_a$ középhiba tudvalévőleg:

$$m_a = \frac{\sqrt{(\sin z_1 \cos z_2 - \cos z_1 \sin z_2 \cos \Delta A)^2 m_{z,1}^2 + (\sin z_2 \cos z_1 - \cos z_2 \sin z_1 \cos \Delta A)^2 m_{z,2}^2 + (\sin z_1 \sin z_2 \sin \Delta A)^2 m_{\Delta A}^2}}{\sin a} \tag{9}$$

Tekintetbe véve a korszerű teodolit teljesítőképességét $\pm m_a$ általában nem lesz túl nagy értékű, különösen, ha z_1 és z_2 közel 45°, s ΔA viszont 0°, illetőleg 180° körüli érték.

Kedvezőtlenebb az eset, ha a (3) egyenlet szerint δ-t számítjuk ki. (3) differenciálásából:

$$-\sin \delta\, d\delta = -\frac{1}{2} \sin \frac{a}{2} \left(\sin \frac{\Delta\tau}{2}\right)^{-2} \cos \frac{\Delta\tau}{2}\, d\tau + \frac{1}{2} \left(\sin \frac{\Delta\tau}{2}\right)^{-1} \cos \frac{a}{2}\, da\,.$$

Ebből δ-nak m_δ középhibája $\Delta\tau$-nak $m_{\Delta\tau}$ középhibája mellett:

$$m_\delta = \frac{1}{2} \operatorname{ctg} \delta \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \frac{\Delta\tau}{2}\, m_{\Delta\tau}^2 + \operatorname{ctg}^2 \frac{a}{2}\, m_a^2}\,. \tag{10}$$

Látjuk, hogy különösen kis deklinációjú csillagoknál, valamint kis $\Delta\tau$ és a értékek mellett m_δ igen nagy lehet. Különösen $\Delta\tau$ hibája káros, mivel 1 idő-sec-nak szögértékben már 15″ felel meg. Mármost ha $\Delta\tau$-t növeljük, a (9) egyenletben kisebbedik ugyan a $\operatorname{ctg}^2 \frac{\Delta\tau}{2}$ értéke, de ugyanakkor nő $m_{\Delta\tau}^2$ értéke, mivel a több órás $\Delta\tau$ időtartamnak az óra járása miatt könnyen néhány időmásodperc hibája is lehet. Csak ha $\Delta\tau = 180° = 12^h$, tűnik el $\Delta\tau$ hibájának hatása a csillag deklinációjára. Minthogy azonban egyrészt ily hosszú ideig nem tart mindenütt és mindig a méréshez szükséges sötétség, másrészt a félnapos időköz a mérést nagyon meglassítja, megállapíthatjuk, hogy a (3) egyenlet szerinti deklináció-meghatározást perces hiba is terhelheti, s ez a δ-val számított többi szögértékre is átvivődhetik. A (3—7) egyenletek szerinti számítás tehát legtöbbször csak közelítő értékek levezetésére szolgál, de éppen ezért jól használhatónak látszik GOUGENHEIM módszerének kiegészítésére.

Más a helyzet, ha a kérdéses csillag deklinációját ismerjük, mert akkor a (4—7) egyenletek segítségével φ-t és A-t δ előbb vizsgált hibáinak hatása nélkül határozhatjuk meg, és így ezek számottevően pontosabbak is lesznek. Sőt, ha ebben az esetben az (1) és (1a) egyenleteket egymással egyenlővé tesszük, e feltételből kiegyenlítés útján még a számított értékek pontosságát is fokozhatjuk, amint ezt [2] jegyzetben megadott tanulmányunkban egy konkrét eset kapcsán meg is tettük. Sőt ebben a jól járó óra folytán a földrajzi hosszúsági különbséget is meg tudtuk adni.

II

Biddle észrevétele (XII. 89, p. 143) Ghosh megoldásával szemben, hogy a számításhoz szükséges összefüggések egyszerűbben közvetlenül is felírhatók, különösen akkor helytálló, ha egyes ismeretleneket vagy értékcsoportokat úgy választunk meg, hogy a kapott kifejezések egyszerűsödjenek. Így pl. egyszerűsítés céljából ismeretlen gyanánt célszerű az 1. és 2. ábra szerinti A-t bevezetni, amikor is 3 megfigyelt csillaghelyzet mellett ezt a 3. csillaghelyzetre vonatkoztatjuk. Ekkor ugyanis az 1. ábra szerint értelemszerűen, ha az adott ΔA_2 és ΔA_1 a második, illetőleg első csillaghelyzet azimutbeli eltérését jelenti:

$$\begin{aligned} &\Delta A_2 = l_{s,3} - l_{s,2} \text{ és } \Delta A_1 = l_{s,3} - l_{s,1} \text{ felső kulmináció után, illetőleg} \\ &\Delta A_2 = l_{s,2} - l_{s,3} \text{ és } \Delta A_1 = l_{s,1} - l_{s,3} \text{ felső kulmináció előtt,} \end{aligned} \tag{11}$$

Ezekkel

$$\begin{aligned} \sin\delta &= \sin\varphi\cos z_3 + \cos\varphi\sin z_3\cos A \\ \sin\delta &= \sin\varphi\cos z_2 + \cos\varphi\sin z_2\cos(A+\Delta A_2) \\ \sin\delta &= \sin\varphi\cos z_1 + \cos\varphi\sin z_1\cos(A+\Delta A_1). \end{aligned} \tag{11a}$$

A fenti képletcsoport minden csillaghelyzetre érvényes, ha A az északi iránytól mért szöget jelenti és a ΔA szimbólumokat előjeles mennyiségnek tekintjük. Az első két, valamint az első és harmadik egyenlet egyenlővé tételéből cos φ-vel való végigosztás után lesz:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\varphi(\cos z_3 - \cos z_2) &= \sin z_2\cos(A+\Delta A_2) - \sin z_3\cos A \\ \operatorname{tg}\varphi(\cos z_3 - \cos z_1) &= \sin z_1\cos(A+\Delta A_1) - \sin z_3\cos A. \end{aligned}$$

Ebből:

$$\frac{\cos z_3 - \cos z_2}{\cos z_3 - \cos z_1} = \frac{\sin z_2\cos(A+\Delta A_2) - \sin z_3\cos A}{\sin z_1\cos(A+\Delta A_1) - \sin z_3\cos A}.$$

Ha az adott $\frac{\cos z_3 - \cos z_2}{\cos z_3 - \cos z_1}$ kifejezést K-val jelöljük, tehát:

$$K = \frac{\cos z_3 - \cos z_2}{\cos z_3 - \cos z_1} \tag{12}$$

lesz belőle az egyetlen tg A ismeretlen:

$$\operatorname{tg} A = \frac{(\sin z_2 \cos \Delta A_2 - \sin z_3) - K(\sin z_1 \cos \Delta A_1 - \sin z_3)}{\sin z_2 \sin \Delta A_2 - K \sin z_1 \sin \Delta A_1} . \tag{12a}$$

Továbbá:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin z_2 \cos (A + \Delta A_2) - \sin z_3 \cos A}{\cos z_3 - \cos z_2} =$$

$$= \frac{K[\sin z_1 \cos (A + \Delta A_1) - \sin z_3 \cos A]}{\cos z_3 - \cos z_2} , \tag{13}$$

míg δ a (11) első egyenletéből adódik.

Számológéppel és Brandenburg-féle táblázattal ez kétségtelenül gyors és áttekinthető megoldást ad, egyébként azonban ez még a fenti egyszerűsített alakjában sem egészen kényelmes. GHOSH megoldásának hátránya viszont, hogy téranalitikai képletei matematikai (pl. 1. ábráján), míg mérései geodéziai koordináta-rendszerre vonatkoznak.

GHOSH tanulmánya példájának adataival pl. a következő eredményeket kapjuk:

$$K = \frac{0{,}7748495 - 0{,}6997672}{0{,}7748495 - 0{,}5387953} = 0{,}3180723 .$$

Ezzel (12) szerint ($\Delta A_1 = l_{s,1} - l_{s,3} = -43° 33' 43''$, $\Delta A_2 = l_{s,2} - l_{s,3} = -24° 44' 22''$):

$$\operatorname{tg} A = \frac{-(0{,}7143709 \cdot 0{,}9082203 - 0{,}6321458) + 0{,}3180723\,(0{,}8424367 \cdot 0{,}7246298 - 0{,}6321458)}{(0{,}7143709 \cdot 0{,}4184924) - 0{,}3180723\,(0{,}8424367 \cdot 0{,}6891384)} =$$

$$= \frac{-0{,}0166604 - 0{,}0068993}{0{,}2989588 - 0{,}1846584} = \frac{-0{,}0235597}{0{,}1143002} = -0{,}20612124$$

a tangens negatív értéke itt II. negyedbeli szöget jelent és így:

$$A = 168° 21' 11'' .$$

Minthogy GHOSHnál az X-tengelyének az északi iránytól számított azimutja 80°19′24″, a harmadik csillaghelyzetnek megfelelő vízszintes vetületi szög $\Theta_3 = 88°01'39''$, azért az ő értékeivel:

$$A = 80° 19' 24'' + 80° 01' 39'' = 168° 21' 03'' .$$

A mutatkozó eltérést GHOSH kisebb számítási hibái okozzák. Így helyesebben (23—24. old.):

$$y_3 = 0{,}631771 \text{ (0,631772 helyett)}$$
$$z_3 = 0{,}774850 \text{ (0,774859 helyett).}$$

Ennek megfelelően a továbbiakban:

$$\cos \gamma = 0{,}5059024 \text{ (0,505950 helyett)}$$
$$\gamma = 59^\circ 36' 31'' \text{ (59° 36′ 20″ helyett)}$$

és b = 80°19′32″ (80° 19′ 24″ helyett), illetőleg R. O. azimutja 260° 19′ 32″ (260° 19′ 24″) helyett, amelyekkel végül pontosan a mi fenti A-értékünket kapjuk.

Végül (13) szerint:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{-0{,}7143709 \cdot 0{,}8050347 + 0{,}6321458 \cdot 0{,}9794082}{0{,}7748495 - 0{,}6997672} = \frac{0{,}0440354}{0{,}0750823} =$$

$$= 0{,}5864951. \text{ Ebből } \varphi = 30^\circ 23' 29'' \text{ (30° 23′ 40″ helyett).}$$

III

Ha háromnál több helyzetben figyeltük meg a csillagot, fölös mérések keletkeznek és eredményeinket kiegyenlítés útján pontosabbá tehetjük. A kiegyenlítéshez szükséges közelítő értékeket itt is a (3—7) egyenletekből kaphatjuk. Ha ezeket φ_0, δ_0 és A_0-val jelöljük, úgy ezek $\delta\varphi$, $\delta\delta$ és δA korrekcióit a kiegyenlítés útján kell meghatározni. A javításokat tudvalevőleg a megmért értékeknek kell adni, s ezért itt a kiegyenlítésnél célszerűbb a (11) egyenletekben A, $A + \Delta A_{n-1}$, ... $A + \Delta A_2$, $A + \Delta A_1$-t a 2. ábra szerint a limbuskörön a meridiánnak megfelelő ismeretlen a leolvasás segítségével a következőképpen kifejezni:

$$\begin{aligned} A &= a - l_{s,n} \\ A + \Delta A_{n-1} &= a - l_{s,n-1} \\ &\vdots \\ A + \Delta A_2 &= a - l_{s,2} \\ A + \Delta A_1 &= a - l_{s,1}\,. \end{aligned} \tag{14}$$

A felső kulmináción inneni csillaghelyzeteknél a jobboldal előjele megváltozik.

Nyilvánvaló, hogy a kiszámított A_0 közelítő értékből

$$a_0 = A_0 - l_{s,n} \tag{15}$$

és így:

$$\delta a = \delta A\,.$$

A (11) egyenleteknek a (14) segítségével való értelem szerinti kiegészítése után a z szögeknek a v_z és az l_s limbusleolvasásoknak a v_s javításokat adva, a következő egyenletekhez jutunk :

$$\begin{aligned}
\sin(\delta_0+\delta\delta) &= \sin(\varphi_0+\delta\varphi)\cos(z_n+v_{z,n}) + \cos(\varphi_0+\delta\varphi)\sin(z_n+ \\
&\qquad + v_{z,n})\cos(a_0+\delta a - l_{s,n} - v_{s,n}) \\
\sin(\delta_0+\delta\delta) &= \sin(\varphi_0+\delta\varphi)\cos(z_{n-1}+v_{z,n-1}) + \cos(\varphi_0+\delta\varphi)\sin(z_{n-1}+ \\
&\qquad + v_{z,n-1})\cos(a_0+\delta a - l_{s,n-1} - v_{s,n-1}) \qquad (16) \\
\sin(\delta_0+\delta\delta) &= \sin(\varphi_0+\delta\varphi)\cos(z_1+v_{z,1}) + \cos(\varphi_0+\delta\varphi)\sin(z_1+ \\
&\qquad v_{z,1})\cos(a_0+\delta a - l_{s,1} - v_{s,1}) .
\end{aligned}$$

A (16) egyenletek sorbafejtése és jó közelítő értékek esetén a magasabbrendű tagok elhanyagolása után az ismeretlen $\delta\varphi$, $\delta\delta$ és δa, valamint a v javításokra lineáris alábbi egyenleteket kapjuk :

$$\begin{aligned}
&(\cos\varphi_0\cos z_1\cos(a_0-l_{s,1}) - \sin\varphi_0\sin z_1)\,v_{z,1} + \cos\varphi_0\sin z_1\sin(a_0-l_{s,1})\,v_{s,1} - \\
&- \cos\delta_0\,\delta\delta + (\cos\varphi_0\cos z_1 - \sin\varphi_0\sin z_1\cos(a_0-l_{s,1}))\,\delta\varphi - \cos\varphi_0\sin z_1\sin(a_0- \\
&- l_{s,1})\,\delta a + \{\sin\varphi_0\cos z_1 + \cos\varphi_0\sin z_1\cos(a_0-l_{s,1}) - \sin\delta_0\} = 0 \qquad (17) \\
&(\cos\varphi_0\cos z_2\cos(a_0-l_{s,2}) - \sin\varphi_0\sin z_2)\,v_{z,2} + \cos\varphi_0\sin z_2\sin(a_0-l_{s,2})\,v_{s,2} - \\
&- \cos\delta_0\,\delta\delta + (\cos\varphi_0\cos z_2 - \sin\varphi_0\sin z_2\cos(a_0-l_{s,2}))\,\delta\varphi - \cos\varphi_0\sin z_2\sin(a_0- \\
&- l_{s,2})\,\delta a + \{\sin\varphi_0\cos z_2 + \cos\varphi_0\sin z_2\cos(a_0-l_{s,2}) - \sin\delta_0\} = 0 .
\end{aligned}$$

Ha $v_{z,1}$ adott koefficiensét a_1-gyel, $v_{s,1}$-ét a_2-vel, $\delta\delta$-ét A_1-gyel, $\delta\varphi$-ét B_1-gyel, δa-ét C_1-gyel, az első egyenlet kígyós zárójelében levő kifejezését l_1-gyel, míg a második egyenletben $v_{z,2}$-ét b_1-gyel, $v_{s,2}$-ét b_2-vel, $\delta\delta$-ét A_2-vel, $\delta\varphi$-ét B_2-vel, δa-ét C_2-vel, a kígyós zárójelben levő kifejezést pedig l_2-vel jelöljük, a következő egyenleteket kapjuk :

$$\begin{aligned}
&a_1 v_{z,1} + a_2 v_{s,1} + A_1\,\delta\delta + B_1\,\delta\varphi + C_1\,\delta a + l_1 = 0 \\
&b_1 v_{z,2} + b_2 v_{s,2} + A_2\,\delta\delta + B_2\,\delta\varphi + C_2\,\delta a + l_2 = 0 . \qquad (18)
\end{aligned}$$

Ezek föltételi egyenletek (minthogy minden egyenletben több javítás van) meg nem mért és számítandó $\delta\delta$, $\delta\varphi$ és δa ismeretlenekkel. A feladat megoldása a szakirodalomból ismert.[3] Esetünkben a megoldást megkönnyíti, hogy

[3] Pl. JORDAN—EGGERT : Handbuch der Vermessungskunde I. köt. (1935.) pp. 183—187.

az egy-egy egyenletben szereplő v-javítások a többi egyenletben nem fordulnak elő. Ezért a következő megoldást alkalmazhatjuk:

Ha a z értékekhez tartozó súlyokat $p_{z,1}$, $p_{z,2}$ ...-vel, s-értékekhez tartozó súlyokat $p_{s,1}$, $p_{s,2}$ ...-vel jelöljük, akkor az

$$\frac{1}{\frac{a_1^2}{p_{z,1}} + \frac{a_2^2}{p_{s,1}}} = P_1 \qquad \frac{1}{\frac{b_1^2}{p_{z,2}} + \frac{b_2^2}{p_{s,2}}} = P_2 \tag{19}$$

értékekkel a következő normálegyenleteket kapjuk:

$$\begin{aligned}
[PAA]\,\delta\delta + [PAB]\,\delta\varphi + [PAC]\,\delta a + [PAl] &= 0 \\
[PAB]\,\delta\delta + [PBB]\,\delta\varphi + [PBC]\,\delta a + [PBl] &= 0 \\
[PAC]\,\delta\delta + [PBC]\,\delta\varphi + [PCC]\,\delta a + [PCl] &= 0\,.
\end{aligned} \tag{20}$$

Ezekből ismert módon $\delta\delta$-t, $\delta\varphi$-t és δa-t kiszámítva a végleges értékek:

$$\delta = \delta_0 + \delta\delta\,, \qquad \varphi = \varphi_0 + \delta\varphi \qquad \text{és} \qquad a = a_0 + \delta a \tag{21}$$

lesznek. $\delta\delta$, $\delta\varphi$ és δa-nak a számításból kapott középhibái egyszersmind δ, φ és a középhibáit is jelentik.

Rövidebb időközökben megismételt nagyobb számú méréssel így a pontosságot jelentősen fokozni lehet. Ez akkor célszerű, ha nagyobb pontossági igények mellett az utólagos pontosabb számításhoz mód van.

Itt említjük meg, hogy csak három mérés esetén a (16) egyenletekben a v-értékek nullák kell hogy legyenek, s a megmaradt tagok értelemszerűen GOUGENHEIM közelítő érték bevezetésével lineárissá tett egyenleteit kell hogy adják. Ezért ezek számítására háromnál több mérés esetén is a GOUGENHEIM megadta egyszerűbb számítási módszerek ugyancsak felhasználhatók. A v_s-javításoknak negatív előjellel ugyanaz a koefficiensük, mint δa-é, míg a v_z javítások koefficiense gyanánt $-\sin(a_0 - l_s)\,\mathrm{ctg}\,p$ írható.

ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző az Empire Survey Review hasábjain többszörösen tárgyalt témát egészíti ki. A Gougenheim-féle megoldáshoz szükséges közelítő értékeket a csillag két helyzetében megfigyelt zenittávolságok vízszintes vetületi irány- és időkülönbségei segítségével a (3), (6) és (7) egyenletekben adja meg. GHOSH téranalitikai megoldása helyett a szerző az azimutnak mint ismeretlennek a bevezetése útján (12a)-ban és (13)-ban a számológéppel való számításhoz viszonylag egyszerű egyenleteket vezet le, s velük GHOSH számítási példáját ellenőrzi.

Ha ugyanannak a csillagnak háromnál több helyzetben való mérését végeztük el, a pontosságot kiegyenlítés útján fokozhatjuk. Ennek egyenleteit (17) és (18), illetőleg (19) és (20) adja meg. Ez utóbbi egyenletek a feladatnak a megoldására csak három helyzetben való megfigyelésnél is felhasználhatók.

GEOFIZIKAI MÉRÉSEK ALAPJÁN SZÁMÍTOTT ÉRTÉKEK MEGBÍZHATÓSÁGA*

TÁRCZY-HORNOCH ANTAL

A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA RENDES TAGJA

[Beérkezett 1956. május 17-én]

Kereken 150 éve annak, hogy LEGENDRE 1805-ben a „Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes" c. vizsgálatában a legkisebb négyzetek módszerét nyilvánosságra hozta, miután a 100 éve meghalt GAUSS ugyanezen módszert évekkel előtte már gyakorlatilag alkalmazta. Mind GAUSS, mind LEGENDRE a legkisebb négyzetek módszerét főképpen a csillagászat szolgálatába állította : az égitestek pályaelemeinek meghatározására. Hamarosan átvette a módszert a geodézia, és itt az évtizedek folyamán lényegesen továbbfejlődött, és csaknem kizárólag erre a területre szorítkozó alkalmazása miatt napjainkban a kiegyenlítőszámítást geodéziai és bányaméréstani tudománynak tekintik.

Mi azonban úgy véljük, hogy a kiegyenlítőszámítás, de még inkább a vele szoros kapcsolatban levő hibavizsgálat az általános és alkalmazott geofizikának is jó szolgálatot tehet, s ennélfogva nem lesz teljesen hiábavaló, ha egy-két gondolatot itt e körből megvilágítunk.

Bevezetésül megemlíthető, hogy a kiegyenlítőszámításnak a geofizikában való alkalmazása nem teljesen újszerű. A geodéziával szorosan összefüggő gravitációs mérések területein találkozunk a leggyakrabban az alkalmazásával. A geofizika egyéb területeiről megkívánjuk említeni : ROMAN [1], SCHMERWITZ [2] és JANCZEWSKI [3] munkáit. A kiegyenlítéstől független önálló hibavizsgálatokat viszont csak igen szórványosan találunk, mint pl. MATSCHINSKIét [4]. Saját vizsgálataink egy része MATSCHINSKI munkájával egy időben jelent meg ugyanott [5], és abban hivatkoztunk egyik régebbi vizsgálatunkra [6]. Vele csaknem egy időben jelent meg POSGAY tanulmánya is [7]. A nem szigorú kiegyenlítéssel kapcsolatos hibavizsgálatokat a geofizikában fontosabbnak tartjuk, mint magát a szigorú kiegyenlítést.

Mindenekelőtt felelevenítjük a hibaterjedés ismert törvényét. Legyen valamely számítandó U érték a megmért $x, y, z \ldots$ mennyiségeknek függvénye, amelyeknek középhibája $\pm \mu_x$, $\pm \mu_y$, $\pm \mu_z \ldots$. Akkor az U érték μ_U közép-

* Németül megjelent a Freiberger Forschungshefteben. A tanulmány az 1955. évi Freiberger Tagungra készült.

hibája :

$$\pm \mu_U = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 \mu_x^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 \mu_y^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2 \mu_z^2} \,. \tag{1}$$

A középhibából, mint ismeretes, a maximális hibára is következtethetünk. Kimutatható, hogy a kétszeres középhibát 22 esetből egyszer, a háromszorosat 370 esetből egyszer és a négyszeres középhibát 15 800 esetből egyszer lépjük túl. Ennélfogva általában a háromszoros középhibát tekintjük még oly hibának, amellyel mint méréseinknél előfordulóval számolnunk kell. Bizonyos körülmények között célszerű lehet nagyobb biztonság céljából a négyszeres középhibával mint maximális előforduló hibával számolni.

Az (1) alatt általánosan megadott összefüggés különleges esetekben, különösen lineáris összefüggéseknél egyszerűbb alakot vehet fel. Ha az U függvény logaritmálható, úgy célszerűen a differenciálások helyett a logaritmusos táblakülönbségek alkalmazhatók.

A mindenkori (1) összefüggés alapján következtetni tudunk arra, hogy mely középhibák befolyásolják erősebben és melyek kevésbé a számítandó μ_U középhibát. Ez a műszertervezés vagy a mérési módszer szempontjából lehet hasznos, mint ahogy ezt a következő példa mutatja.

A nehézségi gyorsulás meghatározásakor alkalmazott ingáknál, mint tudjuk, ha T a lengésidőt, l a redukált ingahosszat, α a legnagyobb kilengés szögét, tehát az amplitudót és g a nehézségi gyorsulást jelenti, a következő összefüggés érvényes :

$$T = \pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \sin^4 \frac{\alpha}{2} + \ldots\right). \tag{2}$$

Ebből nyerjük a keresett nehézségi gyorsulást :

$$g = \frac{\pi^2 l}{T^2} \left(1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \sin^2 \frac{\alpha}{2} + \left(\frac{3}{8}\right)^2 \sin^4 \frac{\alpha}{2} \ldots\right)^2 = \frac{\pi^2}{T^2} l K^2 \,, \tag{2a}$$

ahol a zárójelben levő kifejezést egyszerűsítés céljából K-val jelöljük. Ha most adva van a $\pm \mu_l$, $\pm \mu_T$ és $\pm \mu_\alpha$ középhiba, vagy ezeket előre felvehetjük, akkor a g érték μ_g középhibájára az alábbiakat kapjuk:

$$\frac{\partial g}{\partial l} = \frac{\pi^2}{T^2} K^2 = \frac{g}{l} \qquad \frac{\partial g}{\partial T} = -\frac{2\pi^2 l K^2}{T^3} = -\frac{2g}{T}$$

$$\frac{\partial g}{\partial \alpha} = \frac{\pi^2 l}{T^2} K \left(\frac{1}{4} \sin \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} + \frac{9}{32} \sin^3 \frac{\alpha}{2} \cos \frac{\alpha}{2} \ldots\right) = \tag{3}$$

$$= \frac{g}{K} \left(\frac{1}{8} \sin \alpha + \frac{9}{64} \sin \alpha \sin^2 \frac{\alpha}{2} \ldots\right).$$

Helyettesítsük most ezeket az értékeket az (1) egyenletbe úgy, hogy $x = l$, $y = T$ és $z = \alpha$ legyen, akkor megkapjuk a számítandó nehézségi gyorsulás μ_g középhibáját.

A továbbiakban az egyes hibabefolyásokat egyenként kívánjuk megvizsgálni.

A hosszhiba által g-ben okozott középhiba, tehát $\mu_{g,l}$ kifejezhető:

$$\mu_{g,l} = \pm \frac{g}{l} \mu_l = \pm g \frac{\mu_l}{l} . \tag{4}$$

Ha g értékét kerek 978 gal-ban vesszük fel és azt kívánjuk elérni, hogy a μ_l által létrehozott $\mu_{g,l}$ középhiba ne legyen nagyobb 1 mgal-nál, úgy a következő összefüggésnek kell fennállni:

$$\frac{\mu_l}{l} \leq \frac{1}{978\,000} \doteq \frac{1}{1\,000\,000} .$$

Az l hossznak egy milliomod relatív hibával való meghatározása azt jelenti, hogy $l = 1$ m esetén a középhiba 0,001 mm lehet, amely tekintélyes pontossági követelmény. Hasonló pontossággal kell tehát természetesen a mérés ideje alatt a hosszat befolyásoló külső tényezőket is meghatározni. Rövidebb ingahossz esetén természetesen a számszerű pontossági követelmény ennek megfelelően még nagyobb.

Az időmérés hibájából g-ben okozott $\mu_{g,T}$ középhibát a (3) egyenlet alapján kapjuk:

$$\mu_{g,T} = \pm \frac{2g}{T} \mu_T = \pm g \frac{2\mu_T}{T} . \tag{5}$$

Amennyiben ismét azt kívánjuk, hogy μ_T által g-ben okozott $\mu_{g,T}$ középhiba ne legyen nagyobb 1 mgal-nál, akkor a $\frac{\mu_T}{T} \leq \frac{1}{2 \cdot 978\,000} \doteq \frac{1}{2\,000\,000}$ egyenlőtlenségnek kell fennállani, melyből kifolyólag a lengésidőt kétmilliomod relatív középhibával kell meghatároznunk. Ez kerek 1 m ingahossz esetén kereken 0,5 μsec középhibát jelent. Ha figyelembe vesszük, hogy a lengésidő meghatározását nemcsak az időleolvasás hibája, hanem több korrekció meghatározásának pontatlansága is befolyásolja, s mindezeknek együttes értéke nem lépheti túl a 0,5 μsec-ot, úgy nyilvánvaló a műszer- és méréstechnikával szemben támasztott hatalmas követelmény.

Vizsgáljuk meg most, hogy a lengés időtartamának meghatározása céljából az ingának a nyugalmi helyzeten való átmenetelének megfigyelése vagy pedig a koincidencián alapuló módszer kedvezőbb-e.

A nyugalmi helyzeten való átmenet megfigyelésénél mind az elején, mind a végén 50 leolvasást kívánunk végezni $\pm$ 0,001 sec középhibával, amikor is a középértékek között 500 kilengés van. Ennek alapján az 50 időleolvasás középhibája $\pm \frac{0{,}01}{\sqrt{50}} = \pm 0{,}00143$ sec, s mindkét mérés középértékének különbségében $0{,}00143\sqrt{2} = \pm 0{,}00202$ sec lesz. Ennélfogva egy kilengésre $\mu_T = \pm \frac{0{,}00202}{500} =$ $= \pm 0{,}000004$ sec esik, ami még mindig nyolcszor nagyobb a megengedettnél. Mindamellett a mindenkori óraállást hibamentesnek tételezzük fel, amely azonban gyakorlatilag nem érhető el.

Ezzel szemben a koincidencián alapuló módszernél, amikor T' az ingaóra lengésidejét és c az ingaóra két koincidenciája között levő lengések számát jelenti,* a másodpercinga lengésideje a következőképpen fejezhető ki:

$$T = \frac{c}{c \begin{pmatrix} + \\ - \end{pmatrix} 1} T' = T' \begin{pmatrix} - \\ + \end{pmatrix} \frac{T'}{c \begin{pmatrix} + \\ - \end{pmatrix} 1}. \tag{6}$$

Félszekundumos inga esetén az összefüggés a következő:

$$T = \frac{c}{2\, c \begin{pmatrix} + \\ - \end{pmatrix} 1} T'. \tag{6a}$$

Közelebbről csupán a másodpercingát kívánjuk vizsgálni, mivel ennek analógiájára az összes többi értelemszerűen megvizsgálható. Az előbbi kifejezésben a felső előjel akkor érvényes, ha az inga gyorsabban leng, mint az ingaóra, míg az alsó előjel akkor, ha lassabban.

Jelöljük az ingaóra lengésidőtartamának középhibáját $\mu_{T'}$-vel, amelyet a μ_s óraállás középhibájával — feltéve, hogy két óraállás meghatározása között t idő telik el — a következő egyenlettel fejezhetjük ki:

$$\mu_{T'} = \pm \frac{\mu_s \sqrt{2}}{t} \tag{7}$$

$\mu_s = \pm$ 0,01 sec-ot és több, pl. 10 óra idő intervallumot feltételezve, ebből a

* c ennélfogva dimenzió nélküli szám. E miatt és az ingaóra T' lengésidőtartamának bevezetéséből kifolyólag, melynek szintén van hibája, különbözik a vizsgálatunk SCHMEHLétől [8; 3. o.]. Ez utóbbi tanulmányban c-nek másodperc dimenziója van, amely különféle kényelmetlenségekhez vezet. JORDAN—EGGERT: Handbuch der Vermessungskunde III/2. köt. 343. lapján előforduló egyenlet is kiegészítésre szorul

$$T = \frac{c}{c+1} = 1 - \frac{1}{c+1} \quad \text{továbbá} \quad T = \frac{c}{c-1} = 1 + \frac{1}{c-1}$$

összefüggésekben, amennyiben c itt is dimenzió nélküli szám.

következő értéket kapjuk :

$$\mu_{T'} = \pm \frac{0{,}01\sqrt{2}}{36\,000} = \pm\, 0{,}000\,0003 \text{ sec} = \pm\, 0{,}3\,\mu\text{sec}$$

természetesen egyenletes órajárást feltételezve.

A c lengésszám meghatározásakor felvehetjük ennek μ_c középhibájára az egy lengés tizedrészét. Az inga lengésidőtartam μ_T középhibájára a (6) egyenlet alapján a következőket kapjuk :

$$\mu_T = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial T'}\right)^2 \mu_{T'}^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial c}\right)^2 \mu_c^2} = \sqrt{\left(1 - \frac{1}{c^{(+)}_{(-)}1}\right)^2 \mu_{T'}^2 + T'^2 \frac{1}{(c^{(+)}_{(-)}1)^4}\mu_c^2}\,. \quad (8)$$

A továbbiakban figyelmen kívül hagyjuk az ingaóra lengés-időtartamának középhibáját, mivel ezt a nyugalmi helyzeten való átmenet megfigyelési módszernél szintén figyelmen kívül hagytuk. Ez esetben :

$$\mu_T = \pm \frac{T'^2}{(c^{(+)}_{(-)}1)^2}\,\mu_c\,. \quad (8a)$$

Ha T'-re kerek 1 sec-ot és $\mu_c = \pm\, 0{,}1$-et* veszünk fel a fenti egyenlet szerint:

$$\mu_T = \frac{0{,}1}{(c^{(+)}_{(-)}1)^2}\,. \quad (8b)$$

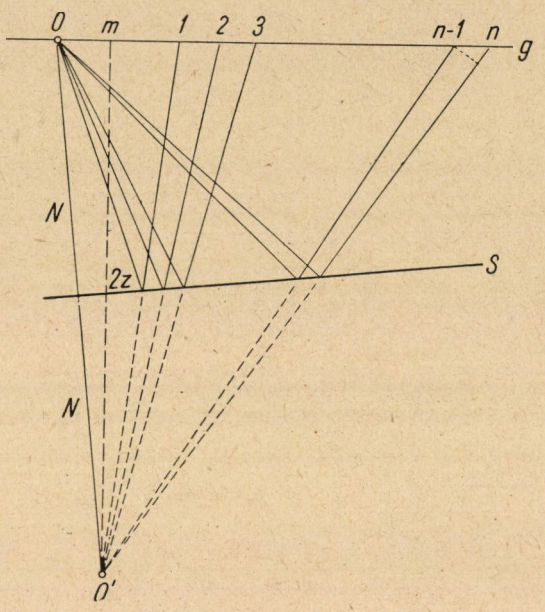
Összehasonlítva ezt a 4 μsec átmenet megfigyelési módszer középhibával, következik, hogy

$$c = \sqrt{\frac{0{,}1}{0{,}000\,004}} = 160\,^{(-)}_{(+)}1\,. \quad (8c)$$

Ha tehát a koincidencia 160 lengés után áll be, úgy ezen egy mérés alapján számított hiba egyenlő az átmenet megfigyelési módszernél 600 lengésből kapott időhibával. A c nagyobbításával, tehát az ingaóra és az inga közötti lengések különbségének kisebbítésével a pontosság egész lényegesen, mégpedig c^2-tel (és hasonlóképpen az idő négyzetével) növekvően növelhető. Ez hatásosabb módszer a pontosság növekedésre, mintha az átmenetek megfigyelési módszerénél a nem észlelt közbenső lengések számát növelnénk, mivel ez az eljárás a

* Szándékosan a μ_c-re nagy — gyakorlatilag könnyen betartható — értéket veszünk fel, hogy ezzel a koincidencián alapuló módszer teljesítőképességét szemmel láthatólag be tudjuk mutatni. A MEISSER közölte módszer esetén a lengésidő szintén egy-két 10^{-8} sec-os pontossággal határozható meg.

lengések számának és az időnek növelésével csak lineárisan csökkenti a hibát. Azonban mindkét módszert összekapcsolhatjuk, amennyiben a kezdetnél létesítünk néhány koincidenciát és ezt kb. egy óra elteltével megismételjük. A pontos óraidőkülönbségek, illetőleg az ezeknek megfelelő ingalengések alapján c-t lényegesen pontosabban tudjuk meghatározni 0,1 c-nél : a μ_c kisebbítésével a (8c) egyenlet értelmében csökken maga a szükséges c értéke is.



1. ábra

A legkedvezőtlenebb az a módszer, amelynél az átmeneteket megfigyelve a lengéseket egyenként is észleljük, mert itt a középérték-képzésnél a hiba csupán az észlelések számának és így az időnek is a gyökével csökken.

Hasonló elgondolások alapján bármilyen más eljárás, mint pl. a szabadesés módszere pontosság tekintetében az ismert hibatörvény alapján megvizsgálható.

*

Fejtegetéseink megrövidítése céljából csupán röviden érintjük a szeizmikus kutatási módszer pontosságvizsgálati kérdéseit.

Kérdés, milyen pontossággal tudjuk az átlagos terjedési sebességet a szeizmikus reflexiós módszernél meghatározni, ha ismertnek tételezzük fel az egyes beérkezési idők μ_t középhibáját és a meghatározásnál állandó geofontávolságokat alkalmazunk.

g egyenesen egyenlő magasságban egymástól d távolságban fekvő geofonokat feltételezve, fektessünk a g egyenesen át egy — az s reflektáló felületre — merőleges síkot. Legyen ez a sík az 1. ábrán a rajz síkja és ábrázolja O a robbantópontot, O' pedig ennek tükörpontját, N a normáltávolságot a meghatározandó s síktól az O robbantópontig, továbbá m az O' tükörpontnak a g egyenesre eső vetületét és $2z$ ennek a tükörponttól való távolságát jelenti. A visszavert hullámokkal az 1, 2, 3 .... geofonig megtett utat kifejezhetjük a $\overline{0'1}$, $\overline{0'2}$, $\overline{0'3}$ .... távolságokkal, és ha t_1, t_2, t_3 .... a megfelelő geofonok mért és megfelelő korrekciókkal ellátott időit jelenti, akkor a V meghatározandó átlagos terjedési sebesség mellett az 1. ábra alapján a következő összefüggés érvényes :

$$\begin{aligned} \overline{m1}^2 + 4z^2 &= V^2 t_1^2 \\ \overline{m2}^2 + 4z^2 &= V^2 t_2^2 \\ \overline{m3}^2 + 4z^2 &= V^2 t_3^2 . \\ &\vdots \end{aligned} \tag{9}$$

Vezessünk be most konstans d geofon-távolságokat és fejezzük ki az $\overline{m1}$, $\overline{m2}$, $\overline{m3}$-t Om távolsággal :

$$\begin{aligned} \overline{m1} &= \overline{01} - \overline{0m} \\ \overline{m2} &= \overline{02} - \overline{0m} = 01 + d - \overline{0m} \\ \overline{m3} &= 03 - \overline{0m} = 01 + 2d - \overline{0m} . \end{aligned}$$

Így a (9) egyenletek alapján :

$$\begin{aligned} \overline{01}^2 - 2\,\overline{01}\cdot\overline{0m} + \overline{0m}^2 + 4z^2 &= V^2 t_1^2 \\ 01^2 + 2d\,\overline{01} + d^2 - 2(\overline{01} + d)\,0m + \overline{0m}^2 + 4z^2 &= V^2 t_2^2 \\ \overline{01}^2 + 4d\,\overline{01} + 4d^2 - 2(\overline{01} + 2d)\,\overline{0m} + \overline{0m}^2 + 4z^2 &= V^2 t_3^2 . \end{aligned} \tag{10}$$

Ha most a (10) egyenletek harmadikából az első egyenletet levonjuk, akkor

$$4\,\overline{01}\,d + 4d^2 - 4\,\overline{0m}\cdot d = V^2(t_3^2 - t_1^2) . \tag{11}$$

Hasonlóképpen kapjuk, ha az elsőt a második egyenletből is kivonjuk :

$$2\,01\,d + d^2 - 2\,\overline{0m}\,d = V^2(t_2^2 - t_1^2) . \tag{11a}$$

Ez utóbbi egyenletet kettővel megszorozva és levonva a (11) egyenletből, kapjuk :

$$2d^2 = V^2(t_1^2 - 2t_2^2 + t_3^2) \tag{12}$$

s ebből az alábbi igen egyszerű összefüggés adódik:

$$V^2 = \frac{2\,d^2}{t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2}, \tag{13}$$

illetőleg:

$$V = d\sqrt{\frac{2}{t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2}}\,. \tag{13a}$$

Amennyiben most a V terjedési sebesség $\pm \mu_V$ középhibáját keressük, akkor adott $\pm \mu_{t_1}$, $\pm \mu_{t_2}$, $\pm \mu_{t_3}$ és $\pm \mu_d$ középhibák mellett:

$$\mu_V = \sqrt{\left(\frac{\partial V}{\partial t_1}\right)^2 \mu_{t_1}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial t_2}\right)^2 \mu_{t_2}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial t_3}\right)^2 \mu_{t_3}^2 + \left(\frac{\partial V}{\partial d}\right)^2 \mu_d^2}\,. \tag{14}$$

Minthogy esetünkben:

$$\frac{\partial V}{\partial t_1} = -\frac{d\sqrt{2}\,t_1}{\sqrt{(t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2)^3}} \qquad \frac{\partial V}{\partial t_2} = \frac{d\sqrt{8}\,t_2}{\sqrt{(t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2)^3}}$$

$$\frac{\partial V}{\partial t_3} = -\frac{d\sqrt{2}\,t_3}{\sqrt{(t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2)^3}} \qquad \frac{\partial V}{\partial d} = \sqrt{\frac{2}{t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2}} = \frac{V}{d},$$

ahol d könnyen 1—2 cm pontossággal meghatározható úgy, hogy μ_d nagyon kis értékű lévén, hatását figyelmen kívül hagyhatjuk. Egyenlő pontos, azaz egyenlő $\pm \mu_t$ középhibájú időméréseket feltételezve:

$$\mu_V = \pm \mu_t\, d\sqrt{\frac{2}{t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2}} \cdot \frac{\sqrt{t_1^2 + 4\,t_2^2 + t_3^2}}{(t_1^2 - 2\,t_2^2 + t_3^2)} = \pm \mu_t \frac{V^3}{2\,d^2}\sqrt{t_1^2 + 4\,t_2^2 + t_3^2}\,. \tag{15}$$

Számszerű megítélés céljából vegyük fel, hogy $\mu_t = \pm\, 0{,}001$ sec, $V = 2000$ m/sec, $d = 25$ m és a visszaverő síknak a robbantási ponttól való merőleges távolsága 1000 m, amikor $\overline{0'1}$, $\overline{0'2}$, $\overline{0'3}$ megközelítőleg 2000 m és az egyes t értékek 1 sec körüliek lesznek, úgy a (15) egyenlet szerint:

$$\mu_V = \pm\, 0{,}001\,\frac{2000^3}{2 \cdot 25^2}\sqrt{6} = \pm\, 15\,600 \text{ m/sec}, \tag{15a}$$

tehát a V bizonytalansága lényegesen nagyobb magánál a meghatározandó értéknél, úgyhogy az így számított V-nek semmi reális jelentősége nincsen. Mindez vonatkozik természetesen a V sebesség útján meghatározott visszaverő sík helyzetére is.

Adott körülmények között a (15) egyenletben csupán μ_t és d értéke változtatható. Míg a μ_t-nek 0,001 sec alá való csökkentése műszerbeli változtatásokat igényel, lehetséges a d távolság megnövelése úgy, hogy pl. 24 felvevő készülék esetén 25 m-es köznél a számításokban előforduló közöket $D = 200$ m-re növeljük, úgyhogy észlelési értékeknek az 1., 9 és 17-es geofon mérési adatait vesszük fel; ekkor a (15) egyenlet alapján:

$$\mu_V = \pm 0{,}001 \frac{2000^3}{2 \cdot 200^2} \sqrt{6} = \pm 245 \text{ m/sec} \cdot \qquad (15b)$$

A $\mu_V = \pm 245$ m/sec középhiba mellett a $V = 2000$ m/sec terjedési sebességnek már reális tartalma van, noha most is még 12%-os bizonytalanság terheli és ez a bizonytalanság a számítandó mélységben is megnyilvánul.

A pontosságot fokozhatjuk azzal, ha a 24 geofon beérkezési időadatból V-t többszörösen, pl. 1., 9. és 17., majd a 2., 10., 18., továbbá a 3., 11., 19, ... és végül a 8., 16., 24. számú geofonok adataiból számítjuk. Itt is $D = 200$ m marad s a nyolcszorosan számított érték középértékének μ_V középhibája csökken az előbbiek alapján:

$$\mu_V = \pm 0{,}001 \frac{2000^3}{2 \cdot 200^2} \cdot \frac{\sqrt{6}}{\sqrt{8}} = \pm 87 \text{ m/sec} . \qquad (15c)$$

A 24 geofon mérési adataiból a sebesség még más különféle kombinációk útján is számítható, azonban ezek az egyes V értékek már nem függetlenek egymástól és ilyenformán a középhiba csökkentése lényegesen bonyolultabb törvényszerűségek alapján történik. A (15c) egyenlet alapján számított középhiba V-ben 4,3%-os bizonytalanságot jelent és ez egyes esetekben már megfelel. Nagyobb pontossági követelmények esetén d-t, illetőleg D-t kell megnagyobbítanunk.

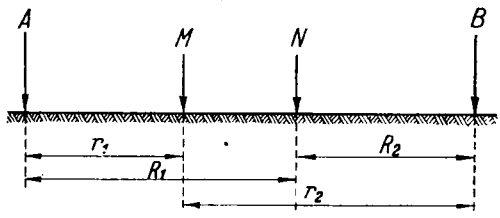
A (15) egyenlet alapján a μ_V középhiba a V harmadik hatványával, tehát nagyon rohamosan nő. Mivel a terjedési sebességgel arányosan a t értékek csökkennek, ezért μ_V végeredményben megközelítőleg a terjedési sebesség négyzetével arányosan nő. A (15) egyenlet számlálója alapján a növekvő terjedési sebesség nagyobbító befolyása oly módon ellensúlyozható, hogy a geofon-távolságokat növeljük. A μ_V értéke növekszik a visszaverő felület mélységével is, mégpedig a (15) egyenlet értelmében nagyjából lineárisan a mélységgel, miért is ez a körülmény d-nek hozzávetőleg a mélységek viszonyának négyzetgyöke arányában való növelése útján kompenzálható. Hasonlóképpen d-nek az időpontatlanságok négyzetgyökének megfelelő nagyításával kell a nagyobb közepes μ_t időhiba nagyobbító befolyását is kiküszöbölni.

Pontossági vizsgálataink alapján megállapíthatjuk, hogy 25 m-es geofontávolság mellett 24 csatornás készülék esetén $\pm 0{,}001$ sec középhibájú beérkezési

idő mellett kb. $V = 1500-2000$ m/sec és 1000 m visszaverő felületnél kapunk még elfogadhatóan jó értékeket a terjedési sebességre és ennek segítségével a visszaverő sík helyzetére vonatkozólag. A fenti értékek túllépésekor vagy a μ_t csökkentése, vagy d, illetőleg D vagy mindkettő növelése szükséges.

*

Megvizsgáljuk még az elektromos ellenállás méréseknél a Wenner- és Schlumberger-féle elrendezési esetre számított átlagos, illetőleg látszólagos



2. ábra

fajlagos ellenállás (ϱ) pontosságát. Ismeretes itt az alábbi összefüggés (l. [10. 91. l.]):

$$\varrho = \frac{V}{I} \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1}}. \tag{16}$$

Az r_1, r_2, R_1 és R_2 jelölések értelme a 2. ábrán látható, amelyen A és B a két táp-, M és N a két mérőelektróda. V a két mérőelektróda között mért feszültségkülönbség és I a mért áramerősség ugyanazok között; c adott távolságok esetén meghatározott geometriai érték. Ha V középhibáját $\pm \mu_V$-vel, az I középhibáját $\pm \mu_I$-vel és az r_1, r_2, R_1, R_2-ét $\pm \mu_{r_1}$, $\pm \mu_{r_2}$, $\pm \mu_{R_1}$, $\pm \mu_{R_2}$-vel jelöljük és a differenciálások útján meghatározzuk a következő értékeket:

$$\frac{\partial \varrho}{\partial V} = \frac{1}{I} \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1}} = \frac{c}{I}$$

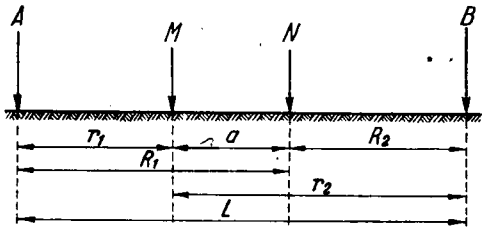
$$\frac{\partial \varrho}{\partial I} = -\frac{V}{I^2} \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1}} = -\frac{V}{I^2} c$$

$$\frac{\partial \varrho}{\partial r_1} = \frac{V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1}\right)^2} \frac{1}{r_1^2} = \frac{V}{I} \frac{c^2}{2\pi} \cdot \frac{1}{r_1^2}$$

$$\frac{\partial \varrho}{\partial R_2} = \frac{V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1}\right)^2} \frac{1}{R_2^2} = \frac{V}{I} \frac{c^2}{2\pi} \frac{1}{R_2^2} \tag{17}$$

$$\frac{\partial \varrho}{\partial r_2} = -\frac{V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1}\right)^2} \frac{1}{r_2^2} = -\frac{V}{I} \frac{c^2}{2\pi} \frac{1}{r_2^2}$$

$$\frac{\partial \varrho}{\partial R_1} = -\frac{V}{I} \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{R_1}\right)^2} \frac{1}{R_1^2} = -\frac{V}{I} \frac{c^2}{2\pi} \frac{1}{R_1^2},$$



3. ábra

akkor az (1) egyenlet alapján:

$$\mu_\varrho = \sqrt{\frac{c^2}{I^2}\mu_V^2 + \frac{V^2}{I^4}c^2\mu_I^2 + \frac{V^2}{I^2}\frac{c^4}{4\pi^2}\left(\frac{\mu_{r_1}^2}{r_1^4} + \frac{\mu_{R_2}^2}{R_2^4} + \frac{\mu_{r_2}^2}{r_2^4} + \frac{\mu_{R_1}^2}{R_1^4}\right)}. \tag{18}$$

Közvetlen hosszmérésnél tudvalevőleg az r távolság középhibáját a mérőeszköz ismert egy hosszegységére eső μ_e középhibája segítségével a következőképpen fejezhetjük ki:

$$\mu_r = \mu_e \sqrt{r} \,. \tag{19}$$

A hosszmérés állandó jellegű hibája arányosan változtatja valamennyi hosszat és ezért hatása itt figyelmen kívül hagyható. (Optikai távmérésnél más összefüggések érvényesek, amelyekre itt nem terjeszkedünk ki.) A (19) egyenlet segítségével a (18)-ból kapjuk a következő kifejezést:

$$\mu_\varrho = \sqrt{\frac{c^2}{I^2}\mu_V^2 + \frac{V^2}{I^4}c^2\mu_I^2 + \frac{V^2}{I^2}\frac{c^4}{4\pi^2}\mu_e^2\left(\frac{1}{r_1^3} + \frac{1}{R_2^3} + \frac{1}{r_2^3} + \frac{1}{R_1^3}\right)}. \tag{18a}$$

Ha most a r_1, R_2, r_2 és R_1 távolságokat nem közvetlenül mérjük meg, hanem az r_1, R_2 és a-t, úgy a 3. ábra alapján felírható:

$$r_2 = R_2 + a \tag{20}$$
$$R_1 = r_1 + a \,.$$

A középhiba számításnál a három mérési eredmény hibáját kell figyelembe venni. Ekkor a (16) egyenlet így alakul:

$$\varrho = \frac{V}{I} \frac{2\pi}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_2 + a} - \frac{1}{r_1 + a}} \tag{21}$$

és ebből:

$$\frac{\partial \varrho}{\partial V} = \frac{c}{I} = \frac{\varrho}{V} \; ; \quad \frac{\partial \varrho}{\partial I} = -\frac{V}{I^2} c = -\frac{\varrho}{I}$$

$$\frac{\partial \varrho}{\partial r_1} = \frac{V}{I} \frac{c^2}{2\pi} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{(r_1 + a)^2} \right)$$

$$\frac{\partial \varrho}{\partial R_2} = \frac{V}{I} \frac{c^2}{2\pi} \left(\frac{1}{R_2^2} - \frac{1}{(R_2 + a)^2} \right) \tag{22}$$

$$\frac{\partial \varrho}{\partial a} = \frac{V}{I} \frac{-2\pi}{\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_2 + a} - \frac{1}{r_1 + a} \right)^2} \left(\frac{1}{(R_2 + a)^2} + \frac{1}{(r_1 + a)^2} \right) =$$

$$= -\frac{V}{I} \frac{c^2}{2\pi} \left(\frac{1}{(R_2 + a)^2} + \frac{1}{(r_1 + a)^2} \right).$$

Ennélfogva az (1) egyenletből a (19)-nek figyelembevételével:

$$\mu_\varrho = \pi \sqrt{\frac{c^2}{I^2} \mu_V^2 + \frac{V^2}{I^4} c^2 u_I^2 + \frac{V^2}{I^2} \frac{c^4}{4\pi^2} \mu_e^2 \left\{ r_1 \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{(r_1 + a)^2} \right)^2 + \right.} \tag{23}$$

$$\left. + R_2 \left(\frac{1}{R_2^2} - \frac{1}{(R_2 + a)^2} \right)^2 + a \left(\frac{1}{(R_2 + a)^2} + \frac{1}{(r_1 + a)^2} \right)^2 \right\}.$$

Ezekre az eredményekre támaszkodva kívánjuk megvizsgálni a Wenner- és a Schlumberger-féle eljárást.

A Wenner-módszernél ismeretesek az alábbiak:

$$\begin{aligned} r_1 &= a \\ R_2 &= a \\ r_2 &= 2a \\ R_1 &= 2a. \end{aligned} \tag{24}$$

A (16) egyenlet szerint c és ϱ értékekre az alábbiakat kapjuk:

$$c = 2\pi a \tag{25}$$

$$\varrho = \frac{V}{I} 2\pi a \tag{25a}$$

és a (18a) egyenletből a négy értéknek külön-külön való mérésével a (24) egyenlet alapján a következő érték adódik:

$$\mu_\varrho = \pi \sqrt{\frac{4a^2}{I^2}\mu_V^2 + \frac{4V^2}{I^4}a^2\mu_I^2 + \frac{9V^2}{I^2}a\mu_e^2} = \varrho \sqrt{\frac{\mu_V^2}{V^2} + \frac{\mu_I^2}{I^2} + \frac{9\mu_e^2}{4a}} . \tag{26}$$

Másrészt a (20) egyenletbeli értékek bevezetésével a következő egyenletet kapjuk:

$$\mu_\varrho = \pi \sqrt{\frac{4a^2}{I^2}\mu_V^2 + \frac{4V^2}{I^4}a^2\mu_I^2 + \frac{11}{2}\frac{V^2}{I^2}a\mu_e^2} = \varrho \sqrt{\frac{\mu_V^2}{V^2} + \frac{\mu_I^2}{I^2} + \frac{11}{8}\frac{\mu_e^2}{a}} . \tag{26a}$$

Mindenekelőtt láthatjuk, hogy alapjában véve hibás lenne, ha a hibatörvényt a (25a) egyenletre közvetlenül alkalmaznánk, mivel az abban előforduló a érték négy független r_1, R_2, r_2, R_1, illetőleg három r_1, R_2 és a mérési adatból és ezek mérési hibájából tevődik össze és így tehát ezeknek mérési hibáit is tekintetbe kell venni.

A Schlumberger-féle eljárásnál a két tápelektróda A és B fokozatosan szimmetrikusan közeledik az M és N mérőelektródákhoz. Ha tehát a a mérőelektródák és L a tápelektródák közötti távolságot jelenti:

$$\begin{aligned} r_1 &= \frac{L-a}{2} \\ R_2 &= \frac{L-a}{2} \\ r_2 &= \frac{L+a}{2} \\ R_1 &= \frac{L+a}{2} . \end{aligned} \tag{27}$$

Ennélfogva a (16) egyenlet alapján:

$$c = \frac{\pi}{4}\frac{L^2 - a^2}{a}, \tag{28}$$

továbbá

$$\varrho = \frac{V}{I} \frac{\pi (L^2 - a^2)}{4\,a} . \tag{29}$$

A (18a) egyenlet értelmében :

$$\mu_\varrho = \pi \sqrt{\frac{(L^2 - a^2)^2}{16\,I^2\,a^2} \mu_V^2 + \frac{V^2 (L^2 - a^2)^2}{16\,I^4\,a^2} \mu_I^2 + \frac{V^2 (L^2 - a^2)}{32\,I^2\,a^4} (L^3 + 3\,La^2)\,\mu_e^2} =$$

$$= \varrho \sqrt{\frac{\mu_V^2}{V^2} + \frac{\mu_I^2}{I^2} + \frac{(L^3 + 3\,La^2)}{2\,a^2 (L^2 - a^2)} \mu_e^2} . \tag{30}$$

Ha a számításokat az r_1, R_2 és a mérésével a 3. ábrának megfelelően hajtjuk végre, ahogy ez a gyakorlatban leggyakrabban történik, akkor :

$$\begin{aligned} r_1 &= R_2 = r \\ r_2 &= r + a \\ R_1 &= r + a \end{aligned} \tag{27a}$$

s ezzel a (28) egyenlet alapján

$$c = \frac{\pi\, r\, (r + a)}{a} . \tag{28a}$$

A (29) egyenlet szerint :

$$\varrho = \frac{V}{I} \frac{\pi\, r\, (r + a)}{a} . \tag{29a}$$

Ezek az egyenletek az általános alkalmazásnál is kényelmesebbek, mint a (28)—(29) összefüggések, mert a gyakorlatban rendszerint az r és a értékeket mérjük.

Ha behelyettesítjük a (27a) egyenlet alapján az értékeket a (23) összefüggésbe, úgy :

$$\mu_\varrho = \pi \sqrt{\frac{r^2 (r + a)^2}{I^2\,a^2} \mu_V^2 + \frac{V^2\, r^2 (r + a)^2}{I^4\,a^2} \mu_I^2 + \frac{V^2\, r}{2\,I^2\,a^4} \left((a^2 + 2\,a\,r)^2 + 2\,a\,r^3\right) \mu_e^2} =$$

$$= \varrho \sqrt{\frac{\mu_V^2}{V^2} + \frac{\mu_I^2}{I^2} + \frac{(a^2 + 2\,a\,r)^2 + 2\,a\,r^3}{2\,a^2\,r\,(r + a)^2} \mu_e^2} . \tag{30a}$$

Ezen kifejezésből a (26a) egyenletet, amint azt a különleges esetet vezethetjük le, amelynél $r = a$-val.

A (26)—(26*a*) és a (30)—(30*a*) egyenletekből több következtetést vonhatunk le, melyek közül itt csupán néhányat emelünk ki.

Mind a (26)—(26*a*), mind a (30)—(30*a*) egyenletekből látható, hogy a feszültségmérésnél elkövetett μ_V hiba annál kisebb mértékben befolyásolja a ϱ pontosságát, mentől nagyobb a V feszültségkülönbség. Jelöljük V bizonytalanságából ϱ-ban adódó középhibat $\mu_{\varrho,V}$-vel, úgy a (26) és a (30) egyenlet szerint:

$$\frac{\mu_{\varrho,V}}{\varrho} = \frac{\mu_V}{V} . \tag{31}$$

Ha a ϱ-nak μ_V-vel kimutatott $\mu_{\varrho,V}$ középhibája nem lehet nagyobb az érték 2%-ánál, úgy a mérőelektródák közti feszültségnek a leolvasási hiba legalább ötvenszeresének kell lennie. Hasonlóképpen érvényes ez az áramerősség μ_I középhibája által a μ_ϱ-ban okozott $\mu_{\varrho,I}$ hibarészre is, mivel:

$$\frac{\mu_{\varrho,I}}{\varrho} = \frac{\mu_I}{I} . \tag{32}$$

Ha mindkét esetben biztosítjuk a 2%-os relatív hibát, úgy μ_ϱ-ra (nem tekintve a hosszmérés bizonytalanságát) $\frac{\mu_\varrho}{\varrho} = 2\sqrt{2} \doteq 2{,}8\,\%$ adódik. Ha a relatív hiba nagyobb lehet, úgy a $\frac{\mu_\varrho}{\varrho}$ viszony megfelelően megnagyobbodhatik, míg nagyobb pontossági követelményeknél a V-t és I-t kell jobban megnövelni.

Két mérőelektróda közötti feszültségkülönbség megváltoztatása adott terepen vagy csak a változtatásával, vagy a tápelektródákkal bevezetett feszültség növelésével, vagy mindkettővel együttesen érhető el. A tápelektródák feszültségének növelésével egyidejűleg I is növekedik és ezért ez előnyben részesítendő, ha nemcsak V-t, hanem I-t is növelni kell. Hasonlóképpen előnyös, ha mindkettőnek hibahatása közelítőleg egyenlő, mert ez is a mélység mellett támaszpontot ad az a megváltoztatására vonatkozólag.

Vizsgáljuk meg, hogyan viselkedik a 2%-os középhiba a hosszhiba hatása szempontjából?

A Wenner-féle eljárásnál a (26*a*) egyenlet alapján:

$$\frac{\mu_{\varrho,L}}{\varrho} = \sqrt{\frac{11}{8\,a}}\,\mu_e \doteq 1{,}17\,\frac{\mu_e}{\sqrt{a}} . \tag{33}$$

Az itt megengedett kisebb pontosságú hosszmérésre az 1 m-re eső középhiba $\mu_e = \pm 1$ cm-ben vehető fel, ami 100 m-es hossz esetén $0{,}01\sqrt{100} = \pm 0{,}10$ m középhibát ad. Láthatjuk, hogy ekkora hosszhiba esetén $a = 0{,}36$ m-től felfelé az ennél az értéknél 2%-os középhiba az a növekedésével annak négyzetgyöké-

vel arányosan csökken. Az adott feltevések mellett a hosszmérés hibahatása általánosan 2% alatt tartható és nagyobb a értékek mellett különösképpen elhanyagolható, mivel kereken $a = 6$ m-en felül a hiba már 0,5% alá esik.

A Schlumberger-féle eljárásnál r változása miatt a viszony a-val összehasonlítva kissé más lesz, mivel ekkor:

$$\frac{\mu_{\varrho,L}}{\varrho} = \frac{\sqrt{(a^2 + 2ar)^2 + 2ar^3}}{a(r+a)\sqrt{2r}}\mu_e . \tag{34}$$

Ha $r = 10\ a$, akkor:

$$\frac{\mu_{\varrho,L}}{\varrho} = \frac{\sqrt{(a^2 + 20a^2)^2 + 2000a^4}}{a \cdot 11a\sqrt{20a}}\mu_e = \pm\frac{1{,}004}{\sqrt{a}}\mu_e . \tag{34a}$$

$\mu_e = \pm 0{,}01$ méter/m-középhiba esetén ebből $\frac{0{,}01}{\sqrt{a}}$ lesz, miért is már $a = 0{,}25$ m-nél érjük el a 2%-os relatív középhibát és a nagyobbodásával ez fokozatosan csökken.

Így $r = 100\ a$ esetén:

$$\frac{\mu_{\varrho,L}}{\varrho} = \frac{\sqrt{(a^2 + 200a^2)^2 + 2\,000\,000a^4}}{a \cdot 101a\sqrt{200a}}\mu_e = \pm\frac{1{,}000}{\sqrt{a}}\mu_e , \tag{34b}$$

azaz gyakorlatilag ugyanazon a érték mellett érjük el itt is a 2%-os hibahatárt. Így a Schlumberger-féle eljárásnál összehasonlítva a Wenner-félével gyakorlatilag a pontosság nem változik az r és a közötti viszony megváltozása folytán. Ha felső határértéknek $r = 10\ a$-t veszünk fel, úgy itt $a = 4$ m-től felfelé a hosszmérés hibahatása elhanyagolható. Ezért mind a Schlumberger-, mind a Wenner módszernél a mintegy 2%-os határ biztosításához gyorsabb — ha mindjárt kevésbé pontos — hosszmérési eljárások is megfelelnek.

Ha elhanyagoljuk a hosszmérésből adódó hibahatást, úgy a Wenner- és SCHLUMBERGER-féle eljárásra ugyanazon kifejezést kapjuk:

$$\frac{\mu_\varrho}{\varrho} = \sqrt{\frac{\mu_v^2}{V^2} + \frac{\mu_I^2}{I^2}} . \tag{35}$$

Ezért mind a Wenner-, mind a Schlumberger eljárásnál egyenlő mérésbeli adatokat föltételezve a feszültségkülönbség és az áramerősség leolvasási hibájából a számított ϱ értékben ugyanazon bizonytalanság keletkezik. Minél inkább növekszik r a-hoz képest, annál kedvezőbb a hibaterjedés alapján a hosszhibák hatása a Wenner-módszerhez viszonyítva, mégis ez a hiba

a Wenner-féle eljárásnál is oly kis mértékű, hogy ennek csökkentése a lényegesen több hosszmérést igénylő Schlumberger-féle eljárást nem teszi szükségessé és a mérési hibahatások csökkentése szempontjából nem szükséges.

Ez alkalommal nincs módunkban további kérdések vizsgálata, mégis az itt felhozott néhány példa is elegendő annak bizonyítására, hogy a hibaterjedés törvényszerűségeinek segítségével a geofizikában is érdekes megismeréseket szerezhetünk.

IRODALOM

1. Roman, J.: Least Squares in Practical Geophysics. Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers. 1932. 460—506. o.
2. Schmerwitz, G.: Ausgleichung der besten Stationsbeobachtungen mitteleuropäischer Erdbeben. Zeitschr. f. Geophysik, XIV. köt. (1938) 351—390. old.
3. Janczewski, E. W.: Wyznaczenie polozenia ognisk kilku górno-slaskich strzasow sejsmicznych z 1950 r. Acta Geophysica Polonica. III. köt. (1955) 3—26. old.
4. Matschinski, M.: Prospection géophysique et certitude d'interprétation de ses données. Geofisica pura e applicata. 27. köt. (1954) 35—84. old.
5. Zur Bestimmung der reflektierenden Ebene bei den seismischen Reflexionsmessungen. Geofisica pura e applicata. 27. köt. (1954) 87—97. old.
6. Über die Bestimmung der durchschnittlichen Fortpflanzungsgeschwindigkeit bei den seismischen Reflexionsmessungen. Acta Technica Hungarica IX. köt. (1954) 223—241. old.
7. Posgay K.: Szeizmikus reflexiós mérések középhibája. Geofizikai Közlemények, III. köt. (1954) 41—54. old.
8. Schmehl, H.: Die Reduktion der Koinzidenzzeiten von Pendeln zur Berechnung von Schwerediffernenzen. Zeitschr. f. Geophysik. 1929-es köt. 1—15. old.
9. Meisser, O.: Erhöhung der Beobachtungsgenauigkeit bei relativen Pendelmessungen. Zeitschr. f. Geophysik, 1929-es köt. 145—148. old.
10. Hummel, J. N.: Der scheinbare spezifische Widerstand. Zeitschr. f. Geophysik. 1929-es köt. 89—104. old.

ÖSSZEFOGLALÁS

A mérésekben elkövetett hibák befolyásolják a belőlük számított értékeket. A hibaterjedés vizsgálata nagy fontosságú a geofizikában is, mert tájékoztatást ad afelől, hogy a kapott eredményekben milyen bizonytalansággal kell számolnunk. Ez a számított eredmények értékelésénél nagy hasznunkra lehet. Néhány példán a gravitációs, szeizmikus és az elektromos ellenállásmérések köréből bemutatjuk a hibaterjedés törvényszerűségeinek alkalmazását; következtetéseket vonunk le a meghatározás pontosságára és ebből a célszerű mérési elrendezésekre.

IDEGENANYAGNYOMOK HATÁSA WOLFRAMDRÓT MÁSODLAGOS ÚJRAKRISTÁLYOSODÁSÁRA

MILLNER TIVADAR
LEV. TAG
PROHÁSZKA JÁNOS és HORVÁTH ANTAL
HIRADÁSTECHNIKAI IPARI KUTATÓ INTÉZET

[Beérkezett 1956. május 18-án]

Olyan wolframdrótban, amelyet az iparban ma szokásos gyártási módszerrel wolframfémporból porkohászati úton készítenek, a megmunkálás folyamán rostos szerkezet keletkezik. [1] Az ilyen drót keresztmetszetét sok vékony, hosszú, egymással összefüggő olyan fémrost tölti ki, amelyek ép fémkristályokból nagymértékű mechanikai megmunkálás folytán keletkeztek, és ennek következtében erősen torzult kristályrácsrészletekből állanak.

Ha ilyen wolframdrótokat 2400—2500 C°-on hevítünk, néhány perc alatt újrakristályosodnak (rekrisztallizálnak), azaz rostos, deformált kristályrácsú szerkezetüket elvesztve, ép rácsú kristályokból álló szerkezetet öltenek.

A korszerű wolframdrót gyártásnak az a gyakorlati feladata, hogy a rekrisztallizált wolframizzótesteknek használati hőmérsékleten állandó alaktartó sajátságot biztosítson. Ismeretes, hogy ezt ma azzal érjük el, hogy a wolframgyártás alapanyagához, a wolframsavhoz, kb. 1% mennyiségben olyan célszerűen választott idegen anyagokat adunk, amelyeknek főtömege zsugorításkor elpárolog, de nyomaik visszamaradnak a rostos drótban és rekrisztallizációkor benne alaktartó kristályszerkezetet és tulajdonságokat idéznek elő [2].

Olyan 100 μ $\varnothing$-jű wolframdrótban, amely kb. 10^{-5} num. koncentrációban egyidejűleg K, Si és Al adaléknyomokat tartalmaz, ezek hatására rekrisztallizációkor kb. 10 cm-es kristályokból álló nagykristályos szerkezet képződik. A hazai vákuumtechnikai ipar ilyen természetű wolframdrótot ma nagy arányokban készít. Ezt a drótfajtát „GK" drótnak nevezzük.

Emellett Al nélkül, csupán K és Si-tartalmú adalékkal előállított és ezek nyomait kb. 10^{-5} num. koncentrációban tartalmazó ún. „UC" drót is jelentős mennyiségben készül. 100 μ-os egyenes UC drótok kristályszerkezete újrakristályosodás után 10 mm-esnél nem nagyobb kristályokból áll.

A wolframizzóspirálisokat százmilliószám felhasználó izzólámpa- és rádiócsőiparnak igen nagy érdeke fűződik ahhoz, hogy megismerje, mi módon befolyásolják 10^{-5}—10^{-6} koncentrációjú idegen anyagok az egyébként igen tiszta wolframdrót újrakristályosodását. Széleskörű tapasztalatok alapján erre a kérdésre ma eléggé megbizható *leíró* feleletet lehet adni. A szennyezések és újrakristályosodás kapcsolatának kémiai és fizikai okairól azonban a nemzetközi

irodalomban semmit sem olvashatunk. Ezen a területen saját kutatásainkra vagyunk utalva: ezek állásáról a közelmúltban hangzott el összefoglaló előadás [2].

Azóta lefolyt vizsgálataink ezt a képet új vonással egészíthetik ki. Az újrakristályosodás vizsgálata céljából átvettük az irodalomból a C. S. ROBINSON-tól [3] származó azt a módszert, amellyel izzó wolframszálak újrakristályosodásának folyamatát mérésekkel, azaz számszerűen lehet követni és annak a kérdésnek a szolgálatába állítottuk, amely minket különösképpen érdekel: milyen mérhető és fizikailag értelmezhető különbségeket okoznak a rekrisztallizáció természetében az egyes jellegzetes szennyezések, azaz a 10^{-5}—10^{-6} koncentrációban jelenlevő vagy hiányzó hatóanyagok.

E kérdés tárgyalásához mindenekelőtt meg kellett állapítanunk a GK és UC drótoknál (majd más drótfajtáknál is) azt a két, hőmérséklettől függő tényezőt, a kristálynövekedés sebességét és a kristálymagképződés gyakoriságát, amelyekkel a kristályosodási és újrakristályosodási folyamatokat ma le szokták írni.

E két paraméter közül a szokásos módon [4] *a kristály növekedési sebességét* az alábbi összefüggéssel definiáljuk:

$$G = \frac{D}{t - \tau}; \qquad (a)$$

itt D a szemcseátmérőt $t-\tau$ pedig a kristályosodási időt jelenti. G cmsec^{-1} egységekben adja meg a kristályok növekedési sebességét. A másik paraméter, a magképződési sebesség vagy magképződési gyakoriság, definíciója a következő:

$$N = \frac{1}{(1 - x)_{t=t_k}} \cdot \frac{\mathrm{d}n}{\mathrm{d}t}. \qquad (b)$$

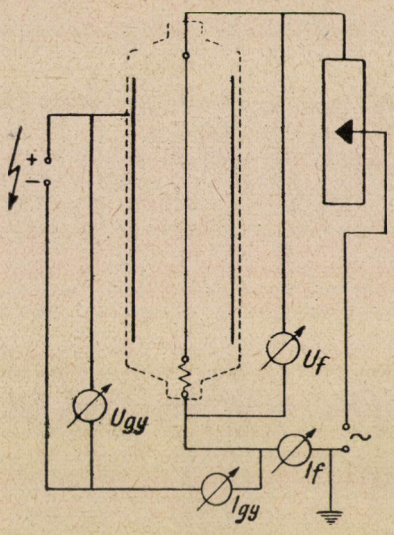
Ebben az összefüggésben $(1-x)_{t=t_k}$ jelenti a t_k megfigyelési időpontban még magképződésre rendelkezésre álló térfogatot (tehát x az eredeti térfogatnak azt a részét, amely a kérdéses időpontig újrakristályosodott) $\mathrm{d}t$ a megfigyelési időszakaszt, $\mathrm{d}n$ pedig az ez idő alatt megjelenő új kristálymagok számát. N dimenziója cm^{-3} sec^{-1} és számértéke a térfogategységben az 1 sec alatt megjelenő új kristályok számát adja. Mi a wolframdrót másodlagos újrakristályosodásakor így definiált magképződési sebesség és növekedési sebesség megállapítását tűztük ki feladatként.

A kísérletek leírása

A wolframszálak másodlagos újrakristályosodását (ezentúl csak újrakristályosodás) a rekrisztallizáció hőmérsékletén a drót felületéről kilépő termikus elektronok segítségével figyeltük és mértük meg úgy, hogy azokat egy nagy

feszültségű gyorsítótérrel radiálisan egy koaxiális fluoreszkáló ernyőre vetítettük.

A felhasználásra kerülő kb. 100 μ-os W-szálakat elektrolitikusan fényesítettük azért, hogy eltüntessük róluk a húzókő okozta barázdákat, mert ezek a fluoreszkáló ernyőn megjelenő képet értékelhetetlenné tették. A fényesítést Na(OH) oldatban egyenárammal addig folytattuk, amíg a szálról a húzási barázdák teljesen eltűntek. Ez az eljárás az átmérő 10—15%-os csökkenésével



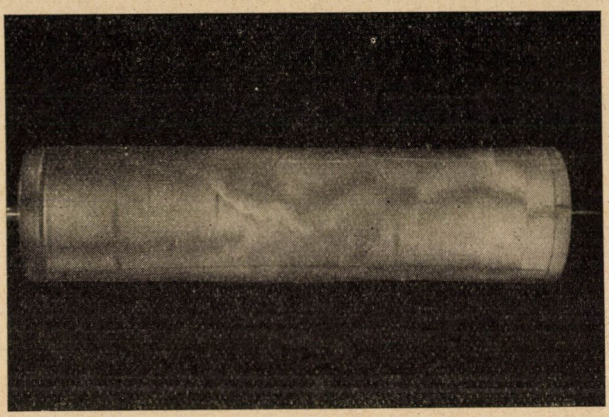
1. ábra. Wolframszálak újrakristályosodásának megfigyelésére alkalmas vákuumcső és kapcsolási vázlata. A kb. 45 mm ∅-jű üvegcső tengelyébe szerelt és evakuálás után kb. 2100 K°-ra hevített szálból kilépő elektronok az üveg belső falát borító willemitréteget világításra gerjesztik. A fluoreszkáló rétegen a kristályok keletkezése és növekedése megfigyelhető. U_f = szálfűtőfeszültség; I_f = szálizzító áram; U_{gy} = az elektronokat a falra vetítő gyorsítófeszültség (kb. 7000—10 000 V)

járt és az eredetileg egyenletes átmérőjű szálat gyengén változó keresztmetszetűvé tette. A változó keresztmetszet a szál közvetlen elektromos fűtése folytán hőmérséklet-egyenlőtlenségekhez vezet és emiatt kerülendő. Ezért csak azokat a szálakat használtuk fel mérésre, amelyeknek átmérője hosszú szakaszon egyenletes volt és helyenként legfeljebb 2 μ-nal tért el ettől pozitív irányba. Olyan szálakat, amelyek átmérőjének eltérése helyenként negatív volt (azaz átmérője helyenként az egyenletesnél kisebb volt) nem használtunk fel azért, mert az átmérő csökkenéssel helyi túlmelegedés jár és az ilyen helyen egy új kristálymag megjelenése valószínűbb az átlagosnál.

A fényesített szálakat olyan csőbe szereltük, amelynek üvegfalát elektronok hatására fluoreszkáló (mangánnal aktivált cinkszilikát) anyaggal vontuk be. A csőben anódrácsot és getterpasztillát is helyeztünk el, majd az egész csövet 450 C°-on 1 óráig tartó melegítéssel 10^{-4} Hgmm-nél kisebb nyomáson

állandó szivattyúzás mellett fűtöttük. Kifűtés után a csövet lezártuk, majd elpárologtattuk a Ba-getter anyagot.

Az így előkészített csövek W-szálát az *1. ábra* kapcsolási vázlata szerint stabilizált váltóárammal (I_f) a kívánt hőmérsékletre izzítottuk. Az izzó W-szálból kilépő elektronokat az U_{gy} gyorsító egyenfeszültséggel vetítettük az ernyőre. Az izzószálak hőmérsékletét a mért adatainkból H. A. JONES és I. LANGMUIR [5] módszerével számítottuk ki. Az ernyőn a szálak kristályos szemcseszerkezetének kialakulását azért lehet megfigyelni, mert :



2. ábra. Teljesen újrakristályosodott wolframszál képe a willemitrétegen. Valamely alkotó mentén végighaladva az ernyő különböző fényességű szakaszaiban felismerhetők az egyes kristályok

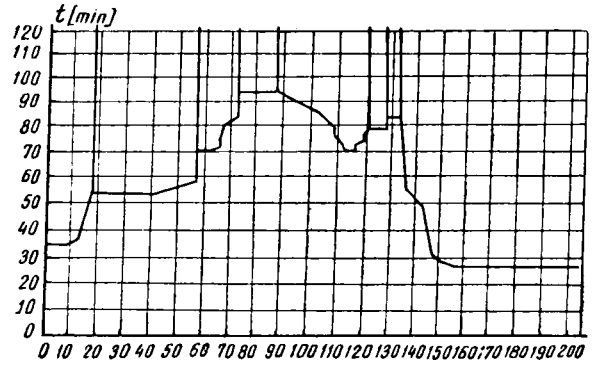
1. az újrakristályosodott wolframszálak krisztallitjai úgy képződnek, hogy egyik (110) síkjuk normálisa egybeesik a szál hossztengelyével és ezért a drót hengerpalástja különböző krisztallográfiai síkokat foglal magába ; ha pl. a kockában, oktaéderben vagy rombtizenkettesben egyik (110) lap normálisának irányát azonossá tesszük a dróttengely irányával, lesznek olyan kocka, oktaéder vagy rombtizenkettes lapok, amelyek ezzel az iránnyal párhuzamosak és ezek pl. valamennyien megjelenhetnek a drót hengerpalástján ;

2. a termikus elektronok kilépési munkája attól függ, hogy milyen kristálysíkon lépnek ki [6].

E két tény következtében az ernyőn a krisztallithatárok olyan éles vonalakként válnak láthatókká, amelyek a drót hossztengelyére többé-kevésbé merőlegesek és két különböző intenzitással fluoreszkáló foltot választanak el egymástól. Ezeknek a krisztallithatároknak a mozgását megfigyelve megállapíthatók az újrakristályosodásra jellemző adatok.

A fűtőáram (I_f) bekapcsolása után a szál pillanatok alatt izzásba jön és az ernyőn az elsődleges rekrisztallizáció aprószemcsés szerkezetére jellemző kép válik láthatóvá. Bizonyos izzítási ideig (inkubációs periódus τ) a képen semmi

további változás nem észlelhető, majd megjelenik az első nagy szemcse. Ennek megjelenési idejét nehéz pontosan megállapítani, mert csak 1—2 mm nagyságú krisztallitot lehet az ernyőn az alapszövettől jól megkülönböztetni. Ez a kristály aztán a hőmérséklettől függően bizonyos sebességgel nőni kezd, miközben a szál más helyein is új szemcsék tűnnek fel. Ezek a szemcsék addig nőnek, míg egy másik nagykristállyal össze nem ütköznek vagy pedig mozgásban levő krisztallithatárukból új szemcse nem nő ki. Ilyen növekedési folyamatot grafikusan szem-



3. ábra 20 cm-es drótszakaszban egymás után megjelenő kristályok növekedésének lefolyása a drót teljes újrakristályosodásáig

léltet a *3. ábra*. A *2. ábrán* ugyanennek a szálnak a szemcseszerkezetét feltüntető fluoreszkáló ernyő fényképe látható.

A GK jelű anyagra vonatkozó mérési adatokat az I. táblázat, az UC jelű anyagra vonatkozókat a II. táblázat tartalmazza.

I. táblázat
(GK)

Cső-szám	T hőmérséklet K°-ban	Szemcseszám, n	Átlagos szemcsehossz, $l = cm$	Szemcsenövekedési sebesség $G = cm\ sec^{-1}$	Magképződési gyakoriság $N = sec^{-1} \cdot cm^{-3}$	$\frac{l}{T} 10^3$	log N	log G	log l
10	2237	16	1,29	$2{,}38 \cdot 10^{-3}$	38,5	0,4471	1,58546	—2,62342	0,11059
11	2100	12	1,35	$2{,}92 \cdot 10^{-4}$	2,76	0,4762	0,44091	—3,53462	0,13033
12/1	2070	5	4,0	$2{,}70 \cdot 10^{-4}$	0,285	0,4831	—0,54516	—3,56964	0,60206
12/2	2070	4	5,0	$5{,}42 \cdot 10^{-4}$	0,365	0,4831	—0,43771	—3,26600	0,69897
13	2109	3	6,66	$2{,}14 \cdot 10^{-3}$	0,791	0,4742	—0,10182	—2,66959	0,82347
14/1	2108	8	2,56	$6{,}28 \cdot 10^{-4}$	1,69	0,4742	0,22789	—3,20204	0,40824
14/2	2108	5	4,10	$1{,}09 \cdot 10^{-3}$	1,14	0,4742	0,05576	—2,96257	0,61278
16	2028	5	4,24	$1{,}70 \cdot 10^{-4}$	0,159	0,4931	—0,79860	—3,76955	0,62737
17/1	2175	20	1,06	$5{,}70 \cdot 10^{-4}$	8,53	0,4595	0,93094	—3,24413	0,02531
17/2	2175	22	0,963	$5{,}34 \cdot 10^{-4}$	9,39	0,4595	0,97267	—3,27246	—0,01637

II. táblázat
(UC)

Cső-szám	T hőmérséklet K°-ban	Szemcseszám n	Átlagos szemcsehossz, l = cm	Szemcsenövekedési sebesség, G = cm sec^{-1}	Magképződési gyakoriság N = sec^{-1}cm^{-3}	$\frac{l}{T}\ 10^3$	log N	log G	log l
I	2058	19	1,050	$1{,}31 \cdot 10^{-4}$	1,82	0,4859	0,26007	−3,88273	0,02119
IIa	2117	29	0,707	$4{,}36 \cdot 10^{-4}$	17,4	0,4724	1,24055	−3,36051	−0,15058
IIb	2117	40	0,513	$3{,}17 \cdot 10^{-4}$	24,0	0,4724	1,38021	−3,49894	−0,28988
III	1989	34	0,603	$3{,}64 \cdot 10^{-5}$	1,48	0,5028	0,17026	−4,43890	−0,21968
IV	2108	74	0,270	$1{,}80 \cdot 10^{-4}$	34,0	0,4744	1,53148	−3,74473	−0,56864
VII	2088	75	0,280	$8{,}97 \cdot 10^{-4}$	17,5	0,4789	1,24304	−3,04721	−0,55284
IX	2005	33	0,606	$1{,}77 \cdot 10^{-4}$	6,47	0,4988	0,81090	−3,75203	−0,21753
X	2000	22	0,955	$8{,}47 \cdot 10^{-5}$	1,28	0,5000	0,10721	−4,07212	−0,02000
XII	2056	34	0,609	$2{,}11 \cdot 10^{-4}$	8,55	0,4864	0,93197	−3,67572	−0,21538
XIII	2057	51	0,408	$1{,}66 \cdot 10^{-4}$	15,0	0,4861	1,17609	−3,77989	−0,38934
XIV	2160	67	0,314	$1{,}05 \cdot 10^{-3}$	153,0	0,4630	2,18469	−2,97881	−0,50307

A mérési eredmények értékelése

Az ernyőkép kialakulását megfigyelve pontosan megállapítottuk a bekapcsolás pillanatától az újrakristályosodás teljes befejezéséig eltelt izzítási időt (t) és az első nagykristálykezdemény megjelenéséig eltelt inkubációs periódust (τ).

A kristály növekedési sebességét úgy határoztuk meg, hogy az ernyőn látható összes szemcsék számával (n) elosztottuk az ernyő hosszúságát (L) és így egy átlagos szemcsehosszúságot (l) kaptunk. Ezt az átlagos szemcsehosszúságot elosztottuk az izzítási idő és az inkubációs idő különbségével, azaz a tényleges kristályosodási idővel ($t-\tau$) és ezt a cmsec^{-1} dimenziójú mérőszámot neveztük kristályosodási sebességnek. Ez az eljárás algebrailag a következőképpen írható.

$$G = \frac{l}{t-\tau} = \frac{L}{n(t-\tau)} . \tag{1}$$

A kristályosodási sebesség, azaz a magképződési gyakoriság (N) mérőszámát úgy számítottuk ki, hogy a szemcsék számát (n) elosztottuk a szál megfigyelt köbtartalmával és a kristályosodási idővel, vagyis

$$N = \frac{4n}{d^2 \pi L (t-\tau)} = \frac{4}{d^2 \pi l (t-\tau)} . \tag{2}$$

A korábban említett *a)* és *b)* összefüggéseket akkor szokás használni, ha egy, az egyes kristályokhoz képest nagy térfogatú fémtestben egyetlen rekrisztallizációs folyamatban nagyszámú kristály keletkezik. Ekkor G és N meghatározása széles statisztikai alapon történhetik és kísérletről kísérletre jól egyező értékeket szolgáltat. A mi (1) és (2) képleteink ugyan szintén statisztikai középértékeket szolgáltathatnak, statisztikai alapjuk azonban szűk, mert a mi kísérleti viszonyaink között egyetlen rekrisztallizációs folyamatban a fémtérfogat csekély és benne kevésszámú kristály keletkezik. Ezért a mi G és N értékeink kísérletről kísérletre eléggé eltérnek egymástól.

Az (1) képlettel megállapított és azonos hőmérsékleten is kísérletről kísérletre ingadozó növekedéssebesség-értékeink emellett olyan egyesmérések átlagai, amelyek egyetlen rekrisztallizációs folyamaton belül is nagyságrendben eltérhetnek egymástól, sőt ezenfelül egy-egy kristály növekedéssebessége is gyakran megváltozik egy egész nagyságrenddel növekedése folyamán, amint a 3. ábrán mindez jól látható.

A (2) képlettel számított magképződési gyakoriság átlagértékei szintén egész nagyságrenddel eltérhetnek egymástól, egyébként azonos kísérleti körülményeink között, mert ezek statisztikai alapja ugyancsak szűk. A (2) képlet alkalmazása folytán hallgatólagosan azt is feltételezzük, hogy valamennyi kristály egyszerre kezdett növekedni. A *b)* összefüggés értelme szerint akkor jártunk volna el helyesen, ha a kristályosodási időt egyenletes (a lehetőség szerint minél kisebb) szakaszokra osztjuk és a számlálóba az egyes szakaszokban megjelenő szemcséket, a nevezőbe pedig az illető időszakaszhoz tartozó még á nem kristályosodott dróttérfogatnak és az időintervallumnak a szorzatát helyettesítjük. Ezt azonban ennél a mérésnél a kis térfogat és a kevés kristály miatt nem tudtuk megtenni. Így természetesen nem érhetjük el a szokásos statisztikai módszer pontosságát, de az adott kísérleti anyagon ez a legjobb módszere az értékelésnek.

Ilyen méréseket és értékelést több hőmérsékleten végeztünk 2000—2300 K° között. Ez az a hőmérséklettartomány, amelyben mind a GK, mind az UC drót adatai elég jól mérhetők és így egymással egybevethetők. Az *I. táblázat*ban 7 GK, a *II. táblázat*ban 10 UC drót mért adatait és az (1) és (2) képlettel kiszámított paraméterértékeit tüntettük fel.

Ezzel az eljárással egyetlen dróton egy meghatározott hőmérsékleten egy vagy több mérési eredményt kaptunk N-re és G-re attól függően, hogy egy vagy több alkotón sikerült-e a mérést elvégezni. Nagyobb hőmérsékleten, ahol a kristályok gyorsan nőttek, nem volt idő több alkotó megfigyelésére. Így viszonylag sok mérési pontból kellett meghatározni G-nek és N-nek hőmérséklet függését. Erről már mások megállapították [4], hogy a következő egyenletekkel adható meg:

$$G = G_0 \, e^{-\frac{Q_G}{RT}} \tag{3}$$

és

$$N = N_0 e^{-\frac{Q_N}{RT}}. \tag{3a}$$

Itt Q_G a kristálynövekedés folyamatának ún. aktiválási energiáját jelenti, azaz azt az energiatöbbletet, amelyre a kristálynövekedés átlagos elemi lépésének (pl. az egyes atomok régi helyzetből új helyzetbe illeszkedésének) a T hőmérsékletből eredő átlagos energián felül szüksége van. Erről feltételezzük, hogy vizsgálati hőmérséklettartományunkban állandó.

Q_N a kristálymagképződés folyamatának (vagyis az egyes atomok régi helyzetből kristálymaggá csoportosulásának) analóg értelmezésű aktiválási energiája.

Mindkét egyenletben a G_0 és a Q_G, illetve az N_0 és a Q_N állandókat kell meghatározni ahhoz, hogy a (3) típusú egyenlettel a két paraméter hőfokfüggését megadhassuk. Az ilyen egyenletekben a két állandó kiszámításához két mérési pont elég. Ha több mérési pont van megadva, akkor az állandók meghatározásához vagy kiválasztunk két legvalószínűbb mérési pontot, vagy pedig a legkisebb hibanégyzetek módszerét felhasználva minden mérési adat felhasználásával állapítjuk meg a szükséges állandókat.

A legkisebb hibanégyzetek módszeréből levezethető az alábbi két összefüggés

$$\sum_{i=1}^{k} \log G_i - k \log G_0 + 0{,}4343 \frac{Q_G}{R} \sum_{i=1}^{k} \frac{1}{T_i} = 0 \tag{4}$$

$$\sum_{i=1}^{k} \frac{\log G_i}{T_i} - \log G_0 \sum_{i=1}^{k} \frac{1}{T_i} + 0{,}4343 \frac{Q_G}{R} \sum_{i=1}^{k} \frac{1}{T_i^2} = 0 \tag{5}$$

Ebből a két összefüggésből mind a G_0, mind a Q_G meghatározható úgy, hogy a kiszámított értékeket a (3) egyenletbe helyettesítve a mérési eredmények és a számított értékek közötti különbség minimális lesz. A (4) és (5) egyenletekben T_i jelenti az i-edik mérés abszolút hőmérsékletét. Az összegezést valamennyi (k) mérési adatra ki kell terjeszteni.

N_0 és Q_N kiszámítására ugyancsak a (4) és (5) egyenletet használtuk (ekkor természetesen minden G_i helyébe N_i-t, minden G_0 helyébe N_0-t és Q_G helyébe Q_N-et kell írni).

Az ily módon meghatározott értékekkel a (3) és (3a) egyenletre GK és UC drót esetében a következő összefüggések adódnak:

$$G_{GK} = 6{,}86 \cdot 10^4 e^{-\frac{78\,000}{RT}} \tag{6}$$

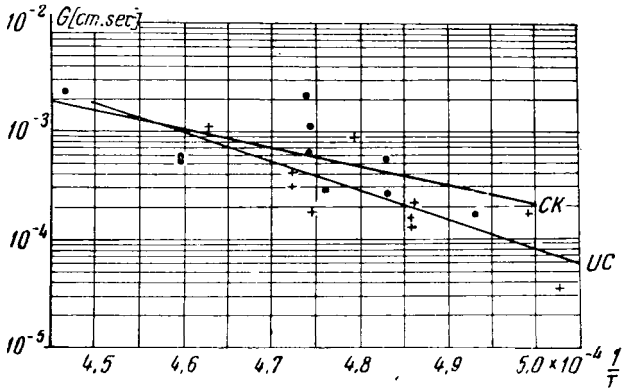
és

$$G_{UC} = 2{,}78 \cdot 10^9 e^{-\frac{124\,000}{RT}} \tag{6a}$$

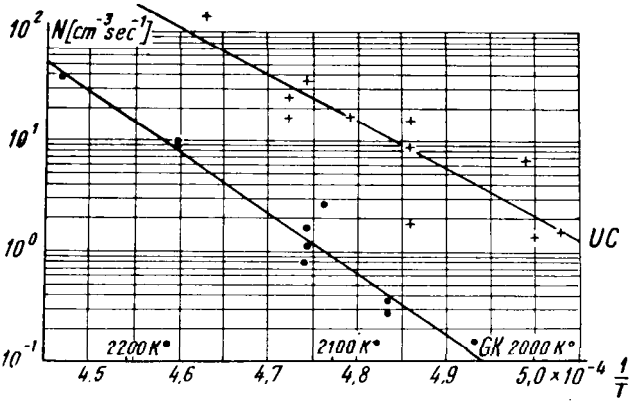
$$N_{GK} = 1{,}42 \cdot 10^{26} e^{-\frac{251\,000}{RT}} \tag{7}$$

$$N_{UC} = 8{,}94 \cdot 10^{21} e^{-\frac{198\,000}{RT}} \tag{7a}$$

A (6) és (6*a*) egyenletek görbéit a *4. ábra*, a (7) és (7*a*) egyenletekét pedig az *5. ábra* mutatja féllogaritmusos koordináta-rendszerben.



4. ábra. K, Si és Al adaléknyomokat tartalmazó GK-wolframdrótok és csak K és Si adaléknyomokat tartalmazó UC-wolframdrótok átlagos kristálynövekedési sebessége (G) 2000 K° és 2300 K° között



5. ábra. GK és UC drótok (l. 4. ábra szövegét) átlagos kristálymagképződési gyakorisága (*N*) 2000 K° és 2300 K° között

Irodalmi adatok szerint a magképződés és a kristálynövekedés aktiválási energiája általában megegyezik egymással. Ezt úgy értelmezzük, hogy ilyenkor a magképződés elemi lépése megegyezik a mag, majd a kristály növekedésének elemi lépésével. A mi méréseinknél mind az UC drótokon, mind a GK drótokon a két folyamat aktiválási energiája lényegesen különbözik egymástól. Az eltérés okát több tényezőben is kereshetjük. Mi jellegzetesen szennyezett fémeket vizs-

gáltunk, az irodalmi adatok viszont általában „tiszta" fémekre vonatkoznak. Mi szekunder rekrisztallizációt vizsgáltunk, az irodalmi adatok ellenben főképpen primer rekrisztallizációra vonatkoznak. A különbség szerintünk azonban nem annyira ezekből a tényezőkből ered, hanem abból a tényből, hogy mi tudatosan olyan rekrisztallizációs folyamatokat vizsgáltunk, amelyeknél a szennyezőatomoknak tapasztalás szerint nagy és jellegzetes befolyása van a rekrisztallizáció jellegzetes vonásaira. Ilyen esetben feltehető, hogy pl. a magképződéshez a szennyezőatomok is szükségesek és így a magképződés aktiválási energiáját más folyamat szabja meg, mint a kristály továbbnövekedését, amelyben a szennyezőatomoknak esetleg semmi szerep sem jut. Ha ez az elképzelésünk közel jár a valósághoz, akkor érthetővé válik Q_G és Q_N egymástól eltérő értéke a részünkről vizsgált rendszerekben (fémekben).

A két utolsó egyenletből további fontos következtetéseket vonhatunk le a minket legjobban érdeklő átlagos szemcsenagyságot illetően. Az (1) egyenletből

$$t - \tau = \frac{l}{G}\,, \tag{8}$$

a (2) egyenletből pedig

$$t - \tau = \frac{4}{d^2 \pi l N}\,, \tag{9}$$

a (8) és (9) egyenlet jobboldalaiból

$$\frac{l}{G} = \frac{4}{d^2 \pi l N} \tag{10}$$

vagy

$$l = \left(\frac{4G}{d^2 \pi N}\right)^{\frac{1}{2}} = \frac{2}{d}\left(\frac{G}{\pi N}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{11}$$

Ha d értékét 100 μ-nak vesszük, a (11) egyenletből az ismert tagok behelyettesítése után megkapjuk az $l = l(T)$ függvényt, a következő számértékekkel:

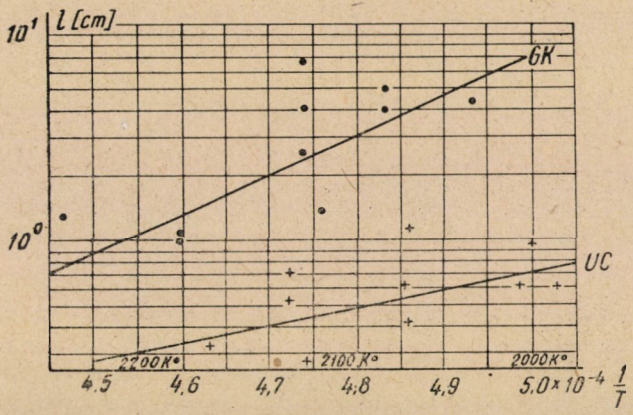
$$l_{GK} = 2{,}48 \cdot 10^{-9} e^{\frac{85\,000}{RT}} \tag{12}$$

$$l_{UC} = 6{,}3 \cdot 10^{-5} e^{\frac{37\,000}{RT}}\,, \tag{12a}$$

Ez a két összefüggés megadja adott hőmérsékletre a szálon képződő szemcsék átlagos hosszát cm-ekben. A két összefüggést grafikusan a 6. ábra szemlélteti. Ebből látható, hogy *a szemcse hossza annál nagyobb, mennél kisebb hőmérsékleten*

megy végbe az újrakristályosodás. A legtöbb fémnél fordított az összefüggés, mert általában az izzítási hőmérséklet növelése növeli a szemcse nagyságát.

Ezek szerint akkor, ha nagyobb kristályokból álló szerkezetet akarunk elérni, kisebb hőmérsékleten (hosszabban) kell izzítani a wolframdrótot, ha ellenben kisebb kristályokból álló szerkezetet kívánunk elérni, a lehető legnagyobb hőmérsékleten kell végezni az újrakristályosodást. Ezt a megállapítást, azaz a (12) egyenlet érvényességét, izzólámpák spirálisain is ellenőriztük. Itt — és más kísérletekben is — beigazolódott, hogy az újrakristályosítás hőmérséklete-



6. ábra. GK és UC drótok (l. a 4. ábra szövegét) átlagos kristályhossza 2000 K° és 2300 K° között lefolyó újrakristályosodás esetén

nek növelése csökkenti (ha kisebb mértékben is) a szabadon kialakuló átlagos kristálynagyságot.

Ennek a megállapításnak van némi gyakorlati jelentősége, ez azonban nem túlságosan nagy. Sokkal nagyobb jelentőséget tulajdoníthatunk annak a ténynek, hogy a GK és UC drótfajtákra kapott megállapításainkat összevetve megtehetjük az első lépést a kis szennyezések rekrisztallizációira gyakorolt hatásának megismerése felé. A mérések eredményeiből kiolvashatjuk ugyanis a következő két tényt :

1. A kb. 10^{-5} koncentrációban K, Si és Al nyomokat tartalmazó GK-drótokban és a kb. 10^{-5} koncentrációban csupán K és Si nyomokat tartalmazó UC-drótokban a kristálynövekedés sebessége 2000—2300 K° hőmérséklettartományban nem nagyon tér el egymástól. Nem ez az oka tehát annak, hogy az Al nyomokat nem tartalmazó UC sokkal kisebb kristályos, mint a GK.

2. A magképződés sebessége azonos hőmérsékleten UC-drótban kb. tízszer akkora, mint az Al nyomokat is tartalmazó GK-drótban. Ez az oka annak, hogy a GK-drótban átlag tízszer akkora kristályok képződnek, mint az UC-drótban.

Megkockáztathatjuk ezek alapján azt az állítást, hogy az UC-dróttal szemben a GK-drótban kb. 10^{-5} koncentrációban jelenlevő Al atomok azzal vezetnek

sokkal nagyobb kristályokból álló szerkezethez, hogy visszaszorítják a nukleációt, azaz csökkentik a magképződési gyakoriságot.

Reméljük, hogy más szennyezőatom-kombinációkat és szennyezőatomokat tartalmazó drótfajtákon végzett analóg vizsgálatokkal fokozatosan megismerhetjük az egyes atomfajták és kombinációk viselkedését rekrisztallizációban és ezzel egyre jobban megközelíthetjük eredeti célkitűzésünket: a rekrisztallizáció kémiai és fizikai okainak megismerését.

Emellett megnyílik azonban még egy másik perspektíva is. A 2. ábrát figyelmesen szemlélve feltűnik, hogy egyes kristályok növekedése eleinte gyorsan halad, de azután lassul és megáll, holott felületükről szinte azonnal újabb kristály indul el nagy sebességgel.

Lehetséges, hogy ennek a jelenségnek vizsgálatával nemcsak a kristálynövekedést elősegítő, hanem az azt gátló tényezőkről is fokozatosan felvilágosítást kaphatunk. Mi fékezi le egy gyorsan növekvő kristály növekedését? Összegyűlnek talán felületén az útközben érintett bizonyos fajta szennyezőatomok és ezek végül is megakasztják a kristály továbbnövekedését? Más szóval: van szegregáció a rekrisztallizációs kristálynövekedés közben is, nemcsak az ömledékből történő kristályosodásnál? Rendelkeznek-e a szennyezőatomok kellő diffúziósebességgel ahhoz, hogy a növekvő kristály felületének haladását kövessék, avagy talán éppen a felületbe kerülésük kölcsönöz nekik kielégítő *felületi* mozgékonyságot ahhoz, hogy egyszer a felületbe kerülve, azt többé el ne hagyják, hanem vele haladhassanak?

Rendkívül érdekes kérdések ezek, mert alapjaiban érintik azt az elméleti problémát, hogy vajon szennyezettebbek-e vagy tisztábbak-e a rekrisztallizált wolframfém kristályhatárai, mint maguk a kristályok, és ezen keresztül alapjaiban érintik azt, a spirális áthajlás és spirális törékenység szempontjából nagy horderejű kérdést is, vajon a krisztallithatároknak vagy a kristályoknak maguknak kell-e a 10^{-5} koncentrációjú, kedvező hatású idegen anyag nyomokat tartalmaznia. Ezen a kérdésen keresztül közvetlenül kapcsolódnak vizsgálataink a vákuumtechnikai ipar fő wolframkövetelményeihez.

IRODALOM

1. Smithells, C. J.: Tungsten. 1952 (III. Edition). Chapman and Hall Ltd. London.
2. Millner T.: A vákuumtechnikai wolframfém előállításának és tulajdonságainak természettudományos kérdései. Székfoglaló előadás a Magy. Tud. Akadémián (1956. III. 5.). Acta Technica XVII.
3. Robinson, C. S.: J. Appl. Phys. **13**. 647 (1942).
4. Burke, J. E. Turnbull D.: Progress in Metal Physics 3. (1952) 220.
5. Jones, H. A. Langmuir I.: Gen. El. Rev. **30**. 310. (1927).
6. Smith, G. F.: Phys. Rev. **94** (Second Series) 295 (1954).

ÖSSZEFOGLALÁS

Rostos szerkezetű megmunkált wolframdrótok másodlagos újrakristályosodásakor keletkező kristályok növekedését ROBINSON módszerével vizsgáltuk.

Ilyen vizsgálatokat „GK" drótokon (amelyek kb. 10^{-5} num. koncentrációban K, Si és Al atomokat tartalmaznak) és „UC" drótokon (amelyek kb. 10^{-5} num. koncentrációban csupán K és Si atomokat tartalmaznak) 2000—2300 K° hőfoktartományban végezve a kristálynövekedés sebességére (G) a (7) és (8) összefüggéseket, a kristálymagképződési gyakoriságra (N) a (9) és (10) összefüggéseket, valamint ezek felhasználásával az átlagos szemcsenagyságra (l) a (14) és (15) összefüggéseket kaptuk. Ezek szerint:

1. Mind az átlagosan 5—10 cm-es kristályokat adó GK-drótokban, mind az átlagosan 0,5—1,0 cm-es kristályokat adó UC-drótokban a szemcsehossz annál nagyobb, minél kisebb hőmérsékleten folyik le az újrakristályosodás. Ez eltér a rekrisztallizáció más fémeknél észlelt lefolyásától.

2. A kb. 10^{-5} koncentrációban K, Si és Al nyomokat tartalmazó GK-drótokban és a kb. 10^{-5} koncentrációban csupán K és Si nyomokat tartalmazó UC-drótokban a kristálynövekedés sebessége 2000—2300 K° között nem nagyon tér el egymástól. Nem ez az oka tehát annak, hogy az Al nyomokat nem tartalmazó UC sokkal kisebb kristályos, mint a GK.

3. A magképződés sebessége azonos hőmérsékleten UC-drótokban kb. tízszer akkora, mint az Al nyomokat is tartalmazó GK-drótokban. Ez az oka annak, hogy a GK-drótokban átlag tízszer akkora kristályok képződnek, mint az UC-drótokban. Úgy látszik, hogy az UC-dróttal szemben a GK-drótban kb. 10^{-5} koncentrációban jelenlevő Al atomok azáltal vezetnek sokkal nagyobb kristályokból álló szerkezethez, hogy visszatartják a nukleációt, azaz csökkentik a magképződési gyakoriságot.

Ilyen vizsgálatok valószínűleg lehetőséget fognak nyújtani annak a nagy jelentőségű kérdésnek a kiderítéséhez is, hogy szegregálódnak-e a rekrisztallizációkor a növekvő kristályok haladó felületén bizonyos fajta szennyezőatomok.

BARRÉ DE SAINT-VENANT EMLÉKE, 100 ÉV TÁVLATÁBAN*

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA
ÉPÍTŐIPARI ÉS KÖZLEKEDÉSI MŰSZAKI EGYETEM SZILÁRDSÁGTANI TANSZÉKE, BUDAPEST

[Beérkezett 1956. július 18-án]

Immár 100 esztendeje annak, hogy BARRÉ DE SAINT-VENANT alapvető munkái: a „De la torsion des prismes avec considération sur leur flexion" és a „Mémoire sur la flexion des prismes" napvilágot láttak.

DE SAINT-VENANT e munkáiban a technikai szilárdságtan legfontosabb feladatainak, a hajlításra, illetve csavarásra igénybevett prizmatikus rúd problémájának, adja pontos megoldását. Nagyjelentőségű e feladatok tárgyalása kapcsán alkalmazott új módszerének, a *semi-invers* eljárásnak a bevezetése, valamint annak felismerése is, hogy a végeiken terhelt rudak feszültségi állapota a rúdvégektől kellő távolságban csak a hatóerők eredőjétől függ, de az erők megoszlásmódjától független.

Ama 100 esztendő alatt, mely SAINT-VENANT két alapvető munkájának megjelenése óta napjainkig eltelt, a rugalmasság-elmélet a szerény kezdetekből hatalmas tudománnyá fejlődött. Ez a tudomány mindenkor őrizni és hirdetni fogja kiváló mesterének, BARRÉ DE SAINT-VENANT-nak emlékét.

* Kivonat a szerzőnek az Acta Technica XVII. kötetében francia nyelven megjelent megemlékezéséből.

A KRITIKUS NYOMÓERŐ MEGHATÁROZÁSÁRA SZOLGÁLÓ BARTA-FÉLE ITERÁCIÓS ELJÁRÁS MÓDOSÍTÁSA*

CSONKA PÁL
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA
ÉPÍTŐIPARI ÉS KÖZLEKEDÉSI MŰSZAKI EGYETEM SZILÁRDSÁGTANI TANSZÉKE, BUDAPEST

[Beérkezett 1956. augusztus 14-én]

A központos nyomásra igénybe vett, két végén csuklós, egyenestengelyű, változó keresztmetszetű rúd kritikus nyomóerejének meghatározására szolgáló Barta-féle iterációs eljárás [1] konvergenciája az eljárás alapképletének módosításával meggyorsítható.

BARTA a P_k kritikus erő valamely ismert P_{k1} alsó korlátértékéből indul ki, s azt az egymás után következő lépések során fokozatosan helyesbíti. Az így előálló

$$P_{k1}, P_{k2}, \ldots P_{kn}, P_{k,n+1}, \ldots$$

sorozat a keresett P_k érték felé konvergál.

BARTA az iteráció céljaira a

$$P_{k,n+1} = P_{kn} + \frac{6\,EI_{\min}\,y_{kn}(l)}{l^3} \tag{1}$$

képletet használja, amely azonban az egyes lépések közt aránylag csekély igazítást ad. Ha azonban a fenti képlet bevezetése során alkalmazott értékbecslést finomítjuk, az iteráció konvergenciáját meggyorsíthatjuk. Ezzel az (1) képlet helyett a

$$P_{k,n+1} = P_{kn} + \frac{2\,\omega^2\,EI_{\min}\,y_{kn}(l)}{\left(\frac{1}{\omega}\sin\omega - \cos\omega\right)l^3} \tag{2}$$

képletet vezethetjük le, ahol

$$\omega = \pi\left[\frac{P_{kn}}{EI_{\max}}\right]^{\frac{1}{2}}.$$

A képletben előforduló $y_{kn}(l)$ értéket ugyanúgy kell pl. kötélsokszögszerkesz-

* Kivonat a szerzőnek az Acta Technica XVII. kötetében megjelent tanulmányából.

téssel meghatározni, mint az eredeti eljárás esetében. E tekintetben mindkét eljárás az ismert Vianello-féle eljáráshoz [2] hasonló.

A módosított eljárás előnyei főleg akkor szembeszökők, ha a rúdkereszt-metszetek tehetetlenségi nyomatéka nem változik tág határok közt. Pl. a szélsőséges $\omega = \pi$ esetben az egymás után következő lépesek közötti igazítás a (2) képlet szerint $\pi^2/3$-szorta adódik nagyobbra, mint az eredeti (1) képlet alapján.

IRODALOM

1. BARTA J.: Eine Modifikation des Vianelloschen Iterationsverfahrens. *Acta Technica* Band XVII. pp. 329—345.
2. VIANELLO, L.: Graphische Untersuchung der Knickfestigkeit gerader Stäbe. Zeitschrift des *Vereines Deutscher Ingenieure*, **42** (1898), pp. 1436—1443.

NUMERIKUS ELJÁRÁS A CSAVARÁS OKOZTA FESZÜLTSÉGEK SZÁMÍTÁSÁRA*

CSONKA PÁL

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA
ÉPÍTŐIPARI ÉS KÖZLEKEDÉSI MŰSZAKI EGYETEM SZILÁRDSÁGTANI TANSZÉKE, BUDAPEST

[Beérkezett 1956. szeptember 19-én]

Az alább ismertetendő eljárás tiszta csavarásra igénybe vett tömör prizmatikus rudak keresztmetszeteinek peremén fellépő τ nyíró feszültségek számítására alkalmas, feltéve, hogy a ϑ fajlagos elcsavarodási szög ismeretes. Az eljárás a feszültségek számítását közvetlenül, az $f(x, y)$ feszültségfüggvény meghatározása nélkül teszi lehetővé. A számítás alapját a Green-féle képletek alkotják. Ezek egy érdekes alkalmazási lehetőségére SZMODITS KÁZMÉR hívta fel a figyelmet.

A Green-féle képlet egy ismert változata szerint

$$\int_{(S)} u \frac{\partial (\ln r)}{\partial n} \, dS - \int_{(S)} \frac{\partial u}{\partial n} \ln r \, dS + \int_{(F)} \triangle u \, \ln r \, dF = \pi u(A) . \qquad (1)$$

E képletben n a kerületi görbe befelé pozitívnak tekintett normálisát, F a keresztmetszeti idom területét, S a keresztmetszeti idom kerületi görbéjét, r pedig az xy sík pontjainak az S görbe valamely fix A pontjától való távolságát jelenti. A kerületi görbe mentén való haladás pozitív iránya az óramutató járásával megegyező.

A keresztmetszet feszültségfüggvénye esetében

$$\triangle f = -2G\vartheta ,$$

a kerületi görbe pontjaiban pedig

$$f(S) = 0 ,$$

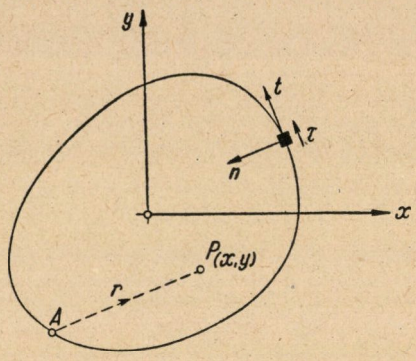
illetve

$$\tau = -\frac{\partial f}{\partial n} .$$

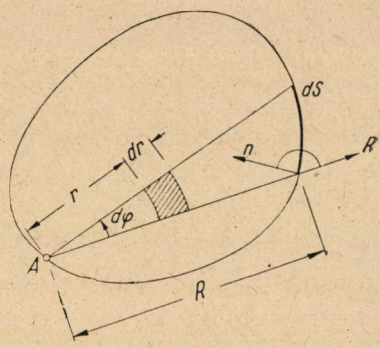
* Kivonat a szerzőnek az Acta Technica XVII. kötetében francia nyelven megjelent tanulmányából.

Ezért az (1) képlet a feladat feszültségfüggvényére alkalmazva, a következőképp alakul:

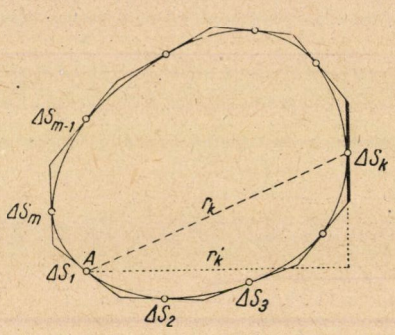
$$\int_{(S)} \tau \ln r \, dS - 2G\vartheta \int_{(F)} \ln r \, dF = 0 . \tag{2}$$



1. ábra. A rúd keresztmetszeti idoma



2. ábra. Számítási adatok



3. ábra. A keresztmetszeti idomot helyettesítő sokszög

Az itt szereplő területi integrálról kerületi integrálra célszerű áttérni. Ez a 2. ábra jelöléseivel a következőképp történhetik meg:

$$\int_{(F)} \ln r \, dF = \int_0^{\pi} \int_0^{R} r \ln r \, dr \, d\varphi =$$

$$= \int_0^{\pi} \left[\frac{r^2}{2} \ln r - \frac{r^2}{4} \right]_0^{R} d\varphi = \frac{1}{2} \int_0^{\pi} R^2 \ln R \, d\varphi - \frac{F}{2} =$$

$$= -\frac{1}{2} \int_{(S)} r \cos rn \ln r \, dS - \frac{F}{2} .$$

A fenti összefüggés felhasználásával a (2) képlet a következőképp alakul:

$$\int_{(S)} \tau \ln r \, dS + G\vartheta \int_{(S)} r \cos(rn) \ln r \, dS + G\vartheta F = 0 . \tag{3}$$

A numerikus számítások során a keresztmetszetet m-oldalú sokszöggel helyettesítjük, melynek egy-egy oldala mentén a τ feszültséget állandónak tekintjük. Az A pontot úgy vesszük fel, hogy az az első sokszögoldal felezőpontjába kerüljön. Ezzel az egyszerűsítéssel a (3) képletet

$$\sum_{1}^{m} \tau_k I_k + G\vartheta \left(F - \sum_{1}^{m} r'_k I_k\right) = 0 \tag{4}$$

alakban írhatjuk, ahol

$$I_k \equiv \int_{(\Delta S_k)} \ln r \, dS ,$$

ΔS_k és r'_k pedig a 3. ábrán feltüntetett jelentéssel bír.

Az első sokszögoldal esetében

$$I_1 = (\ln \Delta S_1 - \ln 2 - 1) \Delta S_1 ,$$

a többi sokszög oldal esetében pedig jó közelítéssel

$$I_k = \ln r_k \cdot \Delta S_k ,$$

ha ti. r_k a k-adik sokszögoldal felező pontjának az A ponttól való távolságát jelenti.

A (4) egyenletet mindegyik sokszögoldal felező pontjára külön-külön felírva, oly egyenletrendszert kapunk, melyből az egyes sokszögoldalakhoz tartozó τ_k értékek kiszámíthatók.

WOLFRAMDRÓT ÁTMÉRŐJÉN MUTATKOZÓ EGYENLŐTLENSÉGEKNEK ÉS AZ IZZÓSZÁLKÖRNYEZET HŐELVONÓ HATÁSÁNAK BEFOLYÁSA AZ IZZÓLÁMPA ÉLETTARTAMÁRA

MILLNER TIVADAR

LEV. TAG

[Beérkezett 1956. szeptember 28-án]

VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN a „Wolframdrótok kiégése vákuumban és közömbös gázatmoszférában" című munkájukban [1] számításokkal meghatározták és kísérleti értékekkel ellenőrizték a drótkeresztmetszet egyenlőtlenségeinek befolyását az izzószál „halálos súlyveszteségi százalék"-ára.

A halálos súlyveszteségi százalék azt mutatja meg, hány %-ot veszít a súlyából az egész izzószál a kiégéséig, azaz addig, amíg valamely keskenyebb keresztmetszetű helye teljesen el nem párolog. A keskenyebb keresztmetszetű hely — szokásos nevén „spot" — hőmérséklete valamivel magasabb, mint a teljes keresztmetszetű izzószálrészleteké, mert a keskenyebb helyen a hosszegységre eső ellenállás és ennélfogva a feszültségesés nagyobb, mint az ép szakaszokon, az áramerősség ellenben ugyanakkora, ennélfogva több a hevítőenergia.

VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN szerint a Θ spothőmérséklet és T izzószálhőmérséklet aránya

$$\frac{\Theta}{T} = \left(\frac{r_\Theta}{r}\right)^{-\frac{3(1+\gamma)}{\varepsilon-\eta+\gamma(\sigma-\eta)}}, \tag{1}$$

ahol r_Θ a spotkeresztmetszetnek, r pedig az ép szál keresztmetszetének sugara. Az ε, σ és η exponenseket az

$$R_T = AT^\varepsilon \qquad E_T = BT^\sigma \qquad \varrho_T = CT^\eta$$

összefüggések szabják meg, ahol R a felületegységről kisugárzott összes energiát, E a felületegységről a környezet (gáz) által elvezetett hőenergiát, ϱ pedig a wolframfém fajlagos ellenállását jelenti.

FORSYTHE és WORTHING ismert adatai [2] szerint

I. táblázat

	ε	η
2400 K°	4,64	1,2
2700	4,51	1,2
3100	4,37	1,2

σ értéke VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN szerint az egész számbaveendő hőmérséklettartományban 1,4. A γ tényező értékét a

$$\gamma = \frac{BT^{\sigma}}{AT^{\varepsilon}}$$

összefüggés szerint a környezet által elvont és a kisugárzott energia aránya szabja meg. γ számértéke vákuumban $\gamma = 0$, 700 mm N_2-ben nagyjából $\gamma = 1$.

Ha az (1) összefüggésből különböző T hőmérsékletre kiszámítjuk azt a ΔT hőmérsékletemelkedést, amely 0,25%-os spot esetén különböző mértékű hőelvonás folytán, azaz γ különböző értékei mellett mutatkozik, a II. táblázathoz jutunk.

II. táblázat

$\Theta - T = +_{\gamma} \Delta T$ értékek
(spot : 0,25%)

$\gamma =$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
2400 K°	5,2	5,6	6,2	7,2	8,2	9,0	10,0
2700	6,2	6,8	7,4	8,4	9,5	10,7	11,7
3100	7,2	8,1	8,8	10,1	11,4	12,7	14,0

Ebből a táblázatból látható, hogy ugyanaz a spot vákuumban is és gázban is annál jobban túlhevül, minél magasabb az izzószál hőmérséklete. Ez megegyezik az általános érzékeléssel. Feltűnő és nevezetes azonban az, hogy a gázkörnyezet nem „hűti" a spotot, nem csökkenti a spot túlhevülését, hanem ellenkezőleg : jelentékenyen fokozza. Látjuk a táblázatból, hogy minél nagyobb γ, annál nagyobb a spot hőmérséklete. Ez onnan ered, hogy amíg vákuumban a spot egész energiatöbbletét a hőmérséklet 4,5 hatványával arányosan, teljesen sugárzással veszíti el, addig gáztérben energiatöbbletének, amely nagyobb, mint vákuumban, egy részétől kénytelen a hőmérsékletnek csupán 1,4 hatványával arányos hővezetési folyamattal megszabadulni és emiatt gázban jobban túl kell hevülnie, mint vákuumban, hogy teljes energiatöbbletét állandóan leadhassa.

A spot különböző mértékű túlhevülése szerint párolgása különböző mértékben előzi meg az izzószál többi részének párolgását. A spot teljes elpárolgásáig kialakuló halálos súlyveszteségi percent ennélfogva mindazoktól a tényezőktől függ, amelyektől a túlhevülés mértéke, de ezenkívül függ még természetesen a wolframfémnek a hőfokkal változó párolgássebességétől is.

VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN szerint a halálos súlyveszteségi percent

$$q\,\% = 100\left[1 - \sqrt[\frac{\varphi+1}{2}]{1 - \left(\frac{d_{\Theta a}}{d_a}\right)^{\varphi+1}}\right], \qquad (2)$$

ahol $\frac{d_{\Theta a}}{d_a}$ a spot%-nak megfelelő átmérő arányt jelenti és

$$\varphi = \frac{3\,(1+\gamma)\,n}{\varepsilon - \eta + \gamma\,(\sigma - \eta)}\,.$$

Itt n a wolframfém párolgássebességének hőmérsékletexponense. Értékét FORSYTHE és WORTHING adataiból vagy a LANGMUIRtól [3] származó

$$\log(m) = 7{,}5 - \frac{40\,500}{T}$$

párolgássebesség függvénnyel és az

$$m(T) = K \cdot T^n$$

összefüggéssel különböző hőmérséklettartományokra kiszámolva a következő adatokhoz jutunk:

III. táblázat

	n
2350—2450 K°	38,8
2650—2750	34,4
3050—3150	30,0

Ezekkel és ε, η, valamint σ már megadott értékeivel a IV. táblázatban összefoglalt φ-értékeket számíthatjuk ki:

IV. táblázat

φ-értékek

$\gamma =$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
2400 K° $\varepsilon = 4{,}64$; $n = 38{,}8$	33,759	37,005	40,137	46,296	52,314	58,200	63,956
2700 K° $\varepsilon = 4{,}51$; $n = 34{,}4$	31,178	34,090	36,968	42,620	48,140	53,533	58,803
3100 K° $\varepsilon = 4{,}37$; $n = 30{,}0$	28,391	31,034	33,643	38,769	43,768	48,649	53,413

Ha a spot%, azaz a $\frac{d_{\Theta a}}{d_a}$ átmérőarány állandó, tehát változatlan minőségű drót viselkedését vizsgáljuk, akkor a halálos súlyveszteségi százalék a (2) össze-

függés szerint csupán φ értékétől függ. φ-ben η és σ a hőfoktól független állandók ; n és ε a hőfokkal és gyakorlatilag csak a hőfokkal változnak ; γ értéke a hőfokon kívül a környezet melegelvonó hatásától is függ (pl. a környezet hővezetőképességétől, a gázáramlási viszonyoktól, a gáz kémiai természetétől, a gáznyomástól stb., sőt a spirál- és drótátmérőtől is). A IV. táblázat jól szemlélteti, hogyan változik φ értéke, ha mindezen tényezők hatására γ változik.

Ezekkel a φ értékekkel kiszámolhatjuk a valamely ismert spot%-hoz tartozó halálos súlyveszteségi százalékot. q %-ot (2)-ből 0,25% spot esetére kiszámolva az V. táblázat adataihoz jutunk.

V. táblázat
q % értékek
(spot : 0,25%)

$\gamma =$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
2400 K° $\varepsilon = 4{,}64$; $n = 38{,}8$	13,3	11,9	10,5	8,8	7,5	6,5	5,7
2700 K° $\varepsilon = 4{,}51$; $n = 34{,}4$	14,7	13,1	11,9	9,9	8,4	7,3	6,4
3100 K° $\varepsilon = 4{,}37$; $n = 30{,}9$	16,5	14,8	13,4	11,2	9,5	8,3	7,3

Látható, hogy a halálos súlyveszteségi százalék egyrészt annál nagyobb, minél magasabb az izzószálhőmérséklet, másrészt annál kisebb, minél nagyobb γ értéke, azaz a környezet hőelvonó hatása.

Ezekből az adatokból így feleletet kapunk arra a gyakran megvitatott kérdésre, szükségképpen van-e úgy, hogy ugyanazon spot% mellett, tehát ugyanazon drótminőség esetén a vákuumlámpák sokkal nagyobb (kb. 10—12%) halálos súlyveszteséget érnek el, mint a gáztöltésű lámpák (kb. 1,5—2,5%). Ez spotos drótok esetén, tehát gyakorlati viszonyok között, szükségképpen van így.

Látjuk a táblázat adataiból, hogy azonos méretű spot azonos izzószálhőmérsékleten gázban (nagyobb γ mellett) kisebb q %-ot enged meg, tehát fokozottabban párolog, mint vákuumban. Ez azért van így, mert a II. táblázat adatai szerint ugyanaz a spot gázban erősebben túlhevül, mint vákuumban.

Látjuk azonban azt is, hogy azonos mértékű spot magasabb hőmérsékleten nagyobb q %-ot enged meg, tehát „kevésbé párolog", mint alacsonyabb hőmérsékleten. És ez vákuumban és gázban egyaránt így van. Ez meglepő, mert hiszen a II. táblázat szerint magasabb hőmérsékleten a spot erősebben túlhevül, mint alacsonyabb hőmérsékleten. Azért van ez mégis így, mert a párolgássebesség n hőmérsékletexponense a hőmérséklet növekedésével dominálóan csökken.

*

Mindezeket a viszonyokat az izzólámpa minősége érdekében mérlegelve, azt a legfőbb kérdést kell megvizsgálnunk, amit munkájuk elején VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN is felvetnek, de meg nem válaszolnak: milyen hatást gyakorolnak az izzólámpa élettartamára és ezzel együtt az izzólámpa minőségére a drótkeresztmetszet egyenlőtlenségei? Más szóval: milyen az egyes lámpafajták „spotérzékenysége". Érzékenyebb-e ugyanarra a spotra a vákuumlámpa, mint a gáztöltésű lámpa? Érzékenyebb-e ugyanarra a dróthibára a kriptonlámpa, mint az argonlámpa? Mennyire érzékeny az izzólámpa a spot% növekedésére stb.?

A drótegyenlőtlenségeknek az izzólámpa élettartamára gyakorolt hatását, azaz az izzószál spotérzékenységét ezekből az adatokból úgy tehetjük szemléletessé, ha meggondoljuk, hogy az izzószál élettartamát éppen a spothelyek élettartama szabja meg és ezért kiszámoljuk a

$$\left(\frac{T+\triangle T_{0\,\%}}{T+\triangle T_{0,25\,\%}}\right)^{n_T}=\frac{L_{0,25\%}}{L_{0\,\%}}$$

összefüggésből, amely párolgássebességre és hőmérsékletre, valamint élettartamra (L) és hőmérsékletre egyaránt érvényes, azt, hogy egyébként azonos körülmények között hány %-kal csökken ($-\Delta L\%$) az izzószál élettartama, ha ideális egyenletesség helyett (amikor $\Delta T_{0\%}=0$) rajta 0,25%-os elvékonyodások találhatók. Így a VI. táblázat adataihoz jutunk.

VI. táblázat

$-\Delta$L% értékek
(spot : $0 \rightarrow 0{,}25\%$)

$\gamma =$	0	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
2400 K° $n = 38{,}8$	8,1	8,7	9,6	11,0	12,5	13,6	14,9
2700 K° $n = 34{,}4$	7,6	8,3	9,0	10,1	11,4	12,7	13,8
3100 K° $n = 30{,}0$	6,7	7,5	8,1	9,3	10,5	11,6	12,7

Hasonlóan jutunk a VII. táblázat adataihoz, amelyek megadják, hány %-kal csökken az izzószál élettartama, ha rajta 0,25%-os elvékonyodások helyett 1%-os spotok vannak.

Ezek szerint a drótátmérő egyenlőtlenségeinek ugyanolyan mértékű romlása annál nagyobb mértékben csökkenti az élettartamot, mennél alacsonyabb az izzószál hőmérséklete és mennél jobb hővezető az izzószál környezete. Feltűnő, hogy bár a spotok ΔT túlmelegedése az izzószál hőmérsékletének

emelkedésével növekszik, mégis magasabb hőmérséketen kisebb a spotérzékenység (kisebb az élettartamcsökkenés), mint alacsonyabb hőmérsékleten. Ennek az az oka, hogy a párolgás sebességének n hőmérsékletexponense a hőmérséklet növekedésével dominálóan csökken.

VII. táblázat
$-\Delta L\%$ értékek
(spot : 0,25 → 1%)

$\gamma =$	0	0,4	1,0
2400 K° $n = 38,8$	22,2	28,7	40,6
2700 K° $n = 34,4$	21,0	27,4	35,7
3100 K° $n = 30,0$	18,8	25,2	33,9

Ha azt keressük, hogy a drótátmérő ingadozásaira a vákuumlámpa vagy a gáztöltésű lámpa érzékenyebb-e, akkor tulajdonképpen két egymás ellen működő hatás eredményét kutatjuk. A gáztöltésű lámpákban a drótot magasabb hőmérsékleten használjuk, mint a vákuumlámpákban : emiatt a gáztöltéstől csekélyebb érzékenységet, az élettartam szempontjából kedvezőbb helyzetet várhatunk : a gáztöltés hőelvonása miatt azonban nagyobb érzékenységgel, kedvezőtlenebb helyzettel kell számolnunk. Kvalitatív mérlegelés alapján alig lehet eldönteni, melyik hatás mikor erősebb. A VI. és VII. táblázat adatai azt mutatják, hogy a gáztöltésű izzólámpa — bár izzószálhőmérséklete magasabb — mégis az izzólámpák egész hőmérséklettartományában (2400 K° és 3100 K° között) érzékenyebb spotokra, mint a vákuumlámpa.

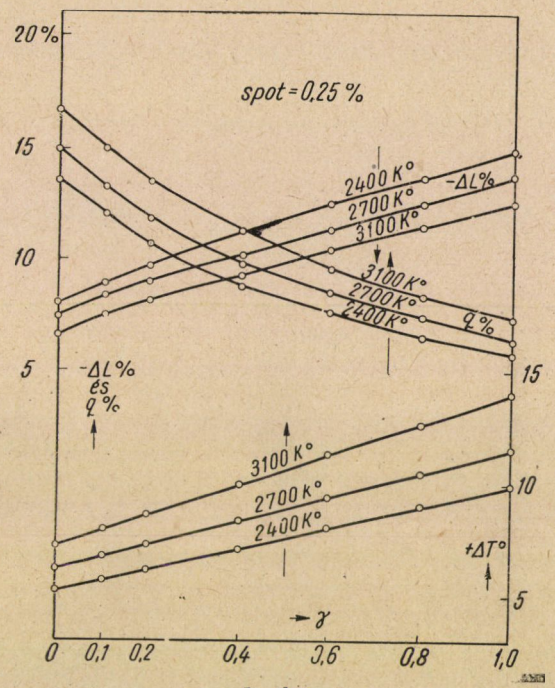
Az is kiolvasható a VI. és VII. táblázat adataiból, hogy egy kriptonlámpa a kriptongáz rosszabb hővezetése miatt is és a valamivel magasabb izzószálhőmérséklete miatt is kevésbé érzékeny spotokra, mint egy ugyanabból a drótból készült argonlámpa.

Ez a VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN munkájából ily módon kiolvasható megállapítás is, meg az is, hogy a spotérzékenység az izzószál hőmérsékletének emelkedésével csökken, az eddig elterjedt nézetekkel szemben nevezetes újdonságnak tekinthető.

*

A VI. és VII. táblázatok szembetűnően illusztrálják azt a közismert tényt, hogy milyen döntő jelentősége van a drót spotegyenletességének az izzólámpa élettartamszórásának csökkentésekor. De az is szembeszökő, hogy az izzólámpa élettartamminőségének kialakulásában éppen a drót elkerülhetetlen egyenlőtlenségei folytán a γ tényező is milyen jelentős.

A γ tényező értéke a gáztöltés anyagi minőségén, nyomásán kívül, valamint az izzószál és a lámpa geometriai méretein kívül a hőelvonás sok egyéb tényezőjétől (pl. a gázáramlási viszonyoktól) is erősen függ. Ezért γ meghatározása pusztán számításokkal nem végezhető. Ha azonban ugyanannak a lámpafajtának az elektromos adatait az előírásos összlumen mellett, tehát azonos (működési) izzószálhőmérsékleten egyrészt evakuált állapotban, másrészt gázzal töltve lemérjük, γ-értékét egyszerűen és rövid idő alatt megállapíthatjuk.



1. ábra

Ilyen γ-megállapítások hasznosak lehetnek a lámpaszerkesztés feladatainak lebonyolításánál. Ha a II., IV. és V. táblázatok adatait oly módon ábrázoljuk, amint azt az 1. ábra mutatja, azonnal látjuk, hogy ilyen grafikon segítségével már magukból a γ-érték meghatározásokból értesülhetnénk arról, hogy minőségjavítási célzattal kidolgozott új típus rövidebb vagy hosszabb élettartamú lesz-e, mint a régi, megjavítani szándékolt kivitel, és ezáltal az élettartamvizsgálatok egy része alighanem megtakarítható.

*

Mindebből kitűnik a γ-érték-meghatározásoknak és a mindenesetre körülményesebben elvégezhető, de éppen olyan fontos halálos súlyveszteségméréseknek alapvető jelentősége a lámpaminőség tervszerű fejlesztésében.

IRODALOM

1. Z. Sz. VOZNYESZENSZKIJ és B. F. SZOUSZTIN: Zsurnal technicseszkoj fiziki. 1939. évf. 399. old. (9).
2. FORSYTHE and WORTING: Astrophys. J. 1925. **61.** 146.
3. JONES, LANGMUIR and MACKAY: Phys. Rev. 1927, **30.** 201.

ÖSSZEFOGLALÁS

VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN idézett munkájából kimutatható, hogy az izzólámpákban a gáztér nem „hűti", hanem ellenkezőleg fokozza a hibásan vékonyabb, fonalszakaszok (spotok) hőmérsékletét (a vákuumtérben kialakuló hibahelyhőmérséklethez viszonyítva). Kimutatható, hogy a „halálos súlyveszteség-százalék" egyrészt annál nagyobb, minél nagyobb az izzószálhőmérséklet, másrészt annál kisebb, minél nagyobb a környezet hőelvonó hatása (γ tényezője). Ez az oka annak, hogy ugyanaz a wolframszál vákuumlámpában sokkal nagyobb (10—12%) halálos súlyveszteséget ér el, mint az erősen hőelvonó környezetű gáztöltésű lámpában (1,5—2,5%). Kimutatható, hogy azonos mértékű drótátmérőhiba, vagyis spot, magasabb izzószálhőmérsékleten azért enged meg nagyobb halálos súlyveszteséget, mint alacsonyabb szálhőmérsékleten, mert a párolgássebesség hőmérsékletexponense a hőmérséklet növekedésével dominálóan csökken.

VOZNYESZENSZKIJ és SZOUSZTIN munkájából az is kitűnik, hogy a gáztöltésű izzólámpa, bár izzószálhőmérséklete magasabb, mégis érzékenyebb a dróthibákra (spotokra), mint a vákuumlámpa, valamint az is, hogy a kriptonlámpa kevésbé érzékeny spotokra, mint az ugyanazon drótból készült argonlámpa.

A drótátmérő egyenlőtlenségeinek ugyanolyan mértékű romlása annál nagyobb mértékben csökkenti az élettartamot, mennél alacsonyabb az izzószálhőmérséklet és minél jobb hővezető az izzószál környezete.

Gáztöltésű izzólámpák szerkesztésénél jó segítséget nyújthatnak hőelvezetési tényezőmérések, azaz γ-meghatározások, valamint halálos súlyveszteség-mérések.

ÚJ, FOLYTONOS MŰKÖDÉSŰ DIFFÚZIÓS BERENDEZÉS*

A „J" DIFFÚZIÓ

OPLATKA GYÖRGY
A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

1. Bevezetés

Jelen munkánkban egy folytonosan működő, mechanizált lényerő berendezést ismertetünk, amely félüzemi méretben első ízben az egyik hazai cukorgyárban az 1955/56. évi cukorgyártási üzemben működött.

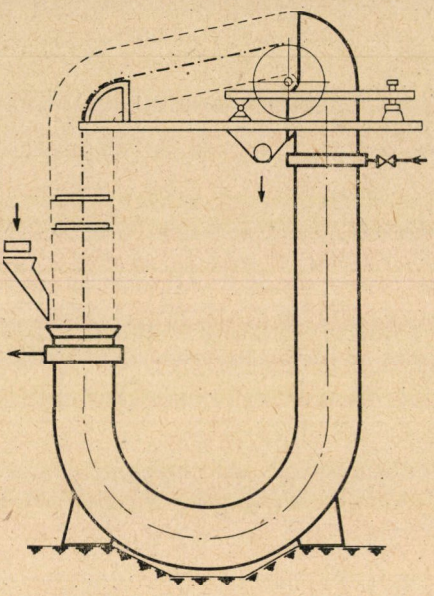
A lényerés a cukorgyártás sorrendben első művelete, amelynek célja, hogy a cukorrépában levő cukrot a további feldolgozásra alkalmas oldat alakjában kapjuk. A folyamatot gyakorlatilag úgy valósítjuk meg, hogy a répát felszeleteljük és a répaszeletből a cukrot vízzel, rendszerint ellenáramban kivonjuk. A folyamatot lényerésnek, diffúziónak, kilúgzásnak nevezik a cukoriparban.

A lényerést az eddigi gyakorlatban többnyire a Robert-féle diffúziós rendszerrel oldották meg, amely több, egymással sorbakapcsolt edényből áll. Az edényekbe töltik a szeletet és az edénysorozaton áramoltatják át a lúgzófolyadékot, a vizet. Ez a rendszer — jóllehet ma még talán a világ répacukorgyárainak 95%-a ezt használja — elavultnak tekinthető, egyrészt, mert szakaszosan működik és az egyes edényeket külön kell megtölteni, aminek következtében viszonylag sok és nehéz fizikai munkát kíván, másrészt nehezen méretezhető, úgyhogy a kilúgzási eredmények kedvezőtlenek. Éppen ezért mintegy 20—30 évvel ezelőtt megindult olyan korszerű diffúziós eljárás megvalósítására célzó törekvés, amely jobb kilúgzási eredményeket ad, amely folytonos működésű és így a munkaerő igénye jelentékenyen kisebb.

A folytonosan működő lényerő berendezés a szaksajtót is erősen foglalkoztatja. Újabban több olyan készülékről számoltak be, amely üzemi körülmények között megfelelően működik [1]. Egyik nemrégiben megjelent összefoglaló jellegű munkánkban [2] ismertettük azokat a követelményeket, amelyeket a folytonosan működő, mechanizált lényerő berendezéstől elvárunk. Ezek lényegében a következők: a jó kilúgzás (pontosabban koncentrált nyerslé és

* Az MTA VI. osztályának 1956. V. 8-án megtartott felolvasó ülésén elhangzott előadás

kis cukorveszteségek) érdekében az ellenáram elvét szigorúan meg kell tartani. A szeletet a folyadékárammal szemben úgy kell mozgatni, hogy egyes szeletszálak egymáshoz képest ne tolódjanak el, más szóval: a szeletben visszakeveredés ne keletkezzék. Az oldatban a visszakeveredés minimális legyen. A készülék legyen alkalmas finomra vágott szelet feldolgozására. Ezzel elérhető, hogy a diffúziós idő rövid, lehetőleg 50 percnél rövidebb. A kilúgzó berendezésben fertőzési gócok ne képződhessenek. A folyamat levegőtől elzárva folyjék le. Hidrodinamikai szempontból a szeletoszlopot úgy kell tagolni, hogy a folyadék



1. ábra

könnyen át tudjon hatolni rajta. Csekély legyen a hő- és mechanikai energia szükséglete. Vízszükséglete kevés legyen és ne keletkezzék szennyvíz. Legyen meg a présvíz visszavezetésének lehetősége, amivel a cukorveszteség és a friss víz szükséglet tovább csökken. Végül a berendezés legyen automatizálható, egyszerűen kezelhető, üzembiztos, olcsón előállítható és kis helyigényű.

Ezen elvek szem előtt tartásával építettünk olyan folytonos diffúziós berendezést, amelyet alakja után J-diffúziónak neveztünk el és amelyet vázlatosan az 1. ábra mutat. A kilúgzás a J alakú, lemezből készült csőházban folyik le, amelynek keresztmetszete téglalap alakú. A J alak rövidebb végén vezetjük be a szeletet, ugyanott távozik a nyerslé, a hosszabb szár tetején távozik a lúgzott szelet, ugyanott vezetjük be a kilúgzáshoz szükséges vizet. A szeletet két végtelen láncra felerősített mozgatótagok vontatják a J alakú csövön keresztül.

2. Elméleti alapok

A kísérleti készülék méretezéséhez, üzemi viszonyainak megállapításához felhasználtuk egyrészről a kilúgzásra vonatkozó szakmunkáink eredményeit [3], figyelembe véve a visszakeveredésre vonatkozó számításainkat [4], másrészről a deformálódó anyaggal töltött oszlopokban lejátszódó hidrodinamikai folyamatokra vonatkozó felismeréseket és számítási módszereket [5].

A Fick-törvény alkalmazásával levezetett számításaink összefüggést adtak a répa jellemzői (kezdeti cukortartalma, C_0, diffúziós állandója, D, fajsúlya, γ_0, a répában levő vonatkoztatott létérfogat, ε szabadon választható paraméterek (a lélehúzás, P, a szelet „vastagsága", l, a tényleges lúgzási idő, T) és a kilúgzás eredményességére jellemző lúgzott szelet cukortartalom (C_1) között. Képlettel kifejezve:

$$f(C_0, D, P, \gamma_0, \varepsilon l, T, C_1) = 0\,. \tag{1}$$

A képlet explicit alakban a [3] alatt idézett tanulmányban (4.22—4.24 képlet) található.

A függvényben előforduló tényezők közül a répa tulajdonságaira vonatkozókat adottnak kell tekinteni; a lúgzott szelet cukortartalmát (lényegében a cukorveszteséget) és a lélehúzást az üzemi követelmények írják elő. A szelet geometriai méretét, amelyet végeredményben a vágógép kapacitása szab meg, célszerű minél kisebbre választani. Így minden tényező ismeretében az egyenletből meghatározható a tényleges (aktív) lúgzási idő, T.

Másrészről a készülék teljesítményét (időegység alatt feldolgozott répa súlya, R) megadja a következő képlet

$$R = F v \Phi\,, \tag{2}$$

ahol F a J-diffúzió keresztmetszeti szelvénye, v a szeletoszlop haladási sebessége és Φ a térfogategységbe töltött szelet súlya. Ha a haladási sebességet a lúgzási zóna hosszával (H) és a lúgzási idővel (T) fejezzük ki:

$$v = \frac{H}{T} \tag{3}$$

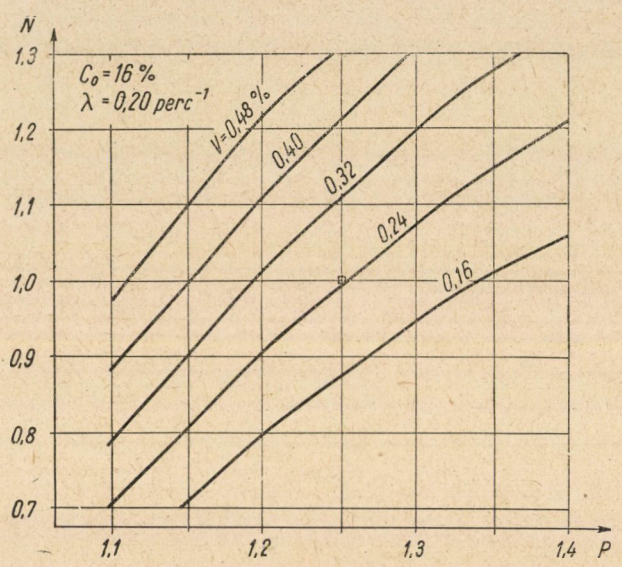
szerint, akkor

$$R = \frac{FH}{T}\Phi = \frac{V}{T}\Phi\,, \tag{4}$$

ahol V jelenti a lúgzási zóna térfogatát. Ez a képlet a J-diffúzió méretezésének alapegyenlete. Mutatja, hogy a készülék teljesítménye adott lúgzási viszonyok mellett a lúgzási zóna térfogatával arányos. Ez másként kifejezve azt jelenti,

hogy a kilúgzási eredmény szempontjából közömbös, hogy nagy keresztmetszetű és rövid zónát, vagy kisebb keresztmetszetűt és hosszabbat építünk. Utóbbi esetben természetesen a szelet haladási sebessége is nagyobb.

Az *FH* szorzat célszerű széttagolásánál hidrodinamikai megfontolásainkat használjuk fel. Az út növelésével az áramlási sebesség és ezzel együtt a hidrodinamikai ellenállás nő. Ez utóbbiak növelése bizonyos határon túl nem kívánatos, mert növekvő sebességgel csökken a hidrodinamikai ellenállás



2. ábra

stabilitása, vagy más szóval, nagyobb sebességeknél ugyanannak a szelet oszlopnak az ellenállása szélesebb határok között változhatik. Ezért a szelet illetőleg a lúgzó folyadék sebességét tapasztalataink felhasználásával úgy választjuk, hogy a szeletoszlop hidrodinamikai ellenállása kb. 0,5—1 m vízoszlop legyen.

A szeletoszlop hidrodinamikai tárgyalása során összefüggést állítottunk fel az áramlást létrehozó nyomás (p_0), a felületegységen időegység alatt átáramló folyadék mennyiség, más szóval a térfogat sebesség (w) és a szeletoszlop hidrodinamikai ellenállása között. Ez utóbbi a geometriai méretektől, pontosabban a szeletoszlop (vagy oszloprész) magasságától (h_0) és a szelet fizikai jellemzőitől függ ; ezek a szelettömeg kompresszibilitási tényezője (α), a hidrodinamikai ellenállás tényezője (k) és a kezdeti töltés (ϱ_0). Képlettel kifejezve :

$$f(p_0, w, h_0, k, \alpha, \varrho_0) = 0 \ . \tag{5}$$

A képlet explicit alakban az [5] alatt idézett tanulmányban (26. képlet) található.

A szelet jellemzői adottak, a nyomást előző megfontolásaink szerint felírtuk, így h_0 kiválasztása után a térfogatsebesség, w, a képletből meghatározható.

Minthogy végül a szeletoszlop haladási sebessége és a térfogatsebesség közt érvényes:

$$w = v\left[\frac{\Phi}{\gamma_0}(p-1)+1\right] \tag{6}$$

kiszámítható v és ebből H, valamint F.

A 2. ábrán bemutatjuk a J-diffúzió munkadiagramját, amelyet a fent vázolt elméleti megfontolások alapján dolgoztunk ki. A diagram $C_0 = 16\%$ cukortartalmú répára és $\lambda = 0{,}20$ perc^{-1} értékkel jellemzett szelet esetére érvényes. (λ értékére vonatkozó magyarázatot lásd még a 4.2 fejezetben.) A számításnál figyelembe vettük továbbá azt is, hogy a lúgzott szelet súlya 0,85-szöröse a friss szeletének. Az ábrán az abszcisszára a lélehúzást, az ordinátára a névlegesre vonatkoztatott répafeldolgozást vittük fel. Az egyes görbék mellé beírt paraméterek a répára vonatkoztatott cukorveszteséget adják meg súlyszázalékban.

Egyéb, pl. a hőgazdálkodásra, a szerkezeti elemek mechanikai igénybevételére vonatkozó stb. számításaink részletezésével nem foglalkozunk.

3. A készülék leírása és szerkezeti megoldása

A készülék legfontosabb eleme a J alakú csőház. Ennek alsó íves részét úgy képeztük ki, hogy az ív külső és belső görbületi sugarának hányadosa egy bizonyos értéknél kisebb legyen. Ezzel biztosítjuk a szelet egyenletes és visszakeveredés nélküli vezetését. A csőházban találhatók két vontatóláncra erősítve a szelethordó elemek. Ez utóbbiak lényegileg szögvaskeretek; a kereten belül a felületet láncok hidalják át. Ez a kiviteli mód nagyon előnyösnek bizonyult, mert egyrészt a szelet betöltésekor a szelet keresztüleshetik rajta és a láncok jelenléte alig zavar, másrészt a tömegben jelenlevő szeletet ugyanúgy hordják, mint a lemez. A hordó elemek egymástól való távolságát az előző fejezetben megadott hidrodinamikai szempontok szerint határoztuk meg. A két vontatólánc végtelenített kivitelben készült és a készülék felső részén elhelyezett hajtómű segítségével mozgattuk. Az alsó, félkör alakú ívben a vonóláncok félkör alakúra kiképzett pálya mentén helyezkednek el. Az egyes lánctagok összeerősítésénél görgőket alkalmaztunk, amelyek a félkör alakú alsó pályán legördülnek. Így a lánc mozgásakor nem keletkeznek nagy súrlódó erők és a mozgatáshoz szükséges teljesítmény csekély. A hajtóműbe fokozat nélküli sebességváltót szereltünk; a lánc esetleges nyúlás esetén utánfeszíthető.

A friss szeletet a készülék rövidebb száránál töltjük a készülékbe. Különleges szerkezet gondoskodik arról, hogy a szeletelosztás a felületen egyenletes

legyen. A szeletbetöltés alatt van a nyersléelvétel helye. A nyerslé a készülékből oldalt elhelyezett, függélyes állású, sűrű szövésű szitaszöveten keresztül áramlik ki egy gyűjtőcsatornába, ahonnan az üzembe távozik. A szitaszövetekhez tisztítószerkezet nem szükséges, mert a lefelé haladó szeletszálak a szitaszövetet állandóan tisztán tartják. A szita mindkét oldalát a lé teljesen ellepi. A lét a csatornába úgy vezetjük, hogy habzás sehol ne keletkezzék.

A lékivételi kamra alatti szakaszban a szelet felmelegszik, majd a hő hatására plazmolizálódik. A következő részben folyik le a tulajdonképpeni kilúgzási folyamat. A hőellátás — végső kialakítás után — úgy történik, hogy a készülékből meghatározott helyen lét veszünk ki, azt párával fűtött melegítőben felmelegítjük, majd szivattyú segítségével visszavezetjük a J-diffúzió testébe. A lúgzott szeletet a csőház hosszabbik végénél távolítjuk el. A szelethordó elemek a szeletet a vízből kiemelik ; a szelet lecsepegési zónán halad át, majd a hordó elem kiborítja. A szelet ezután szállítóberendezésre kerül, amely vagy kiviszi a gyárból, vagy présvíz-visszavétel esetén présbe vezeti. A lúgzóvíz bevezetését a téglalap keresztmetszet két hosszabb fala mentén végigfutó elosztó cső segítségével oldottuk meg.

A készülékhez — a fentebb már említett melegítőn és szivattyún kívül — semmiféle kiegészítő berendezés nem szükséges. Ez annak az eredménye, hogy minden műveletet (melegítés, plazmolízis, szeletkefogás) magában a J-házban végzünk el. Ha présvíz-visszavétellel akarunk dolgozni, akkor szükség van szeletprésre, présvízmelegítőre és szivattyúra.

A kísérleti berendezéshez tartozott egy külön répavágógép, amelynek fordulatszámát változtatni tudtuk. A szelet számlálószerkezettel felszerelt szalagmérlegen keresztül haladva került a diffúziós készülékhez.

A készülék falában a kilúgzási oszlop mentén több helyen hőmérőket, mintavevő csonkokat, nézőablakokat szereltünk be. A láncban keletkező húzóerőt dinamométerrel mértük úgy, hogy a láncfeszítő szerkezetet két dinamométerre támasztottuk.

A mutatóműszerek legnagyobb részét egy központi mérőhelynél csoportosítottuk. Ez a később kialakítandó központi műszer- és vezérlőasztal kezdeti alakja. Ugyaninnen működtettük a motorokat és a szabályozó szelepeket.

4. Üzemi eredmények és tapasztalatok

Az elmúlt cukorgyártási idényben félüzemi méretű készülék működött az egyik hazai cukorgyárban. A berendezés névleges teljesítménye 160 tonna répa feldolgozása volt naponta.

A megépített kísérleti jellegű berendezés lehetőséget adott arra, hogy különféle üzemi viszonyok között dolgozhassunk. Így a mintegy 130 műszakon át történő üzem közben változtattuk a kilúgzást befolyásoló tényezőket (a lúgzási

időt, a szeletvastagságot, a lélehúzást, a teljesítményt és a hidrodinamikai ellenállást befolyásoló tényezőket); a készülék melegítésére különféle kapcsolásokat próbáltunk ki.

A munkamódszer ellenőrzésére nagyszámú mérést és megfigyelést végeztünk. Így mértük a szelet súlyát, a lúgzóvíz és a melegítésre szolgáló lé mennyiségét ; mértük a nyomóvíz, a távozó nyerslé, a melegítésre szolgáló lé hőmérsékletét melegítés előtt és után, valamint a szeletoszlop mentén. Különleges hőmérséklet méréseket végeztünk úgy, hogy a szelethordó elemekhez regisztrálókészülékhez kapcsolt elektromos távhőmérőket erősítettünk és ezeket bebocsátottuk a J-test belsejébe. A készülékben végbemenő folyamatok tanulmányozását elősegítették a nézőablakok, amelyeken keresztül a szelet mozgását jól megfigyelhettük, valamint a mintavevő csapok. Mértük a szeletoszlop hidrodinamikai ellenállását, a húzócrőt a láncokban és még sok más adatot is. Ezekkel a későbbiek során még részletesen foglalkozunk.

Ezenkívül elvégeztük a szokásos üzemi ellenőrző méréseket is a cukorgyárakban használatos laboratóriumi ellenőrző módszerekkel (digesztió, szelethossz, lúgzott szelet cukortartalom stb.). A Robert-diffúzióra vonatkozó megfelelő adatokat összehasonlítás céljából összegyűjtöttük.

A végzett mérésekről és megfigyelésekről az alábbiakban számolunk be részletesen.

4.1 Általános üzemi tapasztalatok

A készülék mindjárt üzembehelyezése után mechanikailag üzembiztosan működött és kb. 1000 munkaórán át több mint 7500 tonna répát dolgozott fel. Ezen idő alatt a készüléknél üzemzavar nem volt. Mindössze három ízben kellett a vontatólánc egy-egy, hibás edzés folytán megpattant, csapszegét kicserélni, ami csak néhány perces megállást jelentett.

A készülék az üzemi viszonyokhoz könnyen alkalmazkodott. A feldolgozási ütem változtatásához lényegében mindössze a vonólánc haladási sebességét kellett változtatni. Volt olyan helyzet, amikor a feldolgozás üteme megfelelt napi 280 tonna feldolgozásnak. Ennél az erőltetett menetnél a kilúgzási számok — amelyekkel később még foglalkozunk — természetesen romlottak, de még mindig előnyösebbek voltak a Robert-diffúzió eredményeinél.

Nagyon fontos megállapításunk az, hogy a készülék igen vékony szelettel is üzembiztosan működik. Több ízben dolgoztunk 28—30 m/100 gramm hosszúságú szelettel, sőt néha még ennél vékonyabbal is. Ez olyan tulajdonsága a J-diffúziónak, amelyet eddig egyetlen más folytonos berendezés sem tudott megvalósítani. Ez az előny részben a szelethordó elemeknek és a J-diffúziós ház alsó íve ésszerű kialakításának köszönhető. Az egyes szeletrészek egymáshoz képest a készülékben nem mozdulnak el, így a szeletben visszakeveredés nincs.

és a lévisszakeveredés is minimális. Ennek jelentősége igen nagy és elsősorban abban nyilvánul, hogy a lúgzási idő nagyon rövid lehet.

Megállapítottuk azt is, hogy a készülék messzemenően érzéketlen a szelet minőségével szemben, oly értelemben, hogy rossz, törmelékes vagy fonnyadt répából származó szelet sem okozott a léáramlásban fennakadást, amellett a kilúgzás még mindig megfelelő.

Az üzem befejezése után a készüléken és annak részein korrozív hatásokat nem észleltünk. Kopást — néhány megszorult láncgörgőn kívül — nem találtunk. Megállapítottuk a hordóelemeken és a láncokon néhány tized mm-es vízkőképződést, ami azonban zavart nem okozott. A lerakódás valószínűleg abból az időből származott, amikor 8 p_H-t meghaladó nyomóvizet használtunk. Semleges vagy gyengén savanyú víz használatakor kőképződés nem várható.

4.2 Kilúgzási eredmények

Az 1. táblázat tartalmazza a kilúgzási eredményeket, amelyek üzemi körülmények közt lefolyt répafeldolgozási napok átlag adatai. A táblázat négy oszlopából az első (1) az egész üzemidőre vonatkozik és a kilúgzásra vonatkozó valamennyi számadat átlagát tartalmazza, függetlenül attól, hogy milyen üzemi vagy kísérleti körülmények közt kaptuk azokat. A táblázat második (2) oszlopa egy teljes munkahét eredményeit adja, abból az időszakból, amikor a véglegesnek tekinthető munkamód már kialakult (XII. 28-tól I. 3-ig). Ebben az időben a gyár már nem friss répát dolgozott fel és így kellő finomságú szeletet vágni nem tudtunk. A harmadik (3) oszlop néhány olyan műszak átlageredményét tartalmazza, amelyekben különösen rövid lúgzási időkkel dolgoztunk. Végül a (4) oszlopban 41 olyan műszak átlag eredményét adjuk, amelyeknél kis cukorveszteségre törekedtünk.

1. táblázat

	(1)	(2)	(3)	(4)
Répa cukortartalma, %	15,8	15,7	15,8	15,9
Cukorveszteség répára, %	0,30	0,25	0,40	0,21
Lélehúzás súlyszázalék	130,2	131,3	132,0	132,4
Tényleges lúgzási idő, perc	45,4	44,9	36,4	47,1
Szelethosszúság m/100 g	24,9	23,5	kb. 22	26,2

A táblázatból megállapítható elsősorban az a rendkívül fontos eredmény, hogy jó kilúgzás lehetséges viszonylag rövid lúgzási idő alatt, mégpedig a bekövetkezett plazmolízistől számítva kb. 45 perc alatt. A készülék átlagosan — mint látható — kb. 25 m/100 g hosszú szelettel dolgozott, azonban voltak

üzemnapok — különösen az üzem elején —, amikor a szelet hosszának napi átlaga a 30 m/100 g-ot meghaladta.

A táblázat számainak kritikus vizsgálatakor figyelembe kell venni, hogy az adatok kísérleti készülékre vonatkoznak, amelynél nem lehetett minden vonatkozásban kedvező körülményeket teremteni. Különösen hátrányosan befolyásolta az eredményeket, hogy a készüléket külső üzemi körülmények miatt gyakran meg kellett állítani. Ettől függetlenül a készülékkel a 2. ábrában közölt diagramnak megfelelően választható munkaviszonyok között dolgozhatunk. Új készülék gyártásakor azt az üzemi eredményekkel szemben támasztott kívánalmaknak megfelelően méretezhetjük.

A töltést 0,46—0,52 kg/liter között változtattuk. Megfigyeléseink alapján azonban célszerűnek látszott a jobb melegítés és az egyenletesebb kilúgzás végett 0,46—0,48 kg/liter töltéssel dolgozni.

A lúgzott szelettel távozó cukormennyiség meghatározására úgy végeztünk méréseket, hogy az üzemszerűen működő készülékben a szelet közé egyidejűleg 6—8 darab, egyenként kb. 5 kg szelettel töltött, 5 mm lyukbőségű textilzsákot helyeztünk el, illetőleg erősítettünk a szelethordó elemek különböző pontjaira (szélére, közepére). A kilúgzás után a zsákokban elhelyezett szelet súlyát és cukortartalmát megmértük.

Ezzel a módszerrel megállapítottuk, hogy a lúgzott szelet súlya friss szeletre vonatkoztatva általában $0{,}84 \pm 0{,}02$. Ez az eredmény egyezik a szárazanyagtartalom alapján végzett meghatározások eredményével.

Számos mérés alapján meghatároztuk a lúgzott szelet cukortartalmának eloszlását. Azt találtuk, hogy a cukortartalom a hordó elemek közepe táján nagyobb és csökken a szélek felé; a legnagyobb különbség kb. 0,15—0,20. Ezt a különbséget az üzem vége felé bevezetett melegítési rendszerrel sikerült csökkenteni. A mintavételt a cukoreloszlásnak megfelelően alakítottuk ki; a táblázatokban előforduló cukorveszteség-számok az átlagnak felelnek meg.

Egy diffúziós rendszer, illetőleg az azzal elért kilúgzás jóságának, eredményességének elbírálásához a [2] alatt idézett szakmunkánkban η-val jelölt tényezőt definiáltunk. Ez megadja, hogy valamely gyakorlati kilúgzó rendszer mennyire tér el az ideálistól, pontosabban η az ideális és a gyakorlati rendszernél ugyanolyan kilúgzáshoz szükséges lúgzási idők hányadosa. Az üzemben mért adatok felhasználásával a [3] alatt idézett tanulmányban közölt képletek segítségével η elvileg kiszámítható. Gyakorlati nehézséget jelent, hogy a diffúziós tényező, $\lambda = \frac{12\,D}{l^2}$ értékét — megfelelő mérési módszer hiányában — nem ismerjük kielégítő pontossággal. Ezért a munkamód, illetőleg a kilúgzás elbírálására a $\lambda\eta$ szorzatot, amelyet a következőkben a rövidség kedvéért λ'-vel jelölünk, használtuk. Ez nem ad teljesen hű képet arról, hogy a készülék mennyire közelíti meg az ideális rendszert, mert tényezőként tartalmazza a szelet minőségét, pontosabban a szeletvastagságot. Minthogy azonban a szeletvastagság azonos

időszakban nagyjából nem túl sokat változott, összehasonlításra ez a módszer használható. Még jobban elbírálhatjuk az eredményt, ha λ' mellé megadjuk a fajlagos szelethosszúságot is.

Minden egyes műszak eredményeiből kiszámítottuk λ' értékét. Megállapítottuk, hogy az üzem elején, jóllehet a fajlagos szelethossz ebben az időszakban 26—30 m/100 g körül mozgott, λ' értéke átlagosan 0,18—0,20 perc^{-1} körül volt. A munkamódszer módosításának és tökéletesítésének következményeképpen λ' értéke az üzem vége felé jelentősen emelkedett, kb. 0,22—0,24 perc^{-1} értékig (néhány esetben még ennél is magasabbra), jóllehet az üzem vége felé a tárolt répából már csak vastagabb szeletet tudtunk vágni, amelynek fajlagos hossza 20—24 m körül volt. Így tehát az üzem vége felé, bár az effektív kilúgzási eredmények kevésbé voltak kedvezők, a készülék mégis jobban dolgozott, mint a kampány elején, ami a nagyobb λ' értékekből látszik.

A kilúgzási időt és ezzel együtt a napi répafeldolgozást a kampány tartama alatt széles határok között változtattuk, mégpedig 34 perctől 57 percig. A diffúziós idő növelésével a kilúgzási eredmények természetesen javultak, de λ' egyidejűleg romlott. Ez utóbbinak oka egyrészt az, hogy az áramlási sebesség csökkenésével a szeletre tapadó folyadékréteg vastagsága növekszik, másrészt a nagyobb mértékű kilúgzással a szelet egyenlőtlenségének hatása jobban érvényesül. A lúgzási idő befolyását mutatja a 2. táblázat.

2. táblázat

Tényleges lúgzási idő perc	Relatív lésebesség cm/mp	Cukorveszteség a répában levő cukorra vonatkoztatva, %	Lélehúzás súlyszázalék	λ' perc^{-1}	Napi répafeldolgozás to
36,4	1,30	0,0253	1,32	0,227	21,8
42,9	1,06	0,0195	1,29	0,220	17,9
55,1	0,82	0,0185	1,25	0,185	14,1

Látható, hogy a diffúziós idő csökkenésével, illetőleg a relatív lésebesség növelésével a λ' érték javul.

A kampányeredményeket átlagolva a 3. táblázat adja. Az első oszlopba vittük a kampány első felére eső eredményeket, amely időszakban a végleges munkamód még nem volt kialakítva. A második oszlop adatai az üzem második felére, a végleges munkamódra vonatkoznak. Összehasonlításképpen megadjuk a harmadik oszlopban a Robert-diffúzióval elért eredmények kampányátlagát.

A táblázatban minden üzemi adat, tehát az összes, kedvező eredménnyel zárult kísérlet eredménye is bennfoglaltatik. Számszerűleg is látható, hogy a kampány második felének adatai jelentősen jobbak és noha a szelet minősége romlott, λ' kb. 15%-kal nőtt. A teljesség kedvéért azonban figyelembe kell

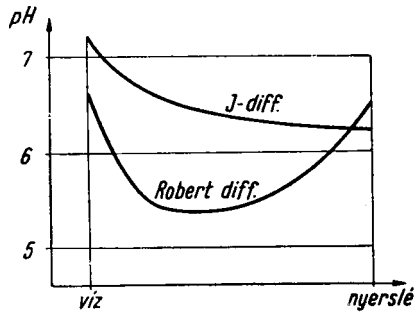
venni azt is, hogy a diffúziós állandó VUKOV mérései szerint [6] a kampány vége felé növekedni szokott.

3. táblázat

	J-diffúzió		Robert-diffuzió kampányátlag
	Kampány első fele	Kampány második fele	
Répa cukortartalma, %	16,10	15,45	15,79
Fajlagos szelethossz m/100 g.....	27,35	22,51	—
Nyerslé szárazanyagtartalma	13,26	13,37	13,75
Nyerslé cukortartalma, %	11,68	11,71	12,02
Nyerslé tisztasági hányadosa	88,06	87,59	87,39
Diff. veszteség répára számítva, % .	0,287	0,316	0,499
Tényleges lúgzási idő, perc	48,3	42,4	kb. 52
Lélehúzás súlyszázalék répára	131,9	128,5	127,2
$\eta\lambda T$	9,35	9,40	8,55
λ'	0,194	0,222	kb. 0,16

4.3 Ismeretlen veszteség

Ismeretlen veszteség a J-diffúziónál gyakorlatilag nincs. Ez a következőknek tulajdonítható : elsősorban a lúgzási idő rövid, másodszor a diffúzió szerkezete olyan, hogy mechanikai veszteségek, elcsurgások nincsenek, végül nincsenek mikroorganizmusok okozta cukorveszteségek.



3. ábra

Ez utóbbit bizonyítja egyrészt az, hogy elvégzett mérések szerint a lúgzási oszlop mentén a p_H-értékek 6,2 alá sehol nem esnek. A 3. ábrán látható egymás mellett a J-diffúzióból és a Robert-diffúzióból vett léminták p_H-értékei.

A végzett mikrobiológiai vizsgálat kimutatta, hogy a J-diffúzióból vett lében lényegesen kevesebb a mikroorganizmus, mint a Robert-diffúzióban.

A répa és nyerslé fertőzöttsége kb. azonos. Az adatokat a 4. táblázat tartalmazza, 1 ml lében, ill. 1 g répában levő csírák számának logaritmusában megadva.

4. táblázat

	J-diffúzió	Robert-telep
Nyomóvíz összes csíra .	2,5±0,3	4,7±0,1
spóra.	2,2±0,3	2,9±0,4
Diffúzió közben	3,5±0,1	7,9±0,3
Nyerslé	6,5±0,3	6,7±0,2
Répa összes csíra	7,7±—0,4	
spóra	4,1±0,2	

Látható, hogy amíg a Robert-diffúziónál a csírák száma ml-enként majdnem 10^8, addig a J-diffúziónál 10^3 és 10^4 között van. Az infekcióveszélyt a J-diffúziónál messzemenően kiküszöböli a készülék olyan kiképzése, amely a lé vagy szelet stagnálását és így fertőzési gócok keletkezésének lehetőségét kizárja. Végül biztosítja a sterilitást az is, hogy a hőmérséklet a szelet felmelegedése után mindenütt meghaladja a 70 C°-ot. Mindezek következményeképpen fertőtlenítőszer használatára egy ízben sem volt szükség.

4.4 A nyerslé minősége

A J-diffúzióból és a Robert-diffúzióból kapott nyerslé tisztasági hányadosának összehasonlítására végzett mérések eredményeit az 5. táblázat adja:

5. táblázat

	Kampány első fele	Kampány második fele
J-diffúzió	88,08	87,52
Robert-diffúzió	87,66	87,01
Különbség	0,42	0,51
Különbség hibája	± 0,10	± 0,19
Vizsgálatok száma	49	30

A J-diffúzióból kapott lé tisztasági hányadosa az egész kísérleti időszakban jobb, mint a Robert-telepből származóé. Annak eldöntésére, hogy ezt a különbséget mi okozza, összehasonlításokat végeztünk az egyes vegyületcsoportokra vonatkozólag.

Az invertcukor-vizsgálatok nem mutattak különbséget. Mind a Robert-telepen, mind a J-diffúzióban a répához viszonyítva jelentős invertcukor-

szaporulat tapasztalható. Az invertcukor valószínűleg a répával érintkező, viszonylag hideg nyerslében keletkezik.

A J-diffúzió levében kevesebb kolloid van, mint a Robert-telepből származó lében. Ez az egyenletes, gyors munkával és kedvező melegítési viszonyokkal magyarázható. A vizsgálati eredményeket a 6. táblázat mutatja :

6. táblázat

	Kolloid g/100 Bx
Róbert-telep	2,76
J-diffúzió	2,38
Különbség	0,38
Különbség hibája	± 0,22
Mérések száma	13

Végül meg kell állapítani, hogy a nyerslé teljesen foszlány- és habmentes. Ez utóbbit különösen azért kell kiemelni, mert az irodalomból ismert legtöbb folytonos rendszernél a habzás jelentős nehézséget okoz, annak leküzdésére különféle költséges berendezést készítenek és a használt habgátlószerek rontják a lé minőségét.

4.5 A lúgzott szelet préselésével kapcsolatos kérdések

Méréseket végeztünk a lúgzott szelet préselhetőségének megállapítására is. Ellenőrizni akartuk, vajon a J-diffúzióban nem éri-e a szeletet olyan káros hőhatás (nincs-e „elfőve"), amely a préselésre alkalmatlanná teszi.

A préselhetőséget a rugalmassági modulusz mérése alapján ellenőriztük [7]. Répából kivágott, hengeres próbatesteket helyeztünk el egyrészt a Robert-telep edényeiben, másrészt a J-diffúzióban. A kilúgzás befejezése után mindegyiknek meghatároztuk a rugalmassági moduluszát. Ezenkívül végeztünk ellenőrző méréseket empirikus módon úgy, hogy Stanek-préssel egymás után sajtoltunk egy-egy mintát a J-diffúzióból és a Robert-telepről. A kapott préselt szelet szárazanyag-tartalmát szárító szekrényben meghatároztuk. Mindkét méréssorozat eredményét a 7. táblázat adja :

7. táblázat

	Rugalmassági modulusz, kg/cm²	Szárazanyag %
J-diffúzió	13,19	10,56
Róbert-telep	13,21	10,34
Különbség	0,02	0,22
Különbség hibája	± 1,3	0,5
Mérések száma	10	10

A J-diffúzióból és a Robert-telepről származó szelet préselhetősége között különbség nem mutatható ki.

Présvíz visszavétellel a készüléken nem dolgoztunk, azonban végeztünk laboratóriumi méréseket és számításokat arra vonatkozólag, hogy présvíz visszavétellel a visszavitt nemcukor anyagok előreláthatólag milyen mértékben fogják csökkenteni a nyerslé tisztasági hányadosát.

Mind a J-diffuzióból, mind a Robert-telepről származó szeletből laboratóriumban készített présvíz tisztasági hányadosa rendkívül kicsi, 0,2—0,6 között van. Ebben a tisztasági hányadosban jelentősége van a nyomóvízzel behozott nemcukor anyagoknak is. Ha présvízzel helyettesítjük a nyomóvizet, vagy annak egy részét, a behozott nemcukor anyagokat a présvíz tisztasági hányadosában figyelembe kell venni. Az így helyesbített tisztasági hányados 0,35—0,85 körül van. A présvíz nemcukor anyagainak mintegy 60%-a a létisztításnál eltávolítható, a lé minősége szempontjából tehát csak a tisztítás után megmaradó nemcukor anyagokat kell figyelembe venni. Kiszámítottuk, hogy 50%-os présvíz visszavétel esetén a híglé tisztasági hányadosának romlása, a visszavétel nélküli hígléhez hasonlítva, mintegy 0,2 tisztasági hányados egység. Ugyanakkor a cukorveszteség mintegy $^1/_3$-ával csökken ahhoz képest, mint amennyi présvíz visszavétel nélkül lett volna.

4.6 Hidrodinamikai kérdések és szeletvisszakeveredés

Hidrodinamikai szempontból a készülék méretezése helyesnek bizonyult. Átlagos feldolgozási sebességnél kb. 0,5—1,0 m szintkülönbség mutatkozott a J-diffúzió két szára között. A szintkülönbség beállása kisebb láncsebességnél meglehetősen stabilisnak bizonyult, nagyobb sebességeknél a régebbi kísérleti tapasztalatoknak megfelelően az ingadozások nagyobbak voltak. Bizonyos érzékenység volt tapasztalható 0,50 kg/litert meghaladó töltésnél.

Elvégzett mérések szerint a J-diffúziónál a szelet vastagságának a hidrodinamikai ellenállásra nincs lényeges befolyása. Az egyenlőtlen és törmelékes szelet befolyása abban jelentkezik, hogy a hidrodinamikai ellenállás nő és nagyobb ingadozásokat mutat.

A láncsebesség és a hidrodinamikai ellenállás között a 8. táblázatban megadott, inkább tájékoztató jellegű adatok találhatók:

8. táblázat

Láncsebesség, m/perc	Ellenállás, cm vízoszlop
0,21	55—60
0,28	60—70
0,33	80—90

Az [5] alatt idézett dolgozatunkban található képletek alapján kiszámítottuk a szeletellenállás tényezőjét; annak értéke $0{,}1 \cdot 10^{-6} \frac{kg}{m^3} \left(\frac{mp}{m}\right)^{1{,}85}$ (szélső értékek 0,07—0,14). A számításnál ϱ_0 értékét 0,45 kg/liternek vettük fel és figyelembe vettük a két szárban levő, különböző fajsúlyú lé okozta nivókülönbséget.

A szelethordó elemekben — mint azt már a 3. fejezetben megírtuk — láncok tartják a szeletet. A láncok egymástól való távolságának jelentősége az, hogy egymáshoz közel levő láncok a szelethalmazt biztosan hordják, de a készülék töltése nehezebb; tágabb láncoknál a hatások ellenkezők. Az optimális lánctávolság megállapítása végett egymástól különböző távolságra elhelyezett párhuzamos láncokkal végeztünk kísérleteket. A lánctávolságot 18—28 cm-ig változtattuk és megállapítottuk, hogy kb. 22—25 cm az optimális lánctávolság, amelynél a szeletet a láncok biztosan hordják.

Az idevonatkozó megfigyeléseket úgy végeztük, hogy a friss szelet közé jelentős számú színes papírcsíkokat kevertünk és megfigyeltük azokat a lúgzott szeletben. Ha a lánctávolság optimális, vagy annál sűrűbb volt, akkor színes papírt mindig csak azon két hordóelem között találtunk, amelyek közé a csíkokat behelyeztük. Tehát a láncos hordóelemek biztosan viszik a szeletet és a szeletben visszakeveredés nincs.

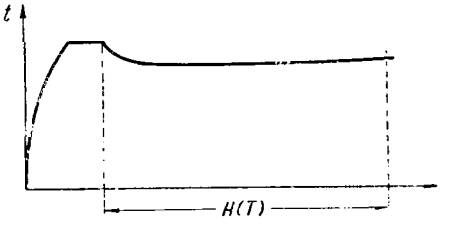
A szakirodalomban sok szó esik mostanában az ún. „turbulens" diffúzióról, ami alatt azt értik, hogy mechanikai eszközökkel a szeletcsomókat egymástól elkülöníteni igyekeznek és így az egyes szeletszálak „egyenként" lebegnek a lében. Ezzel jobb, illetőleg gyorsabb kilúgzást remélnek.

Tájékoztató méréseket végeztünk arra vonatkozólag, hogy a lebegésben tartott szelet, tehát a turbulens diffúziónál a λ diffúziós tényező tényleg jobb-e. Azt találtuk, hogy erős keveréssel lebegésben tartott szelet és normálisan töltött oszlopban levő szelet között a diffúziós tényező csak mintegy 10%-kal jobb az előbbi javára. A visszakeveredéssel kapcsolatban végzett tájékoztató számításaink értelmében azonban úgy látjuk, hogy a turbulens diffúzióval elérhető előnyök nem egyenlítik ki azokat a hátrányokat, amelyek a turbulens diffúzióval okvetlenül velejáró szeletvisszakeveredés és megnövekedett lévisszakeveredés okoz.

4.7 Hőenergia szükséglet

A kísérletek tartama alatt különféle módon melegítettük a diffúziós rendszert, általában azonban mindig úgy, hogy nyerslét, illetőleg később a készülékből megcsapolt lét melegítettünk és vezettünk vissza a készülékbe. Figyeltük a hőszükségletet, a hőmérsékletek alakulását és a lúgzási eredményeket. A melegítéshez szükséges hőmennyiséget az előmelegítő búra vizének mennyiségéből határoztuk meg. A legjobban bevált melegítési megoldásnál, amelynél a lúgzási eredmények is megfelelők voltak, azt találtuk, hogy a berendezés fűtéséhez kb. 3 kg pára szükséges, 100 kg répára számítva.* Elvégzett számításaink szerint

ez a szám még viszonylag nagy és csökkenthető, ha a készülék melegítésre szánt részét meghosszabbítjuk. Ennek megtörténte után a készülék hőfogyasztása kb. 2 kg-ra fog csökkenni. Ezek a számok arra az esetre érvényesek, ha a készülék táplálásához bevezetett víz a lúgzási zóna hőmérsékletének megfelelő és külön melegítést nem kíván. A készülék kvalitatív hőmérséklet diagramját a 4. ábra mutatja.



4. ábra

4.8 Mechanikai energia-szükséglet

A készülék működtetéséhez mindössze kb. 2 LE szükséges. A melegítésre szolgáló visszavezetéséhez kb. 10 LE teljesítményű szivattyút használtunk. Egyébként mechanikai energiát csak a készülék kiszolgálásához szükséges szállítóberendezések hajtása kíván.

Mind az üzemellenőrzés, mind a későbbi készülékek kialakítása szempontjából értékes adat a láncban keletkező húzóerő megállapítása. Ezt dinamométerrel mértük, amelynek vázlatos elrendezése az 1. ábrán látható. Megállapítottuk a húzóerőt a láncban, és külön a dinamikai erőket (hidrodinamikai erők, szeletsúrlódás), külön a lánchúzás és a szeletsúly által előidézett erőket.

5. A készülék összehasonlítása más diffúziós rendszerekkel

A J-diffúzió a Robert-féle diffúziós rendszernél előnyösebb. Elsősorban kisebbek a cukorveszteségek. A megtakarítás répára kb. 0,2—0,3%. Ismeretlen veszteség a J-diffúziónál nincs. A nyerslé tisztasági hányadosa kb. 0,5 egységgel jobb, mint a Robert-diffúziónál, ami a répára számított cukorhozamot kb. 0,05—0,1 százalékkal javítja. Jelentős továbbá a frissvíz szükséglet csökkenése, a diffúziós szennyvíz megszüntetése, munkaerőmegtakarítás, továbbá a kisebb hőenergia-szükséglet.

Mindezek azt eredményezik, hogy egy kb. napi 2000 tonna répát feldolgozó gyárban, amely 100 napig üzemel, egy cukorgyártási üzem alatt kb. 600 tonna cukortöbblet termelhető, ugyanakkor kb. 40—50 000 munkaóra és kb. 100 tonna szén takarítható meg.

* A bepárló kapcsolástól függően a friss gőz szükséglet 1,5—2 kg között van.

Ha összehasonlítjuk a J-diffúzióval elért eredményeket más folytonos rendszerek eredményeivel, akkor elsősorban megállapítható, hogy számos vonatkozásban azokkal egyenrangú, de egyes vonatkozásokban, amelyeket a későbbiek során külön kiemelünk, azoknál lényegesen előnyösebb. Üzemi eredmények azt mutatták, hogy a J-diffúziós készülék üzembiztosan működik, az üzemi követelményekhez könnyen alkalmazkodik, kezelése rendkívül egyszerű, a kilúgzási eredmények és a nyerslé minősége legalább olyan jó, mint az ismert folytonos rendszereknél. A kilúgzás levegő kizárásával folyik; a készülék kiszolgálásához a külföldi készülékekkel megegyezően egy munkaerő elegendő, mert a készülék teljesen önműködő. Friss víz igénye csekély, szennyvíz nem keletkezik, a présvíz visszavételének lehetősége megvan.

Ezen eredményeken felül kiemeljük azonban a J-diffúziónak azon tulajdonságait és eredményeit, amelyek előnyösebbek, mint az irodalomban leírt folytonos diffúziós rendszereké. Ezek közül első, hogy a J-diffúziónál *lehet vékony szelettel dolgozni*, egészen 30 m/100 grammig, minthogy a berendezés a szeletet kíméletesen kezeli. A vékony szelet használata következtében a folytonos diffúziótól megkövetelt lúgzási eredmények mellett a tényleges lúgzási idő 45—48 perc. Ez is olyan eredmény, amelyet az irodalomban ismertetett egyetlen folytonos rendszer sem tudott elérni.* A rövid lúgzási idő következménye, hogy a nyerslé minősége jobb és az ismeretlen veszteségek keletkezésének lehetősége tovább csökken. A nyerslé teljesen foszlánymentes és nem habzik. A készülék hőigénye kb. 2,5—3 kg pára, ill. 1,5—2 kg friss gőz) 100 kg répára számítva, tehát kevesebb, mint más rendszereknél. A készülék helyszükséglete mind alapterületben, mind építési magasságban kisebb más rendszerekénél. Kiegészítő berendezésekre egy szivattyún és előmelegítőn kívül nincs szükség, minthogy minden olyan művelet, amelyet más rendszerek segédberendezésekkel hajtanak végre, itt mind a készülékben folyik le. Jobb a készülék térfogat kihasználása, vagyis a tényleges lúgzási szakasz térfogategységében naponta feldolgozott répa súlya (m^3-ként kb. 14 tonna/nap) nagyobb, mint más folytonos rendszereknél.

*

Befejezésül néhány szót kell mondanunk a Cukoripari Kutatóintézetben alkalmazott kutatási módszerekről. Meg kell állapítani, hogy racionálisnak bizonyult az a munkamód, amely valamely technológiai folyamat korszerűsítéséhez először az elméleti alapokat kutatta, majd ezeknek a birtokában látott csak hozzá az ipari megvalósításhoz. Ennek megfelelően éveken át a lényerés elméleti kérdéseivel foglalkoztunk, szétbontva a viszonylag bonyolult ipari folyamatot alapfolyamatokra. Ezeket az alapfolyamatokat elméletileg tisztáztuk és számításaink helyességét laboratóriumi mérésekkel ellenőriztük. Így egyedül ezen munkaterületen mintegy 30 szakdolgozat készült. Ezeknek az eredményeknek

* Újabban ehhez hasonló eredményekről számol be H. BRÜNICHE-OLSEN a „Zeitschrift für die Zuckerindustrie" 1956 áprilisi számában (193—195. old.).

a birtokában azután a folytonos diffúziós berendezés számítható volt és mindjárt az első megépített készülék nagyon közel azokat az ipari eredményeket hozta, amelyeket vártuk tőle. Így magának a készüléknek a működése is igazolta elméleti megfontolásaink helyességét.

A készülék szerkesztési munkáit SIPOS Antal, a Cukoripari Kutatóintézet osztályvezetője végezte. A Hatvani Cukorgyárban az 1955. év folyamán végzett kísérletek lebonyolításában az Intézet számos munkatársa vett részt, akik közül különösen sok és eredményes munkát végzett TEGZE Miklós, MARBAIX Marcell és GRYLLUS Vilmosné. A Hatvani Cukorgyár vezetősége és dolgozói sok segítséget adtak a készülék felállításával és üzembehelyezésével, továbbá az Élelmiszeripari Gépgyár dolgozói magának a készüléknek határidőre történő elkészítésével. Valamennyiüknek e helyt mondunk köszönetet fáradságos munkájukért.

IRODALOM

1. Tower Diffusion Proves Highly Successful. Sugar, **51.** 1956. No. 2. 30—32.
   BOETTGER, S.: Désucrage des betteraves en continu par la tour de diffusion B. M. A. Industries Alimentaires et Agricoles, **72.** 1955. 657—665.
   NEUBER, H.: Kampagneerfahrungen mit dem Buckauer Auslauger in der Zuckerfabrik Uelzen. Zucker, **8.** 1955. 165—170.
   GRIMEUD, G.: La diffusion continue A. Olier en sucrerie de betteraves. Industries Agricoles et Alimentaires, **70.** 1953. 477—482, 751—575.
   SMOT, A.: Les appareils modernes de diffusion continue. VIIIe Congr. Int. des Ind. Agric. 1950. Vol. III. 252—263.
   BRÜNICHE-OLSEN, H.: Der DdS-Diffuseur, ein neuer dänischer Auslaugetrog. Zucker, **7,** 1954. 471—475.
   PRIDAL, F.: O kontinuálnich, mechanickych a automatickych difusich. Listy cukrovarnická, 72. 1956. 7—15.
   Szaharnaja Promüslennoszt'. A „Piscsevaja Promüslennoszt' za Rubezsom" kötetben. Moszkva, 1955. 5—79.
2. OPLATKA, G.: Die Saftgewinnung. Zeitschrift f. d. Zuckerindustrie, **4,** 1954. 471—477, 511—519.
3. OPLATKA, G.—TEGZE, M.: A cukorgyári diffúziós folyamat elmélete III. Ideális ellenáramú extrakció. A Róbert-rendszer. Cukoripari Kutatóintézet Évkönyve, 1951:52. 33—78. — Theorie des Diffusionsprozesses in der Zuckerfabrikation III. Acta Chim. Hung. **2,** 1952. 383—426.
4. OPLATKA, G.—TEGZE, M.: A cukorgyári diffúziós folyamat elmélete IV. A hidrodinamikai elkeveredés hatása a kilúgzásra. Cukoripari Kutatóintézet Évkönyve 1951:52. 79—104. — Theorie des Diffusionsprozesses in der Zuckerfabrikation IV. Acta Chim. Hung. **2.** 1952. 427—449.
   OPLATKA, G.: A cukorgyári diffúziós folyamat elmélete VII. A hidrodinamikai elkeveredés hatása a kilúgzásra. Cukoripari Kutatóintézet Közleményei, **2.** 1955. 11—15.
5. OPLATKA, G.—TEGZE, M.: Deformálódó anyaggal töltött oszlopok hidrodinamikai ellenállása. Szeletoszlop ellenállása cukorgyári diffúziós telepben. Cukoripari Kutatóintézet Közleményei, **1.** 1954. 125—140. — La résistance hydrodynamique d'une colonne de matière déformable. Acta Techn. Hung. **12.** 1955. 85—119.
6. VUKOV, K.: A cukorrépa mechanikai tulajdonságai. Cukoripari Kutatóintézet Közleményei, **3,** 1956. 1.
7. VUKOV, K.: A cukorrépa mechanikai tulajdonságai. Cukoripari Kutatóintézet Közleményei, **3.** 1956. 1.

ÖSSZEFOGLALÁS

Ismertettük az újonnan kialakított, folytonos működésű diffúziós készüléknek, az ún. J-diffúziónak elméleti alapjait, szerkezeti kivitelét és üzemi eredményeit. Megállapítottuk, hogy a J-diffúzió mindenben egyenrangú társa az irodalomból ismert folytonos diffúziónak, mindazokat azonban felülmúlja egyes tulajdonságaiban, amelyek közül különösen ki kell emelni azt, hogy nagyon vékony szelet feldolgozására alkalmas. A lúgzási idő 45—48 perc és a hőfogyasztás kb. 2,5 kg pára/ 100 kg répa. A nyerslé jó minőségű és teljesen habmentes.

A KISLŐDI VASHÁMOR TÖRTÉNETE

NYERSVASTERMELÉS BAUXITOS ELEGYBŐL A XVIII. SZÁZADBAN

SCHLEICHER ALADÁR

A MŰSZAKI TUDOMÁNYOK DOKTORA

[Beérkezett 1957. február 8-án]

A hazai műszaki és gazdaságtörténeti irodalomban néhány adat megemlékezik arról, hogy a Veszprém megyei Kislődön a XVIII. században vashámor működött. Ezek az adatok a megjelenés időrendjében a következő szerzőktől származnak: K. KARLOVSZKY ENDRE [1], KERPELY ANTAL [2], RÉVAI Nagy Lexikona [3], FUTÓ MIHÁLY [4], KITAIBEL PÁL [5], és MÉREI GYULA [6]. Ezek az adatok azonban általában igen szűkszavúak és hézagosak, sőt részben hibásak is. Ezért érdemes ezt a köztudatban, sőt szakmai körökben is csaknem teljesen elfelejtett tárgyat közelebbről megvizsgálni és a felkutatott levéltári és irodalmi adatokat összefoglalóan ismertetni.

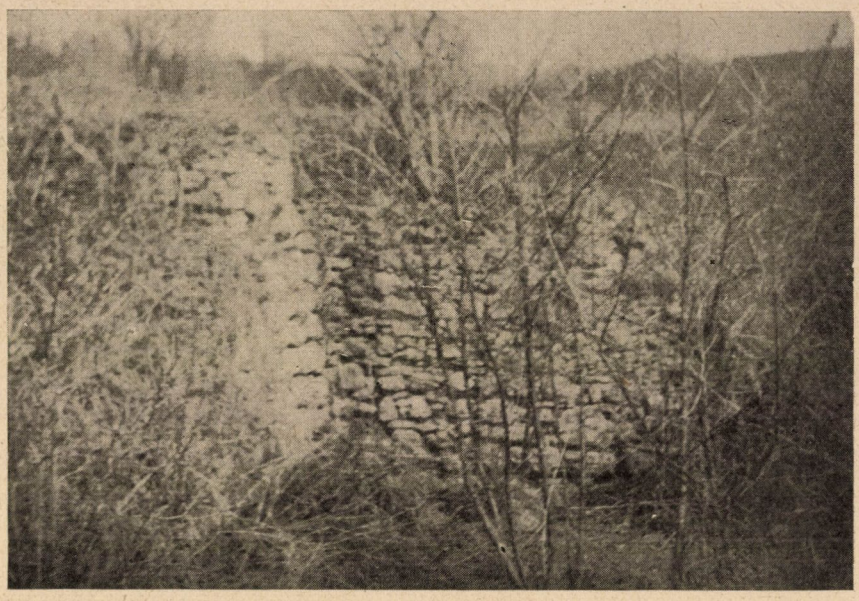
A felsorolt irodalmi munkák Kislődön hol vasgyár, hol vashámor, sőt egyszerűen csak vasbánya létezéséről tudnak. Vizsgálataink szerint ott vaskohó, azaz nyersvasat termelő olvasztó és a nyersvasat öntvényként feldolgozó üzem, valamint kovácsoló műhely működött, amelyet az egykorú térképek és német nyelvű iratok többnyire vashámor, itt-ott vasbánya néven említenek.

A kohó történetének kutatása három kérdésre vár választ. 1. Hol állott a kohó. 2. Mikor működött és 3. Milyen ércet dolgozott fel. Ha nem is teljesen kielégítőn, de mindhárom kérdésre elég részletesen tudunk felelni.

* * *

Már a XVIII. század végén Veszprém megyéről készült térképek is, mint pl. NEU 1782—84-ből [7], valamint GERLISCH János 1799-ből [8] feltüntetik a kohó helyét. A kohónak ma már csak igen jelentéktelen romjai vannak (1. ábra), azok helyét a 2. ábra térképvázlata világosan feltünteti. A kislődi templomtól csaknem pontosan délre 1,7 km-nyire van *Vasbánya* (Eisenhammer) nevű, néhány házból álló lakótelep, részben a XVIII. század második felében épült házzal. Innen nyugat felé mintegy 700 m-nyire a Tornapatak mentén a vasúti töltéstől délre a térképen malom jelzése van, ezen a helyen a 335-ös magassági ponttól északnyugatra vannak a romok és a salakhányó maradványai. Ez a hely az 1 : 75 000 méretarányú térképen durván mérve a 47°6'50" északi szélességen és 35°17'21" keleti hosszúságon van.

Arra nem tudunk felelni, hogy milyen volt a kohó berendezése, milyen olvasztó működött, az öntödén és a kovácsoló műhelyen kívül milyen egyéb műhelyei voltak. A meglevő romok olyan jelentéktelenek, hogy azokból mindezekre következtetnünk teljesen lehetetlen. Az 1. ábra alapján és a helyszínén

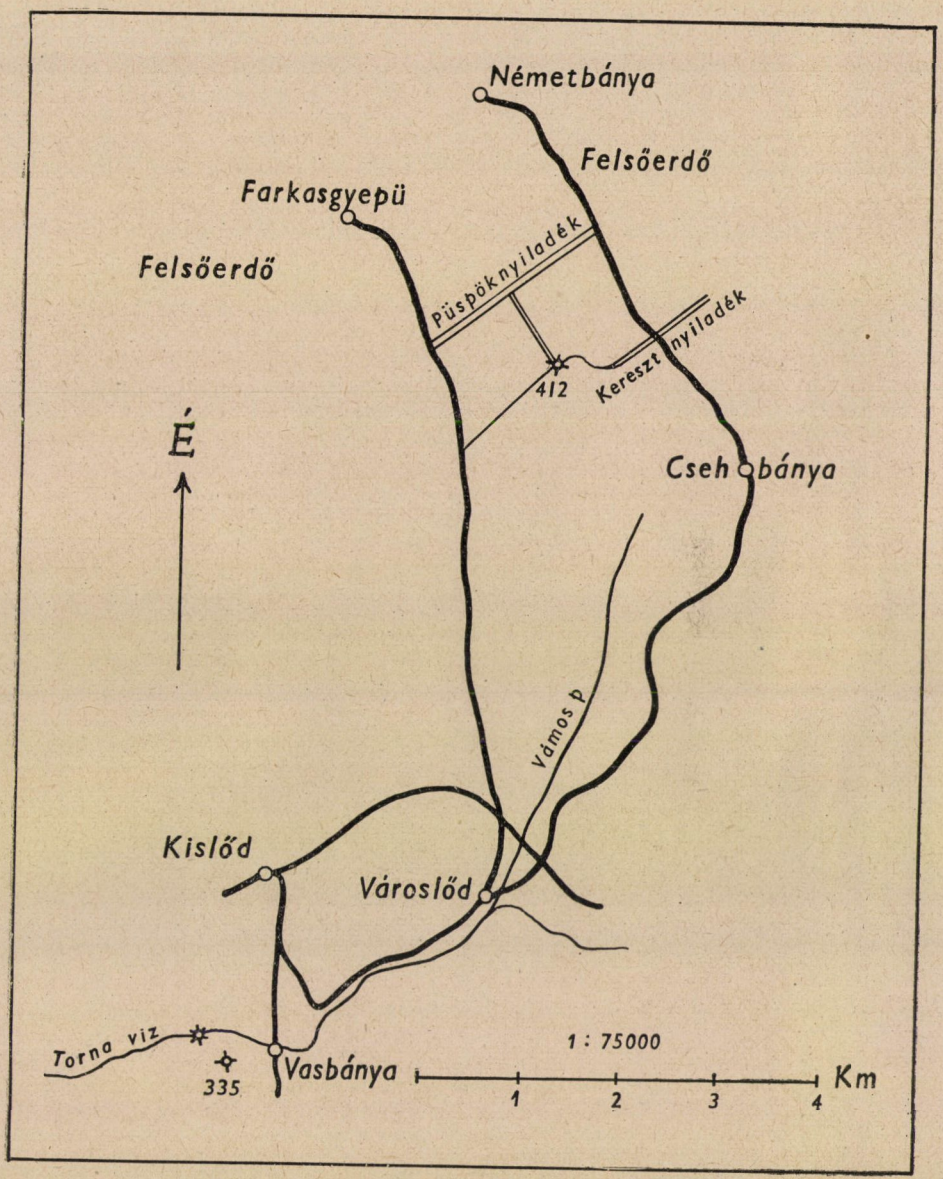


1. ábra. A kohó romjainak képe (KISZELY GYULA felvétele)

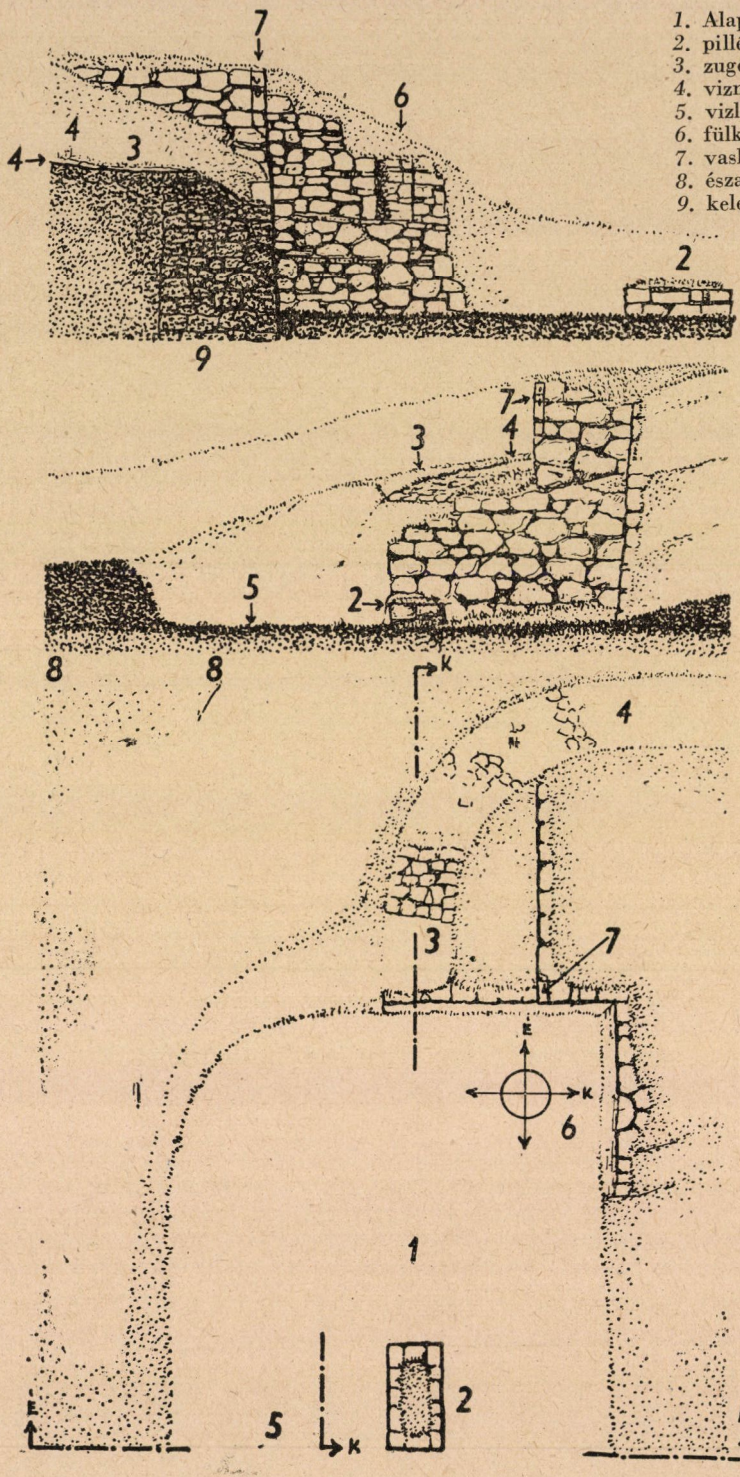
csak az állapítható meg, hogy a romok derékszögben egymáshoz épített támfal maradványai. A fénykép baloldalán látható falmaradvány egészen közel van a régen kiszáradt vizesárok magasabban fekvő buktatójához ; nyilván itt lehetett a fújtató működtetéséhez a felülcsapós vízikerék, amelyet a leeső víz ereje hajtott. Az épületben lehetett az olvasztó. A romok fekvésére egyébiránt a 3. ábrán feltüntetett alaprajz és két oldalnézet ad felvilágosítást.*

A telep berendezésére nézve az irodalomban semmiféle adat nem található, a levéltárakban felkutatott iratok pedig ezeket a részleteket illetőleg a semminél alig valamivel többet mondanak. Ezek az iratok általában egyszerűen vashámorról vagy olvasztóról, helyenként nagyolvasztóról írnak [9]. Hogy ez az olvasztó milyen volt, nem tudjuk ; mivel a XVIII. század második felében Közép-Európában a bucakemence helyett már sok helyütt a nagyolvasztó volt használatos, feltételezhetjük, hogy az akkor járatos nagyolvasztó-típusok valamelyike működhetett ott. Feltételezhetjük továbbá, hogy a földrajzi közelség folytán a stájerországi híres-nevezetes tapasztalatok nagy hatással lehettek az olvasztó építésére és üzemére. A kislődi kohó 1751-ben épült, Stájerországban

* GEDEON TIHAMÉR dr. helyszíni felvétele alapján rajzolta PÁZMÁDI ISTVÁN okl. építészmérnök.



2. ábra. Kislőd és Városlőd környékének térképvázlata



3. ábra.
A romok alaprajza és oldalnézetei

pedig éppen ez idő tájt kezdődött a bucakemence alkonya és ezzel egyidejűleg annak a nyersvas-olvasztónak elterjedése, amelyet „Flossofen"-nek neveztek[10].*

Ebben a kemencében oxidáló fújtatással nyersvas helyett kovácsolható vasat is tudtak termelni, mint ahogyan az az egykori történeti Magyarország északi vármegyéiben az ún. tót-kemencékben is történt. Ez Kislődön fontos volt, mert nemcsak az [1] alatt idézett tanulmány, hanem más adat is [11] a kovácsolható vas termelését helyezi előtérbe. Lehetséges, hogy a saját termelésű nyersvasból a kovácsolható vasat ugyanott frissítéssel készítették, de mindezekre nézve sehol semmi adat nem található.** Az a körülmény, hogy a telep neve csaknem mindenütt vashámor és csak ritkábban, így a [11] alatt idézett iratban, olvasztó és hámor, szintén arra mutat, hogy a kovácsolt áru termelése volt az üzem főfeladata.

Bizonyos, hogy a kohó helyének kiválasztásakor döntő szempont volt a Tornapatak vízéhez történt telepítés. Az ércet ui. a kohótól mintegy 8—9 km-nyire fejtették, ahol nyilván nem volt elegendő víz. A Tornapatak ma is elég bőséges vizére viszont a vashámoron kívül KITAIBEL szerint [5] egész sor malmot és fűrészmalmot telepítettek. Az olvasztáshoz szükséges faszén szintén bőségben rendelkezésre állott, amit a környékbeli gazdag erdők szolgáltattak. Erdő ma is elég sok van a romok környékén.

A kohó telepítésével kapcsolatban még csak azt jegyezzük meg, hogy az 1. ábrán feltüntetett támfal domboldalhoz támaszkodott, tehát itt is követték a vasolvasztók telepítésének ezt az ősrégi szabályát. Ezt a szabályt az tette akkoriban általánossá, hogy az olvasztó elegyének a torok szintjéig való emelését lehetőleg kerülni akarták — bár vízierővel hajtott felvonók a XVIII. században már használatosak voltak — és az elegyet az adagoláshoz szintesen szállították.

* * *

A kohó működési idejére vonatkozó második kérdésre szintén vannak adataink, bár azok nagyon hézagosak.

PESTY FRIGYES szerint [12] a gyárat 1751-ben alapították és az olvasztás 1795-ig, a hámor pedig 1817-ig működött. Ezek az adatok a kislődi községi előljáróságnak 1864-ben kelt elég részletes jelentéséből valók.

* Ennek az elnevezésnek magyar kifejezését nem ismerjük. PÉCH szerint (PÉCH ANTAL: Magyar és német bányászati szótár. 2. kiad., Selmec, 1891. II. rész, 148. l.) *Eisenfloss* vagy egyszerűen *Flosse* = nyersvasdarab. Ebből következnék, hogy a „Stückofen"-nek vagy tájszólás szerint „Stuckofen"-nek nevezett olvasztó egyik fajtája, amit id. KERPELY ANTAL és EDVI ILLÉS ALADÁR bucakemencének, COTEL ERNŐ pedig *gomolyakemencének* nevezett ([31], 19. és 21. l.) Ez a következtetés azonban mégsem helyes, mert kivitelük tekintetében ugyan egyformák voltak, de amíg a „Stuckofen" üzeme szakaszos, addig a „Flossofen"-é folytonos volt. Eszerint az utóbbi magyar neve folytonos üzemű bucakemence lehetne.

** Minthogy a kislődi vasbánya- és hámor jogilag a selmeci bányatörvényszék illetékessége alá tartozott, feltehető, sőt csaknem bizonyos, hogy a selmecbányai (Banska Stiavnica-i) gazdag bányászati levéltárban találhatók Kislődre vonatkozó adatok, amelyek azonban részünkre most hozzáférhetetlenek. Az ottani iratokban műszaki adatok és talán rajzok is lehetnek.

Arra nézve nincs adat, hogy 1751 előtt is működhetett a kislődi vashámor. BÉL MÁTYÁSnak, a hazai földrajz-tudomány megalapítójának, a XVIII. sz. első feléből származó hatalmas földrajz-történeti munkájának [13] Veszprém megyére vonatkozó három kézírásos példányát őrzi az Országos Széchényi Könyvtár. Ezek közül a Fol. Lat. 277 jelzésűben a 135. lapon Városlőd—Kislődnél semmi említés nincs arról, hogy Kislődön vashámor lett volna. Ez a példány BÉL eredeti kezeírása, tehát feltétlenül megbízható. Ismerve adatainak pontosságát, mindenképpen feltehető, hogy a vashámort okvetlenül megemlítette volna, mint ahogyan megmondja, hogy fűrészmalom és üveghuta van ott. A szóban forgó kéziraton nincs dátum s így nem tudjuk, melyik évben készült. Mivel BÉL 1749-ben meghalt, világos, hogy ennél előbb a vashámor még nem volt meg.

A vashámornak 1751 és 1817 közé eső folyamatos történetét nem tudjuk összeállítani. Mind az Országos Levéltárban, mind a veszprémi püspöki levéltárban vannak a XVIII. sz. második feléből iratok, amelyek a kohó működését bizonyítják, de azok nagyon szeszélyesen oszlanak el a szóban forgó 50 évre. Nagy és jóvátehetetlen hátránya a kutatásnak, hogy a veszprémi püspöki levéltár gazdasági iratainak nagy részét 1923-ban kiselejtezték és eladták, a megmaradt rész csupán jelentéktelen része a réginek. A vashámor ui. nemcsak a püspöki uradalom területén állott, hanem maga a vashámor is püspöki tulajdonban volt. Erre vall a gazdasági iratok között az a néhány okmány, amelyek a hámorért járó évi bér (arenda ex fornace liquatoria = olvasztókemence bére) megfizetését igazolják, így 1769-ben 560 f, 1770-ben 547 f 14¼ kr [14]; 1771—74-ben az [1] forrás szerint is működött, sőt [29] forrásunk szerint (270. l.) „1774-ben javában működött a vasgyár", amit némiképpen érthetetlenné tesz az a tény, hogy ebben az évben a bér csak 50 f és valószínűleg 1775—76-ban szintén csak 50 f volt (arenda officinae ferrariae = vashámor bére). Ezekből a számokból azt kell hinnünk, hogy ezekben az években az olvasztó nem működött, csak a hámor. 1778-ban [15], 1782-ből egyik veszprémi irat, 1784—85-ben [6] szerint, 1786-ban [15], 1793-ban pedig a [6] helytartótanácsi irat szerint működött a gyár. Nem tudjuk, hogy ezek a nagy hézagok, vagyis a közbülső évekről az iratok hiánya a püspöki levéltár említett sajnálatos selejtezésének következménye-e, avagy ezekben az években a kohó nem működött volna.

Az utóbbi feltevés nem valószínű, bár a meglevő iratokból kétségtelenül megállapítható, hogy a kohó időnként sok bajjal küszködött és ebből kifolyólag esetleg kénytelen volt az üzemét hosszabb-rövidebb időre szüneteltetni. Ilyen ok lehetett pl. a [9] alatt említett tűzvész, de legnagyobb baj volt a pénzhiány, amelyről az előttünk ismert bérlők mindegyike panaszkodott.

A [2] és [9] alatt már említett SCHEBELLenek a veszprémi levéltárban van egy szerződése másolatban 1770-ből. Ez nevezettnek 1765-ben a vashámor bérletére a püspökkel öt évre kötött szerződésének további öt évre, azaz 1775-ig szóló meghosszabbítása [16]. Az ebben előforduló 1765-ös évszám a PESTY részéről [12] megadott 1751-es alapítási év után a következő legközelebbi. Az utóbbi adatot helyesnek kell elfogadnunk, így felmerül a kérdés, hogy mi volt 1751 és 1765 között? Adatok hiányában nem tudunk erre felelni; nem

valószínű, hogy az 1751-es szám hibás lenne, a [29] forrás szerint legfeljebb 1752-ről lehet szó, ami több mint 200 év távlatában lényegtelen különbség. De az lehetséges, hogy kezdeti kísérletezések után néhány éven át valóban szünetelt az üzem. Egyik veszprémi irat az 1762. év első negyedének árenda-bevételei között nem említi a vashámor árendáját, pedig ugyanott szó van a kislődi tized-megváltásról. Ez a negatív adat persze semmit sem bizonyít, mert hiszen fizethették az árendát az év többi részében, sőt az sem lehetetlen, hogy a vashámor ügyeivel nem az uradalom, hanem maga a püspök foglalkozott. Elég nagy kár, hogy a veszprémi iratok hiányossága folytán mindezen és számos más kérdésre nem kaphatunk választ.

A [11] alatt idézett, 1785-ből származó irat más bérlőkről emlékszik meg, akik a bányatörvényszék adományozását kérik és fogadkoznak, hogy építkezéssel rendes üzemet fognak teremteni. Ez a kijelentés azt a benyomást kelti, mintha előzőleg nem ment volna minden rendben, sőt az irat más helyén a mű újjáélesztését emlegeti, bár a [6] alatti idézet azt állítja, hogy a vashámor 1784—85-ben 36 főt, többségében külföldieket foglalkoztatott. (Mi ezt az adatot a szóban forgó iratban nem találtuk.)

Ez a [6] alatt idézett német nyelvű irat 1793-ból való, aláírója valószínűleg azonos azzal a TSCHESCHKA Ferencz Jánossal, aki másodmagával a [11] alatt idézett iratot aláírta, bár az aláírás nem jól olvasható. Feltehető ezek alapján, hogy 1785 és 1793 között TSCHESCHKA volt a bérlő, aki ebben az iratában magát a vasbánya adományos főrészesének nevezi. Róla semmi egyebet nem tudunk. Ezzel az irattal a következő részben még foglalkozunk.

Arra a kérdésre, hogy mikor szűnt meg a kohó üzeme, szintén nehéz határozottan felelnünk. PESTY [12] alatt megnevezett munkájában az olvasztás megszűntét 1795-nek mondja. Ezt nagyjából megerősíti KITAIBEL [5], aki 1799-ben ezt írta: „ahol a vasolvasztó kohó *volt*" és a továbbiakban is annak múltjáról és nem jelenéről ír. Ezzel szemben VÁLYI ugyancsak 1799-ben azt állítja, hogy „vas hámorjok és malmok Torna vizén van" [17]. Az adatok mégsem cáfolják egymást, mert az előbbi az olvasztóról, az utóbbi pedig a hámorról szól, márpedig PESTY szerint is a hámor 1817-ig működött [12].

Az bizonyos, hogy a XIX. századból már semmiféle adat nem lelhető az üzem működésére nézve. Nem számítjuk ide az olyan furcsaságot, hogy még századunkból, mégpedig 1914-ből is van olyan nyomtatott adat, amely Kislődről úgy ír, mintha ott a vashámor még működnék [3].

* * *

A harmadik kérdés, hogy ti. a kohó milyen ércet dolgozott fel, műszaki tudománytörténeti szempontból a legérdekesebb része kutatásainknak.

A nyomtatott források és a levéltári adatok kivétel nélkül úgy szólnak, hogy a kohó vasércet dolgozott fel. Ez egészen természetes és másképpen nem is volt várható. Amikor azonban azt kezdtük kutatni, hogy milyen volt a fel-

dolgozott vasérc és honnan származott, csakhamar megállapítottuk, hogy Veszprém megye területén vasércelőfordulás soha nem volt ismeretes. Nincs tudomása erről VENDL MIKLÓSnak rövidre fogott, de alapos tanulmányában [18], és főképpen nem tud ilyesmiről PAPP KÁROLY kitűnő könyve [19], amely nagyon részletes összefoglalásban ismerteti az első világháború előtti Magyarország vasércelőfordulásait. Nem említ ilyent sem KERPELY [20], sem RÓMER [21], pedig az utóbbi a különböző kőbányákról, egy márványbányáról és az akkor több helyen felbukkant kőszénről is megemlékezik. Ugyanígy hiányzik minden erre vonatkozó adat RÓKA JÁNOS [22], HOLUB JÓZSEF [23] és MADERSPACH [46] munkáiból.

Ez a körülmény keltette bennünk azt a gyanút, hogy a régiek a Dunántúlon számos helyen nagy mennyiségben előforduló bauxitot nézték vasércnek és azt mint ilyent kohósították. Nincs ebben semmi meglepő, hiszen a bauxit tudvalevőleg — vasoxid-tartalma szerint — többnyire vörös színű, ami elődeinket már magában is igen könnyen megtéveszthette. Tudjuk, hogy kezdetben a bihari bauxitot is vasércnek tekintették, HAUER KÁROLY 1863-ban a Rév vidéki bauxitra mint vasércre hívta fel a figyelmet; SZONTAGH TAMÁS is 1889-ben kalotai ilyen kőzetet vasércnek vélt, amit FABINYI RUDOLF már alumíniumércnek ismert fel, míg végül MIKÓ BÉLA a remeci „vasérc"-nek bauxit-voltát és alumíniumgyártásra való alkalmasságát mutatta ki [24]. VADÁSZ ELEMÉR felsorol [25] jó egynéhány dunántúli bauxitot, amelyeknek Fe_2O_3-tartalma 23—28%, az alsóperei pizolité 34%, sőt a szentkirályszabadjaié 39%. GEDEON TIHAMÉR 28—32%-nak adja meg a vasban dús, más néven pizolitos vagy borsóköves bauxit Fe_2O_3-tartalmát [26], de az — szóbeli szíves közlése szerint — 35—40% is lehet. Ha figyelembe vesszük, hogy a rudabányai sziderit Fe_2O_3-tartalma 33—37%, egyes salzgitteri érceké 35% — amit mindkettőben előkészítéssel dúsítani lehet — vagy éppenséggel a lotharingiai minette-érc olykor szintén csak 35%-os Fe_2O_3-tartalmát, aminek dúsítását eddig nem is tudták megoldani [27], akkor nem csodálkozhatunk azon, hogy eleink a vasban dús bauxitot vasércként kohósították, sőt akadt olyan, aki azt igen jó minőségűnek ítélte, amint azt a [11] alatt idézett német nyelvű irat bizonyítja :

„Az előrelátó természet gondoskodott arról, hogy a hegy belseje olyan jó, sőt mondhatjuk kitűnő vasércet adjon, amelyekből alulírott a legjobb fajtájú kovácsolt vasat és mindenféle öntvényt készíttet". Evvel szemben KITAIBEL szerint [5] az ércek vasban szegények voltak, úgyhogy kohósításuk a költségeket sem fedezte.

A [6] alatt idézett irat a következőket írja : „A vaskő az itteni Bakonyhegységben nagy mennyiségben található, 7 bányát művelnek, egyik vaskőben szegény, egy másikon az ércet 3 aknával és sok táróval feltárták, úgyhogyi a vájást érdemlő vaskő egy nagyolvasztónak 50 évre elegendő lenne. Valamenny bányászati vélemény alapján várható, hogy — ami a vaskövet illeti — abban

soha („auf ewig") hiánytól nem kell tartani és azok nem is csekély tartalmúak, hiszen egy mázsa 30 font nyersvasat ad".

Ez az utóbbi adat nagyon érdekes. Azt jelenti, hogy a 100 fontnyi bécsi mázsából (56,128 kg) 30 font, azaz 30% nyersvasat termeltek. Ezt az adatot megerősíti ugyanazon iratnak egy másik helye, amely szerint a termelés tervezett fokozása végett évi 4000 mázsa nyersvas gyártásához 13 333 mázsa vasércre van szükség, ami szintén 30%-os kihozatalt jelent. (Az irat azt is említi, hogy „ennek az ércmennyiségnek kétszeresét és még annál is sokkal többet a Bakony igen könnyen szállíthat".) Ez a kihozatal magából a 30—35% Fe_2O_3-tartalmú bauxitból nem volt lehetséges, hiszen még 40% Fe_2O_3-tartalmú ércben is az elméleti Fe-tartalom csupán kereken 28%, aminek teljes kinyerése gyakorlatilag lehetetlen. A dolog megértésére fel kell tételeznünk, hogy az elegyhez valamilyen más ércet adagoltak. Erről később még szó lesz.

Ha a közelebbi és távolabbi környéken valaha is vasérc fordult volna elő, mégpedig olyan mennyiségben, mint ahogyan azt a fenti adatok állítják, akkor annak valami nyomára kellett volna akadnunk, de ilyen nyom nincsen. Olyan nagy mennyiségben ott csupán bauxit található, amit a XVIII. században jóhiszeműen véltek vasércnek [28]. A bauxitról mint ilyenről már csak azért sem tudhattak, mert annak mint ásványnak első leírása 1821-ből származik, amikor a kislődi vasolvasztó már nem is működött.

Az a kérdés mármost, hol voltak azok a bányák, amelyek a kislődi olvasztót vasérccel táplálták. Erre nézve megint PESTY nyomán kell elindulnunk, aki [12] helyen ezt írja: . . . „az olvasztási anyagot az úgynevezett Erz Hühnerek (érc tyúkok)-től szállították ide a mostani prímás-allé végéről a felső erdőből és az alsó erdőn a Vénkőrös árok végéből" . . . A közkézen forgó térképeken ezeknek a dűlő-neveknek semmi nyomuk nincs, kivéve Csehbánya és Németbánya között azt az erdővágást, amelyet az 1 : 75 000 méretarányú térkép „Bischofsallee"-nak nevez és amelyről feltehető, hogy azonos a prímás-alléval. [29] forrásunk ezt az allét „Püspök nyiladék"-nak nevezi. KITAIBEL szerint [5] az ércet Városlődtől félórányira fejtették. Melyik irányban keressük ezt a félórányi távolságot? Ha helyes az a feltevésünk, hogy a szóban forgó erdővágás azonos a prímás-alléval, akkor azt Csehbánya irányában kell keresnünk. Ez a Városlőd határához tartozó lakótelep Városlődtől mintegy 5 km-nyire van; KITAIBEL kocsin utazott, de a távolságokat nem hosszmértékben, hanem — amint látjuk — időben fejezi ki.* Ezen az alapon a „félórányi" távolságot egyezőnek vehetjük az 5 km-mel.

Az 1857. évi osztrák kataszteri felvétel 1 : 2880 méretarányú igen részletes 75. sz. lapja (Kislőd) és 165. sz. lapja (Városlőd), valamint az 1881. évi magyar kataszteri felvétel 110/1. lapja (Németbánya) [30] a felsorolt dűlőnevek egyikét sem ismeri. Kivétel a felső erdő és alsó erdő, ezekkel csak az a baj, hogy a felső erdő mind a három térképen előfordul, az alsó erdő pedig kettőn. Kislőd és Városlőd határának északi része, vagyis a felső erdő közvetlenül egymás szomszédságában van, de mivel KITAIBEL Városlődöt és nem Kislődöt nevezi meg támaszpontként, joggal következtethetjük, hogy a felső erdőnek a városlődi határba eső részéről van szó, arról, ahol Németbánya (Deutschhütten) és Csehbánya (Böhmischhütten) van.

Hogy ezzel a feltevésünkkel helyes nyomon járunk, bizonyítja DORNYAY könyvének [29] a Farkasgyepű—Csehbánya közötti útra vonatkozó következő szövege (354. l.) „. . . Keresztnyiladék a 412-es pontnál, itt balra (Kelet felé) fordulunk és balra az ún. Érclyukak (gödrök és halmok, melyekből hajdan a kislődi vashámor számára vasércet ástak) mellett elhaladva . . ." Nagyon csábító az a feltevés, hogy PESTY „érctyúkok" kifejezése azonos az „érclyukak"-kal, bár PESTY világosan „Erzhühner"-t ír. A dolog magyarázata az lehet, hogy az érclyukakból

* KITAIBEL kocsiján fordulatszámláló volt és a távolságokat a kerék fordulatszámaiban is megadja. Ezekből azonban nem tudjuk a távolságokat hosszmértékre átszámítani, mert nem ismerjük a kerék átmérőjét, vagyis nem tudjuk, hogy egy fordulat milyen távolságot tett meg.

valamilyen módon pl. íráshiba folytán érctyúkok lettek és az ottani sváb lakosság ezt értelmetlenül németesítette Erzhühner-re.

Figyelemre méltó tény az is, hogy a régi pl. a [7] és [8] térképeken Némethbánya és Csehbánya neve Deutschhütten és Böhmischhütten, amelyekben a „Hütte" nem kohót, hanem üveghutát jelent. A 100 év előtti kataszteri térképeken [30] is még ezek a német nevek vannak. Amikor azokat megmagyarosították, érdekes módon nem Német- és Csehhuta lett azokból, mint ahogyan pl. a Bükkben ma is Répáshuta, a Mátrában Szuhahuta van (és volt Fiskalitáshuta, Ótházhuta stb.), hanem „bányá"-t illesztettek e nevekhez. Nyilván az ott folytatott bányászatnak az emlékét akarták evvel felidézni és megőrizni.

Meg kell említenünk, hogy — DR. GEDEON TIHAMÉR szíves szóbeli közlése szerint — az 1956. évben Csehbánya és Némethbánya között vasban dús pizolitos bauxitot tártak fel, amelynek vizsgálata és az ércminták elemzése folyamatban van. Ez a körülmény is alátámasztja feltevésünk helyességét.

Végül megemlítjük, hogy fenti következtetéseink helytállóságát a kislődi és a városlődi községtanács végrehajtó bizottságától magánúton kapott levélbeli értesüléseink is megerősítik. Eszerint a régi bányászat valóban Farkasgyepü és a felső erdő, valamint a prímás-allé táján folyt. Érdekes, hogy ez a nyilván szájhagyományon alapuló felvilágosítás még ma is Erz-Hühner-ként emlegeti ezt a helyet, amely a keresztnyiladék mentén a 9/a erdőtag. Ugyanezen források szerint a Vénkőrös-árok (Windisch-árok) az alsó erdőn nincs messze a kislődi vasúti állomástól.

Helyszíni vizsgálódásaink alkalmából találtunk salakot és kis darab nyersvasat is. Az utóbbit és két salakmintát a diósgyőri Lenin-kohászati művek vegyészeti laboratóriuma, három másik salakmintát pedig a Fémipari Kutató Intézet elemezte. Az elemzések eredménye:

	C	Si	Mn	P	S
			%		
Nyersvas.....	3,70	3,94	8,40	0,672	0,027*

míg az öt különböző salakmintáé:

	SiO_2	Al_2O_3	CaO	MgO	FeO	Fe_2O_3	MnO	S	P_2O_5	TiO_2	Salak-szám
					%						
1. sz.	48,02	13,26	10,62	6,9	0,88		10,4			0,53	0,28
2. sz.	40,97	15,59	24,51	7,07	1,66	0,88	9,4	0,03	0,09		0,55
3. sz.	51,18	20,20	9,50	1,82	6,83		10,2				0,16
Szürke salak.	37,83	26,57	17,70	4,78	2,09	1,35	9,4	0,07	0,11		0,34
Feketeüveges	49,61	21,—	11,—	3,35	4,27		10,1				0,20

Ezek a számok első benyomásra nem igazolják azt a feltevésünket, hogy Kislődön a nyersvasgyártás bauxitból történt volna. Ha ui. ezeket szembeállítjuk a nálunk Diósgyőrött a második világháború után végzett bauxitkohósítási kísérletek eredményeivel [31], azt látjuk, hogy azok sok tekintetben nem hasonlítanak egymáshoz. A Diósgyőrött bauxitból termelt nyersvas C-tartalma 4,2—4,4%, Si-tartalma pedig 0,08—2,25%, azaz sokkal kevesebb, mint a kislődi nyersvasé. És mégis azt kell mondanunk, hogy az elemzési adatok, főképpen a nagy Al_2O_3-tartalom arra vallanak, hogy a salak timföldes elegyből képződött. Figyelembe kell még vennünk, hogy a diósgyőri

* A nyersvas mintát az elemzés céljára felaprózták s így arról mikroszkópi felvétel már nem volt készíthető.

kísérletekhez válogatott bauxitot adagoltak, amelynek SiO_2-tartalma kicsi — 4,2—12% — volt.

Külön kell a Mn-tartalommal foglalkoznunk, amely a diósgyőri bauxitnyersvasban 0,4—0,5% volt, szemben a kislődi nyersvas 8,4% Mn-tartalmával. Hazai bauxitjainkban mangán nincs, a diósgyőri bauxitnyersvasba a mangán feltehetően az elegy vasforgácsából került. De honnan került a kislődi nyersvasba 8,4% mangán? Erre egyik magyarázat — GEDEON TIHAMÉR feltevése szerint — az lehet, hogy Kislődön az elegyhez úrkúti mangánércet adagoltak, amit a régiek — ugyanúgy, mint a bauxitot — vasércnek is nézhettek. Ez annál könnyebben lehetséges volt, mert a mangánt a barnakőben BERGMANN és SCHEELE önálló elemként csak 1774-ben fedezték fel. VITÁLIS ISTVÁN szerint [32] Úrkút környékén a lakosság emberemlékezet óta ismerte a külszíni kibúvások alakjában előforduló mangánércet, de persze nem annak mibenlétét. Az úrkúti mangánércnek Kislődön történt felhasználását illető feltevés azért sem valószínűtlen, mert a szekérút Úrkútról a kohó helyéig mindössze csak 6—6½ km. Hiszen tudjuk, hogy a kislődi hámornak fentebb többször emlegetett principálisa: SCHEBELLE Nagyvázsony határában is hiába keresett vasércet, pedig ez az utóbbi hely Úrkúttól kereken még 15 km-nyire van [33]. Más helyen [34] már kifejtettük, hogy 150 évvel ezelőtt az ércnek szekéren történő fuvarozása olyan olcsó volt, hogy annak a gazdaságosság szempontjából jelentőséget nem tulajdonítottak.

De még az sem lehetetlen, hogy a kohó helyéhez közelebb is volt mangánérc-előfordulás, mint ahogyan VADÁSZ ELEMÉR szives felvilágosítása szerint az úrkúti mangánércnek a városlődi Csalányos völgyben valóban voltak ásási nyomai. Annak magyarázata, hogy a 12—14% Fe- és 23—25% Mn-tartalmú [32] érc kohósítására miért nem került sor magán Úrkúton, nyilván csak az a szakkörökben jól ismert tény lehet, hogy Úrkút környéke vízben nagyon szegény, míg a kislődi kohórom mellett folyó Tornapatak igen bővízű.

Ami a kislődi nyersvas foszfortartalmát illeti, az jól beilleszthető a diósgyőri bauxitnyersvas 0,10—1,40% P-tartalmának határai közé; a 0,027%-nyi kis kéntartalom — a bauxitnyersvas egyik jellegzetessége — pedig szintén összeegyeztethető a diósgyőri 0,004—0,07% S-tartalommal.

Amint ismeretes, hazai, vasban dús bauxitjaink SiO_2-tartalma 3—7%, ami egymagában nem magyarázza meg a kislődi nyervas csaknem 4%-nyi Si-tartalmát, de különösen nem a salak nagy, 38—51%-os SiO_2-tartalmát, bár éppen némely bakonyi vörös bauxit 15—25% SiO_2-t is tartalmaz ([24], 22. l.). Ha elfogadjuk az úrkúti mangánérc felhasználására vonatkozó fenti feltevést, akkor magyarázatot kapunk a nyersvas nagy Si- és a salak nagy SiO_2-tartalmára. Az úrkúti mangánérc átlagos SiO_2-tartalma [32] szerint ui. 13,25%, sőt a karbonátos ércé 21,35% [35]. A kétféle ilyen ércből együtt már adódhatik fenti összetételű nyersvas és salak.

Salakjaink összetétele tulajdonképpen közelebb van a savanyú salakkal történő nyersvasgyártás salakjaihoz, mint a bauxitnak nyersvasra történő feldolgozásakor keletkező kalciumaluminát-salakokéhoz. Ha elemzéseinket [31]

alapján (683/687. l.) összehasonlítjuk a savanyú salakkal történő nyersvasgyártásról írt fejtegetésekkel, megállapíthatjuk, hogy a kislődi termékek elemzése nagyon hasonlít a savanyú salakkal történő nyersvasgyártás termékeihez. Az utóbbiak nyersvasának C-tartalma kereken 3%, Si = 1—3%, P= = 0,1—1,9%, S = 0,037% ; a salak Si_2O-tartalma 40—43%, Al_2O_3 = 5—7%, CaO = 6 — 8 % stb. A $p = \frac{CaO + MgO}{SiO_2 + Al_2O_3}$ képlet alapján számított salakszám (l. a táblázatban) a nagyon savanyú salakra jellemző értékeket mutatja. A kislődi salak Al_2O_3- és CaO-tartalma azonban sokkal nagyobb, mint emezeké, ami mutatja a timföldes elegyből való eredetét. Feltehető, hogy a régiek — talán anélkül, hogy ismerték volna a savanyú salakkal történő olvasztás reájuk nézve kínálkozó előnyeit — szándékosan dolgoztak így. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a kislődi példa egyáltalában nem egyedülálló ; hivatkozunk annak a rendkívül savanyú salaknak összetételére, amit mint az újmassai olvasztó salakját más helyen ismertettünk ([34], 409. l.). Megemlítjük még, hogy a kislődi salak színe többnyire barna, törése üveges.

Gedeon Tihamérnak, hazai bauxitjaink egyik kiváló ismerőjének — aki a kislődi mintákat az elemzés céljára a helyszínén gyűjtötte —, az a véleménye, hogy a bauxitból történt kislődi nyersvastermelésnek döntő bizonyítéka az egyik salakminta TiO_2-tartalma (a többiben nem határozták meg). Az a tény, hogy pl. svéd mágnesvasércek is tartalmaznak TiO_2-ot (l. [27], 27. l.), részünkre semmit sem mond, mert ilyen érc kohósítása 200 évvel ezelőtt nálunk szóba sem jöhetett, de meg ezek 0,03—0,19% TiO_2-tartalma nagyon kicsi, míg ellenben a mi dunántúli bauxitjainkban legalább 2%, számos előfordulásban 3—4%, sőt 5%-on felüli TiO_2 van [25].

A kislődi nyersvas nagy szilícium- és mangántartalmának, valamint a salak nagy kovasavtartalmának Vadász Elemér szíves közlése szerint egy másik magyarázata is lehet. Eszerint a szóban forgó termelő helyeken sem ma, sem kétszáz év előtt bauxit már nem volt. Ellenben a városlőd—csehbányai püspöki erdő területén az egykori bauxit teljes lepusztításából (miocén abrázió) visszamaradt és helyenként törmelékként összehalmozódott bauxit alján, a dolomit határán különböző vastagságban mutatkozó limonit-vaskéregről lehet itt szó. Ez hozzátartozik a bauxittelephez, de nem nevezhető bauxitnak, különösen a vasra való kohósítás szempontjából. Ugyanakkor azonban a bauxittal való genetikai kapcsolata szerint TiO_2-tartalma érthető. Ez a vaskéreg mangántartalmú (egyik gánti mintában 28% MnO_2) és nagy kovasav-tartalmú is (15%). Ez magában megmagyarázza a kislődi kohósalak elemzési adatait, miért is nincs szükség az úrkúti mangánérc felhasználására vonatkozó következtetésre. A vasaskéreg lelőhelyeinek kimerülése is egyik oka lehetett a vashámor megszűntének.

A fentiekben ismertetett két különböző, nevezetesen a metallurgiai és a geológiai felfogás egyeztetése alapján tehát nem mondhatjuk határozottan,

hogy a kislődi nyersvasat valóban bauxitból és úrkúti mangánércből termelték. A kérdést az egyik vagy a másik felfogás javára nem is tudjuk eldönteni, mert egyrészt nincs bizonyító adatunk az úrkúti mangánérc felhasználására vonatkozóan, másrészt nem áll rendelkezésünkre a VADÁSZ ELEMÉR említette limonitvaskéregnek a helyszínéről származó mintája. Úgy véljük, hogy mégis megengedhető annak feltételezése, hogy a bauxitnak nagy vas- és mangántartalmú átalakulási termékéről vagy valamilyen más rokonféleségről lehet szó. Ez annál inkább feltételezhető, mert a Dunántúlon ma bányászott nagy vastartalmú bauxit és úrkúti mangánérc keverékéből — CLAUS ALAJOS szíves felvilágosítása szerint — nem tudunk olyan elegyet összeállítani, amely a fentebb ismertetett összetételű kislődi nyersvasat és salakot adná. Ehhez nagyobb vas- és kovasav, valamint kisebb timföld-tartalmú ércféleség kellett, ami lehetett a VADÁSZ feltételezte limonitos kéreg. A salak nagy SiO_2-tartalmának magyarázatára — mint szélsőséges lehetőség — az is szóba jöhet, hogy az elegyhez kavicsot adagoltak, amit a régi kohászok előszeretettel cselekedtek.

A kislődi kohó, ha nem is tudatosan, mintegy 150—180 évvel megelőzte a korát. Bauxitjaink vasra történő kohósításának problémája ugyanis századunk 30-as éveiben vált alkalomszerűvé [36] és azóta is napirenden van [37].

Felesleges mondanunk, hogy a kislődi olvasztót faszénnel táplálták, amit az akkoriban ott gazdag, de ma is terjedelmes bükkerdők fájából termeltek. Ezt a salakminták faszénzárványainak vizsgálata igazolta [38]. Egyes iratok tanúsága szerint a püspökségnek fával és faszénnel folytatott gazdálkodása inkább a környékbeli üveghutáknak kedvezett és a vashámor emiatt sokszor került hátrányos helyzetbe [6]. A faszén korára nem tudunk következtetni, mert — tudtunkkal — ilyen vizsgálat nálunk még nem végezhető [39].

Amint fentebb láttuk, [1] szerint a hámor termelésének javarésze kovácsolt áru volt, amelyhez a vasat vagy az olvasztóból közvetlenül, vagy a nyersvas frissítése útján kapták. A nyersvasnak másik részét öntvények készítésére használták. A [11] irat számos ott készült öntvényt felsorol, amelyek azonban nem lehettek nagyon kelendők, mert ugyanazon irat szerint Veszprém megye körlevélben hívta fel a többi megyét azok pártolására. Az irat mellett mindössze Mármaros megye válasza van, amely javasolta, hogy a kislődi áruk részére Debrecenben raktárt létesítsenek. Az iratból nem derül ki, hogy ebből lett-e valami.

Nagyon sokféle öntvény készült Kislődön. Így pl. szappanfőző, kékfestő edény, háztartási tűzhely és edény, tűzhelylap, a legkülönbözőbb nagyságú és alakú szobai kályha, háztartási mozsár, különféle kisipari és mezőgazdasági szerszám, különféle súly, mindenféle tuskó, malomszerelvény stb., stb. A kislődi gyártmányok eladása egyébként a Dunántúlon sem lehetett túl könnyű, mert ott a stájer vassal kellett versenyezniük. De fordítva : az osztrák tartományoknak is lehetett okuk a magyar vasáruk versenyétől tartaniuk és nem lehetetlen, hogy éppen a kislődiekétől [40]. Ez az aggodalom persze inkább csak mondvacsinált lehetett, hiszen egy másik iratból tudjuk, hogy az 1834—36-ban Magyarországba behozott vasáru mennyisége sokszorosan túlhaladta a kivitelt, így pl. a nyersvas és öntött vas kétszerese, a kovácsolt árué harmincszorosa, a vasdróté százhatvanszorosa volt a kivitelnek [41].

Tárgyunkkal kapcsolatos vonatkozásai miatt idéznünk kell még FÉNYES ELEK adatait [42], amelyek szerint Városlődön vasérc és bányák lennének, melyekből „vas, piskólcz, gáliczréz, kőszén ásattatik, vitriolfőzőintézet van". A kitűnő FÉNYES itt nyilvánvalóan tévedett; mert — amint láttuk — nem pontosan meghatározott vasérc, hanem valamilyen más, timföldes ércféleség lehetett azon a környéken. Teljesen valószínűtlen, hogy ott antimon- és rézérc fordult volna elő [43]. A vitriolfőzés célja sem lehetett rézgálic készítése, alighanem a vasércnek hitt bauxitból termeltek vasvitriolt, talán timsót is. A vasvitriolt gyakran összetévesztették a rézvitriollal [44]. DORNYAY [29] azt írja (270. l.), hogy 1778-ban az „Almanach von Ungarn" szerint — amikor Kislődbánya volt a neve — alaunit, antimónium, vaskő, kőszén és vasgálic ásványokat fedeztek fel. A kislődi vashámor dolgozta fel a farkasgyepűi „érclyukak" vasércét is. FÉNYES alighanem ebből a bizonytalan forrásból vette az adatait.

Bár nem tartozik szorosan tárgyunkhoz, megemlítjük, hogy adat van arra, mintha a Kislődtől légvonalban mintegy 25 km-nyire, Veszprémen keresztül pedig kb. 45 km-nyire fekvő Zircen is működött volna a XVIII. században vashámor, amely 1720-ban létesült és 1790 táján szűnt meg [45]. Ha ez nyersvasat is termelt, nagyon valószínű, hogy ez is nagy vastartalmú bauxitot dolgozott fel vasércként. DORNYAY említi [29] munkájának 39. lapján, hogy Hegyesd mellett is volt vashámor. Ez a Tapolca közelében fekvő község bizonyára a tapolca—halimbavidéki bauxit előfordulásokra épült, de már régen megszűnt.

IRODALOM ÉS JEGYZETEK

1. K. KARLOVSZKY ENDRE: Magyar gyár- és kézműipar 1771—74-ben. Magyar Gazdaságtörténelmi Szemle 3 (1896) 45/48. l. „Kislődön van vasgyár, öntő- és kovácsolóműhellyel ellátott. Feldolgoz évente különféle módon kovácsolt vasat, finomat és közepeset 500—500 mázsát, edényt öntött vasból kétféle minőségben 90—90 mázsát, különféle alakú kályhának 30 mázsa, vastáblának 20 mázsa és mozsárnak 10 mázsa vasat". A szerző maga megállapítja, hogy a tanulmányában közölt adatok hiányosak, mert a statisztika akkor még nagyon megbízhatatlan volt, és a bécsi kormány rendeletére a megyéktől követelt kimutatások csak a helytartótanács ismételt sürgetésére voltak összegyűjthetők, mert a megyék bizalmatlanok voltak a kormánnyal szemben. (Erre és a [2] adatra KISZELY GYULA volt szives figyelmünket felhívni.)

2. KERPELY ANTAL: Adatok a vas történetéhez Magyarországon a XIX. század elejéig. Kny. a Magy. Mérn. és Épít. Egyl. Közl. 1898. évf.-ból. Budapest, 1899, 77. l. „Teljes vagyoni tönkkel végződött az idő tájt egy bizonyos Herr von Schebelle vállalkozása, ki a Bakonyban Kislőd határában vasbányát nyitott." (KISZELY GYULA szíves közlése, az eredetit nem láttuk.)

3. RÉVAI Nagy Lexikona. Budapest, 1914. 11. köt., 693. l. „Kislőd . . . vashámorteleppel".

4. FUTÓ MIHÁLY: A magyar gyáripar története. Budapest, 1944. I. köt. 66. és 99. l. Lényegében KARLOVSZKY [1] alatt idézett tanulmányának adatait közli. (Erre és az [5] adatra VASTAGH GÁBOR, a kémiai tudományok doktora, egyetemi docens volt szíves figyelmünket felhívni.)

5. KITAIBEL PÁLnak (1757—1817), kora kimagasló természettudósának, Kislődre vonatkozó adata 1799-ből ered, de csak 1945-ben vált ismeretessé, amikor útinaplóját GOMBOCZ ENDRE kiadta. (Diaria itinerum Pauli Kitaibeli. Auf Grund originaler Tagebücher zusammengestellt von Endre Gombocz. Budapest, 1945. Verlag des Ungar. Naturwissenschaftlichen Museums. l. T. S. 383/384. KITAIBEL 1799. júl. 4-én járt Kislődön, tárgyunkat illetőleg erről ezt

írja: „Auf der Terna ist ... der Kislöder Eisenhammer ..., dann eine Sägemühle, wo die Eisenschmelzhütte war". Más helyen: Das Eisenerz, welches man hier vorfand, wurde eine halbe Stunde von Városlőd gebrochen. Es war brauner, ocheriger, oder braunschwarzer Eisenstein in welchem Kalkstein eingemengt zu sehen ist. Man verfertigte Gusseisen und auf zwei Hämmern Stangeneisen. Aber da das Erz nur westwärts und in Mugeln* gefunden worden ist, die Eisensteine ziemlich arm an Eisen waren, so trug es die Kosten nicht. Vorher wurde auch auf Silber gebaut, welches in Lastwagen in die Probe zu bringen musste. Man schmolz aus diesem Erz, welches Silber halten sollte, ein sehr hartes, poröses Eisen, welches, weil man es nicht zu behandeln weiss, noch in N. Vásony liegt. Gegenwärtig ist ein Hammer, wo altes Gusseisen verarbeitet wird". KITAIBELnek ezüstérc előfordulására és a nyersvas ezüsttartalmára vonatkozó — részéről is feltételesen kifejezett — adata nyilvánvalóan tévedés. A kislődi nyersvasnak keménysége nem az ezüsttől, hanem a mangántól származik (l. alább).

6. MÉREI GYULA: Magyar iparfejlődés. 1790—1848. Magy. Tört. Társ., Budapest, 1951, Közoktatási Kiadó, 117. l. A Kislődre vonatkozó szöveg forrása az Orsz. Levéltár helytartótanácsi iratainak Dep. Comm. (Departamentum Commerciale) 1793. évi, Fons 115, Pos. 48 jelzésű német nyelvű irata. Az iratnak MÉREI részéről közölt igen rövid kivonatát itt nem vesszük figyelembe, ő ui. országos távlatban vizsgálta a tárgyát, mi pedig műszaki tudománytörténeti szempontból egyedül a kislődi vashámor múltját vizsgáljuk. Ezért mi a szóban forgó iratnak egyéb adatait soroljuk fel és azzal később még részletesen foglalkozunk.

7. NEU, OBERST VON: Geographische Charte des Königreichs Hungarn. Aufgenommen unter der Direction des Herren Oberst von Neu in den Jahren 1782—83—84. Orsz. Levéltár Helyt. tan. Div. XI, No. 2. Kislődnél két jel van, ami a vashámor létezésére mutat, mindkettő délre a falutól, az egyik közvetlenül a falu alatt, a másik attól kb. fél mérföldnyire. Egyik sem helyes, az igazi távolság mintegy 2,4 km.

8. Comitatus Wesprimiensis jussu inclytorum statuum et ordinum geographice delineatus per Joannem GERLISCH ... anno 1797. Viennae, 1799. Orsz. Levéltár nyomt. térk. U/45. Ezen a kohó helye egészen hibás, azon a helyen semmiképpen nem lehetett.

9. Így pl. a [6] alatt idézett irat nagyolvasztót említ. A veszprémi püspöki levéltár Archivum Kolleriana részében van a [2] alatt említett SCHEBELLE-nek — aki a püspöki uradalom tulajdonát képező vashámor principálisa volt — dátumnélküli, de nagyon valószínűen 1772-ből származó beadványa, amelyben bejelenti, hogy tűzvész következtében a „Hammer-Hütte ... samt allen kostbaren Einrichtungen" kárt szenvedett és alig tudták a „Schacht-Haus"-t megmenteni, ami nem lehetett más, mint az aknás-kemencét, vagyis az olvasztót magában foglaló épület.

10. L. erre nézve R. SCHAUR: Streiflichter auf die Entwicklungsgeschichte der Hochöfen in Steiermark. Stahl und Eisen 49 (1929) 489/498.

11. Orsz. Levéltár, Depart. Oecon. Publ., 1785, F. 27, Pos. 1—2. Ez az irat TSCHESCHKA FERENC JÁNOS és HOMOLATSCH VENCZEL JÁNOS, a kislődi cs. kir. vasbánya (így!) bányarészeseinek és adományosainak 1785. jan. 29-én kelt beadványa a helytartótanácshoz, amelyre még többször visszatérünk.

12. PESTY FRIGYESnek az Orsz. Széchényi Könyvtárban őrzött kiadatlan kéziratos helynévgyűjteménye 60. köt., Veszprém vm., 236. lapján a következőket olvashatjuk: „Megemlítésre méltó a falutól délnek félóránnyira egy hegyoldalban fekvő Vashámori puszta ... nevét vette azon gyártól, mely 1751-ben kezdődött néhai Hollán József Csehországból behívott ide püspökségileg kinevezett gyári tiszttartónak vezetése alatt ... az olvasztás működés 1795-ben megszünt, mert elegendő anyagból kifogytak: és ez időtől 1817-ig régi avult vasakat forrasztottak, amidőn egy nagy árvíz véget vetett a hámori tűzhelynek". (DORNYAY [29] az alapítás évét 1752-nek mondja.)

13. MATHIAS BEL: Notitia Hungariae novae historico-geographica című munkájának Veszprém megyét tárgyaló részét az Orsz. Széchényi Könyvtár kézirattára BÉL eredeti kéziratán kívül még két másolatban őrzi Fol. Lat. 297 és Fol. Lat. 3775 jelzéssel. Az előbbi azonos BÉL eredeti kéziratával, az utóbbi pedig a Városlődre és Kislődre vonatkozó részt Rendekkel együtt tárgyalja, de vashámort nem említ. BÉL munkájának a Dunántúlra vonatkozó részéből nyomtatásban csupán a Moson megyét tárgyaló rész jelent meg. HAAN LAJOS munkájából (Bél Mátyás. Értekezések a történelmi tudományok köréből. 8. köt., VIII. szám, Budapest, 1879, 75. l.) tudjuk, hogy a Veszprém megyét ismertető rész másolata az esztergomi prímási könyvtárban is megvan. Bár ettől a példánytól meglepetést nem lehetett várni, kérésünkre dr. PROKOPP GYULA ny. járásbíró szíves volt megállapítani, hogy az is csak fűrészmalomról és üveghutáról ír. (Az esztergomi példány jelzése B. No. 101.)

* Mugel = gömbölyű kőzet vagy ércdarab. (Der Sprach-Brockhaus. 4. Aufl. Leipzig, 1940, S. 421.)

14. Veszprémi püspöki levéltár, 1770. évi alapleltár b 49/8 sz.

15. Veszprémi püspöki levéltár, A Fasc. 5 és D Fasc. 8.

16. Johann SCHEBELLE Hammerwerks-Principial és a püspök 1770. szept. 15-én mindkettő részéről aláírt 17 pontba foglalt szerződésének másolata. Az irat rendkívül nehezen olvasható, az kihámozható belőle, hogy a bérlő bizonyos helyreállításokat végzett, amelyeket a szerződéshez csatolt mellékletben felsorol. Ez a melléklet azonban nincs az irat mellett. A szerződést a selmeci bányatörvényszék 1770. okt. 20-án kelt záradékával jóváhagyta, az eredetinek tehát a selmeci bányászati levéltárban kell lennie. Az a kísérletünk, hogy arról mikrofelvételt kapjunk, nem sikerült.

17. VÁLYI ANDRÁS: Magyar Országnak leírása ... Második kötet. Budán. A királyi Univerzitásnak betűivel, 1799, 372. l.

18. M. VENDL: Die technisch wichtigen Mineralschätze Ungarns mit Ausnahme der Kohlen und Erdöle vor und nach dem Zusammenbruch. Mitt. d. berg- u. hüttenmänn. Abt., Sopron, Bd. X/3, 1938, S. 105/304.

19. PAPP KÁROLY: A magyar birodalom vasérc- és kőszénkészlete. Budapest, 1916.

20. KERPELY ANTAL lovag: Magyarország vaskövei és vasterményei. Budapest, 1877. Kir. Magy. Természettud. Társulat.

21. RÓMER FLÓRIS: A Bakony, természetrajzi és régészeti vázlat. Győr, 1860.

22. J. RÓKA: Vitae Vesprimiensum praesulum. Pozsony, 1779.

23. HOLUB J.: Egy dunántúli egyházi nagybirtok élete a középkor végén. Pécs, 1943.

24. GELEJI SÁNDOR (szerk.): Alumínium-kézikönyv. Budapest, 1949, Mérnöki Továbbképző Intézet kiadása, 16. l.

25. VADÁSZ ELEMÉR: Bauxitföldtan. Budapest, 1951. Akad. Kiadó, 104. l.

26. KUROVSZKY ISTVÁN (szerk.): Alumínium. Budapest, 1950, 9. l.

27. ZSÁK VIKTOR: A vaskohászat nyersanyagai. Vask. Encikl. I. köt., Budapest, Akad. Kiadó, 1954; 34, 39 és 43. l.

28. Az „Engineering and Mining Journal" *154* (1953) 124. lapján a világ 1600—1857 millió t-nyi bauxit készletéből hazánk készletét 275—330 millió t-ra, azaz a világ készletének 1/6-ára vagy éppenséggel 1/5-ére becsüli. VADÁSZ ELEMÉR, ennek a kérdésnek egyik legkiválóbb ismerője minden ilyen becslést derűlátónak és túlzottnak mond (l. [25] 60. l. és MTA Műsz. Tud. Oszt. Közl. *17* (1955) 496. l.) Meg kell jegyeznünk, hogy későbbi egyéb becslések, mint pl. Metall *9* (1955) 213. l.-on az 57—60% timföld-tartalmú bauxit magyarországi mennyiségét bőséges irodalmi adatok alapján 250 millió t-ra; FR. W. LANDGRAEBER ugyanott *10* (1956) 247. l. szintén 250 millió t-ra becsüli. Tárgyunk szempontjából ezek az adatok nem fontosak, azokat csupán annak szemléltetésére soroljuk fel, hogy hazai bauxitkincsünk valóban számottevő és az volt nyilván 200 évvel ezelőtt is.

29. DORNYAY BÉLA: Bakony. Részl. Magy. Utikalauzok. Turistaság és Alpinizmus kiadása, Budapest, 1927.

30. Ezek a kataszteri térképek az Országos Levéltár műszaki térképtárának őrizetében vannak.

31. GELEJI SÁNDOR (főszerk.) és SCHLEICHER ALADÁR (szerk.): Vaskohászati Enciklopédia, VI. köt., Nyersvasgyártás, 679. l.

32. I. VITÁLIS: Das Manganerz von Úrkút. Mitt. d. berg- u. hüttenmänn. Abt., Sopron *7* (1935) 54/74.

33. NÉMETH GÁBOR: Adatok Nagyvázsony történetéből. Veszprém, 1901., 106. l. Ez a könyv Sch. Józsefről ír, a mi Sch.-énk pedig János. Az utóbbi levéltári adat feltétlenül helyes, a másik tévedés, vagy talán a kislődi Sch. valamilyen hozzátartozója.

34. SCHLEICHER ALADÁR: Az 1813. évben épült és 1952-ben újjáépített újmassai nagyolvasztó. Magy. Tud. Akad. Műsz. Tud. Oszt. Közl. *12* (1954) 404. l. Az olcsó fuvarozásra vonatkozó adatok a miskolci állami levéltár irataira támaszkodnak, Veszprém megyében alig lehettek e tekintetben más állapotok, mint Borsodban.

35. TARJÁN GUSZTÁV és VÉCSEY BÉLA: A vasércek és a nagyolvasztó elegyének előkészítése. Vask. Encikl. IV. köt., 357. l. Budapest, Akad. Kiadó, 1956.

36. Az erre vonatkozó kísérletek ismertetése nem tartozik fejtegetéseink körébe. Csupán megemlítjük, hogy e téren CLAUS ALAJOS, FABINYI József, HAJTÓ Nándor, SELMECY Béla, VARGA Ferenc, VÉCSEY Béla, VISNYOVSZKY László, ZSÁK Viktor és mások végeztek értékes munkát. Kísérleteik eredményét és javaslataikat a Bányászati és Kohászati Lapok 1933, 1937, 1938, 1948 és 1949. évfolyamaiban ismertették.

37. L. erre nézve VERŐ József fejtegetéseit „A magyar tudomány 10 éve 1945—1955". Budapest, Akad. Kiadó, 1955, 299/300. l.

38. A vizsgálatot a MTA VI. osztályának felkérésére a budapesti Eötvös Loránd tudományegyetem alkalmazott növénytani és szövetfejlődéstani intézetében STIEBER JÓZSEF egyet. adjunktus volt szíves elvégezni, amiért neki e helyen is köszönetet mondunk.

39. Az Amerikában használatos, radiokarbon-módszernek nevezett vizsgálati eljárásra gondolunk. Ennek segítségével szerves anyagban, mint pl. faszénben, növényi maradványban stb. levő szén radioaktivitásának mérése útján állítólag lehetséges az illető anyag korát megállapítani. (L. erre nézve: Beilage „Technik", Neue Zürcher Zeitung, Nr. 282 vom 14. Okt. 1954.)

40. Az Orsz. Levéltár 1828. évi Dep. Comm., F. 20, P. 17 jelzésű irata arról tájékoztat, hogy a felső-ausztriai céhek kérték a mezőgazdasági szerszámok (ásó, sarló stb.) behozatali vámjának az 1817. év előtti mértéken való megtartását. Sajátságos, hogy éppen 1817-ről van szó, amely évben ui. a kislődi hámor működése megszűnt; nem lehetetlen, hogy éppen ennek versenye ellen védekeztek annak idején a felső-ausztriaiak.

41. Orsz. Levéltár, Dep. Comm. 1838, F. 13, P. 25/25a.

42. FÉNYES ELEK: Magyarországnak 's a' hozzá kapcsolt tartományoknak mostani állapotja statistikai és geographiai tekintetben. Első kötet. Pest, Trattner—Károlyi, 1836., 426. és 462. l.

43. A piskólcz (piskólt, piskolcs) az antimon legfontosabb ércásványának, az antimonitnak ($Sb_2 S_3$) régi neve. L. SZIRMAY ANTAL: Szatmár vármegye fekvése, történetei és polgári esmérete. Buda, Kir. Magy. Univerz. betűivel, 1809—10; valamint SZMIK ANTAL: Adalékok Felsőbánya sz. kir. bányaváros monográfiájához. Budapest, 1: 06, 182. l. Ezt a nevet REX SÁNDOR is említi (Kísérleti chemia, Budapest, 1917, 424. és 500. l.)

44. L. BIRINGUCCIO's Pirotechnia. Vieweg & Sohn, Braunschweig, 1925, 109. l. lábjegyzetét.

45. HORVÁTH KONSTANTIN: Zirci könyvek. I., Zirc története, Veszprém, 1930, 171. l.: „Az építkezéshez szükséges vas messziről, Grázból és Bécsújhelyről került Zircre, ezért már 1720-ban Gruber Ágoston vashámort épít az ősi halastó mellett; az apátság hamarosan megvette tőle és ő lett benne a bérlő". — Dr. HORVÁTH GYULA veszprémi püspöki levéltáros szíves közlése szerint ez a könyv a zirci apátság kézzel írt eseménynaplója, az ún. Historia Domestica alapján készült, tehát annyi, mint az okmány. A zirci apátsági levéltár XVIII. és XIX. századbeli kéziratai egyébként 1954. óta az Országos Széchényi Könyvtárban vannak.

46. MADERSPABH LIVIUS: Magyarország vasérc-fekhelyei. Budapest, 1885. Kir. Magy. Természettud. Társulat.

ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány ismerteti a Veszprém megyei Kislődön a XVIII. század második felében működött vasolvasztó és vashámor múltját. Ennek legérdekesebb része, hogy ott nem kimondottan vasércet, hanem nagy vastartalmú bauxitot vagy limonitos bauxitféleséget dolgoztak fel vasércként. A termelt nyersvasból öntvényeket és részben az olvasztóból közvetlenül, vagy pedig a nyersvas frissítése útján kapott kovácsolható vasból különféle kovácsolt árut készítettek.

KÖNYVSZEMLE

Vaskohászati Enciklopédia VI. Nyersvasgyártás

Főszerkesztő: Geleji Sándor.
Írták: Claus Alajos, Cotel Ernő †, Horváth Zoltán, Kiss Ervin, Simon Béla, Visnyovszky László.
Szerkesztette és lektorálta: Schleicher Aladár.
Lektorálta: Zsák Viktor, az V. fejezetet Schay Géza.
Akadémiai Kiadó, Budapest, 1955. 764 oldal, 441 ábra, 5 melléklet.

A könyv a vaskohászat egyik fő termelési ágának, a nyersvasgyártásnak terjedelmes anyagát foglalja össze. A Magyar Tudományos Akadémia ezen sorozat megjelentetésével fel nem becsülhető segítséget nyújt az elmélettel és gyakorlattal foglalkozó szakembereknek.

A GELEJI SÁNDOR akadémikus főszerkesztésében megjelenő sorozat időrendben második kötetét hat szerző írta, akiknek gyakorlati és elméleti munkája szavatol a színvonal tekintetében. A mű egyik célkitűzése a különleges magyar viszonyoknak rögzítése és figyelembe vétele volt. Igen találó a főszerkesztő előszavának az a megállapítása, hogy a magyar vaskohászat a legnehezebb adottságok és körülmények között dolgozik. Ezt a szempontot ugyan megtaláljuk a műben, mégis mintha még erősebb hangsúlyozása lett volna szükséges, különösen a jelen nyersvasgyártásának tárgyalásában.

A legtöbb anyagot kívánó kohászati ág, a nyersvasgyártás tanulmányozása megköveteli a nyersanyagok ismeretét (l. ezen sorozat I. kötetét), valamint azok kohászati célra való előkészítését. Ez utóbbi szempont jelentősége egyre jobban nő, azért örvendetes, hogy az ércelőkészítést tárgyaló IV. kötet hamarosan megjelenik. A nyersvasgyártás irodalmának összegét tehát nem egyedül az eddig megjelent I. és VI. kötet, hanem az ércelőkészítés megjelenő kötete, sőt a folyó év végén „A vaskohászat tüzelőanyagai" című II. kötet egy része is jelenti.

A mű 11 fejezetben, számos alfejezetben tárgyalja a terjedelmes anyagot. Különös érdeme, hogy sok olyan tárgyat is felölel, amelyeket más — a nyersvasgyártást tárgyaló — műben nem találunk. Az elmélet tárgyalása túlnyomóan a gyakorlat követelményeinek megfelelően történik. A gyakorlati szakemberek számára értékes útmutatásokat tartalmaz, ami a művet a gyakorlatban nélkülözhetetlenné fogja tenni és pótolja azt a nagy hiányt, amely a mű megjelenése előtt érezhető volt.

Az I. fejezet a vas fajtáit és jelentőségüket tárgyalja. Az ipari vasfajták alfejezetben, bár az egyöntetű osztályozásra való törekvés megvan, zavarra okot adó meghatározások találhatók. Ilyen a nyersvasnak töretszín szerinti osztályozása, amit kerülni kell, ha azzal feldolgozási cél szerinti különféle minőséget kívánunk jelölni. A töret sem a feldolgozás: célra, sem a minőségre nem jellemző. Ezt egyébként a szerző a nyersvasfajtákat tárgyaló alfejezetben helyesen meg is állapítja. A különleges vasfajták gyártásának rövid ismertetése jó kiegészítést képez. Ezen főfejezet foglalkozik „A vas gazdasági és kulturális jelentősége" cím alatt a vasgyártás történeti fejlődésével is. Helyes lett volna ezt a II. fejezetbe foglalni, így bizonyos kettősség mutatkozik.

A II. fejezet a vasgyártás történeti fejlődéséről szól. A nyersvasgyártás fejlődéstörténetének szánt szakasz kissé rövidre fogott s ebben a jövő fejlődésének általánosságban ki nem forrott kissé szubjektív felfogása van rögzítve. Az acélgyártás fejlődését tárgyaló szakasz, mint azt a szerkesztői lábjegyzet is említi, az acélgyártásról szóló kötetbe kívánkozik. Lényegesen részletesebb is, mint a nyersvasgyártásról szóló szakasz. Sajnálatos, hogy a nyersvasgyártás történeti elemzésében a stájer fejlődés mellett nem esik szó több más körzetben történt fejlő-

désről (pl. csehországi, uráli stb.), pedig ennek irodalmi forrásai nyilván szintén rendelkezésre állottak volna.

A magyar történeti szakaszban sehol sincs említés a Bükk-hegységi kohászatról, amelynek emlékei részben restaurálva megvannak. Ugyanígy nincs említés arról, hogy Diósgyőrött a századfordulón Bessemer-acélt is gyártottak. Az áttekintés így nem teljes.

A III. fejezetben megfelelő terjedelemben a nyersvasgyártás ismertetését adja a mű. Csak helyeselni lehet, hogy a vasércek ásványainak tárgyalásánál az Enciklopédia I. kötetének megfelelő fejezetétől eltérően olyan ásványtani jellegzetességek ismertetésére helyezi a hangsúlyt, amelyek a kohászat szempontjából fontosak. A hazai vasas nyersanyag részletes tárgyalása külön kiemelendő. Hiányolni kell azonban a vonatkozó irodalmat.

Ezen fejezet második része a „nagyolvasztó tüzelőanyagá"-t tárgyalja (helyesen a nyersvasgyártás tüzelőanyaga lenne). A nagyolvasztókoksz tulajdonságainak a különféle felfogások említése melletti részletezése bizonyos ingadozást kelt az olvasóban, különösen akkor, ha tekintetbe vesszük, hogy a kokszolási technika fejlődése következtében egyik-másik állítás máris idejét múlta. (Pl. a kokszolás hőmérséklete, gyors gáztalanítás stb.) Ebből a szempontból — ha azt a munka terjedelme lehetővé tette volna — helyes lett volna a hazai kohászat tüzelőanyagául szolgáló kokszfajták rövid ismertetése még akkor is, ha azt a sorozat II. kötete részletesen fogja tárgyalni. A koksz kohászati tulajdonságai közt nem történik említés a koptatás, a szilárdság, morzsolódás számszerű értékeiről. A kokszvizsgálati módok rövid ismertetése mellett erre szükség van.

Nem ártott volna a vaskoksz leírása mellett utalni az újabb kokszolási módokra, amelyek termékeivel a szénbázis szélesítése végett az üzemi szakembernek számolnia kell.

A fajlagos kokszfogyasztás közölt számítási módja a IX. fejezetbe, „a tüzelőanyag elégetése a nagyolvasztóban" pont pedig a IV. fejezetbe lett volna sorolandó, mert így az egyes szerzők közti bizonyos eltérő vélemények és felfogások is kiütköznek.

A IV. fejezet a nagyolvasztóban végbemenő folyamatok elméleti és gyakorlati ismertetését adja. Ennek a műben nagyobb teret lehetett volna szentelni, bár az V., valamint IX. fejezet más megvilágításban kiegészíti az anyagot. Igen helyesen a metallurgiai folyamatok, a redukció mechanizmusa gyakorlati szempontból kap megvilágítást s az elmélet történeti fejlődése mellett érdekessé teszi a fejezetet. Ez a szempont kissé erősebb hangsúlyt is kapott. Enciklopédikus feldolgozásban a törvényszerűségeknek határozottabb kifejezésére lett volna szükség. Nem egyértelmű pl. a szilicium redukciójára vonatkozó elméletnek ismertetése (83. és 85. l.).

A nagyolvasztón kívüli kéntelenítő eljárások ismertetése időszerű és fontos, bár ez a szakasz a fejezet címébe nem illik bele s inkább a VII. fejezetbe lett volna sorolandó.

Az olvasztó fúvóövében, pontosabban az oxidációs övben lejátszódó folyamatok újabbkori vizsgálatáról szól az 5. alfejezet. Ez a legújabb irodalomban mind nagyobb teret kap s a Szovjetunió kohászata is fokozódó figyelmet szentel a fúvókák előtt lejátszódó jelenségek behatóbb vizsgálatának. Sok, az eddigi elméletek szerint kevésbé tisztázott jelenség kap magyarázatot, így az elsődleges salak, annak az anyagoszlop fizikai állapotára gyakorolt befolyása, a koksz morzsolódásos igénybevétele. Ez az alfejezet a műben leírttól eltérő címet érdemelt volna, pl. „újabb vizsgálatok a fúvóövben és nyugvóban végbemenő jelenségek tisztázására."

Az V. fejezet „A nagyolvasztóban végbemenő folyamatok termodinamikai vizsgálata" önmagában újszerű, minden részletre kiterjedő elméleti munka, mely arra szolgál, hogy az olvasztóban végbemenő fizikai-kémiai folyamatokat a termodinamika törvényeivel tegye világosabbá. A nyersvasgyártási elmélet ez az új megvilágosítása sok kérdést érthetőbbé és megfoghatóbbá tehet. A fejezet előszavában a szerző ritkaszedésű megjegyzésben hangsúlyozza, hogy a számítások a folyamatok végbemenetelének lehetőségeit állapítják csupán meg, de nem tájékoztatnak a reakciók tényleges végbemeneteléről. Hozzáteszi még, hogy a számítások eredményei csak tájékoztató adatokat tudnak szolgáltatni. Ezek a megjegyzések kétséget támaszthatnak az olvasóban, hogy vajon ez a fejezet ilyen terjedelemben a nyersvasgyártás enciklopédikus összefoglalásának kereteibe való-e, vagy helyesebb lett volna azt különálló műként kiadni. Mivel az enciklopédia sorozat tervezett V. kötete kívánja tárgyalni a vaskohászati folyamatok elméleti alapjait, inkább oda kívánkoznék ez a fejezet. Terjedelme a mű csaknem összes többi fejezetét jóval felülmúlja, lehetséges, hogy ez okozta az előző IV. fejezet, vagy egyéb — a nyersvasgyártás gyakorlati szemszögéből fontos — fejezetnek kényszerűen korlátozott terjedelmét.

Az elméletnek ilyen módon való tárgyalása mellett a gyakorlat embere számára törvényszerűségek határozott rögzítése, tehát bizonyos következtetések levonása is fontos. Nem tárgyalja sem ez a fejezet, sem más az arzén jelentőségét, pedig — bár ritkább elem — a hazai gyakorlatban esetleg gondot okozhat.

A mű legnagyobb terjedelmű része „A nagyolvasztó szerkezete és berendezései" című VI. fejezet. Öt szerző munkája s meg kell állapítani, hogy a mű legsikerültebb része. Enciklo-

pédiához illően tömör és világos magyarázattal ismerteti meg az olvasót az alapvető nyersvasgyártó berendezéssel. Egyik-másik része túlzottan is tömör, mint pl. a hűtőberendezéseket tárgyaló szakasz, míg a szélellátással foglalkozó alfejezet — különösen a dugattyús fúvógépekkel foglalkozó része — feleslegesen többet ad a modern berendezéseket megismerni kívánó szakembernek.

A nagyolvasztó profiljának fejlődését jól tárgyaló szakasz sok szubjektív elemet is tartalmaz, olyan felfogást pl., hogy az olvasztó nagyságának erősebb növelésével a körszelvény elhagyandó. Ez utóbbit a fejlődés egyáltalában nem igazolta. Ugyanilyen a felfelé táguló, nyugvó nélküli profil példája is.

Örvendetes, hogy a külső merevítéssel foglalkozó részben az újmassai kiskohó képben is helyet kapott.

A felvonó- és adagolószerkezetek tárgyalása jól méretezett, érthető szakasz, amely a szakszerű ismertetés mellett összehasonlítást is ad a különböző rendszerek között.

A hűtéssel foglalkozó szakaszban hiányzanak a fenékkő és medence hűtésének a leírttól különböző és bevált módjai, a szénbélés mellett alkalmazott hűtés stb. Az aknahűtés ismertetésében kevés említés van a hűtőlap nélküli rendszerről.

A szélszolgáltatásról szóló szakaszról már szóltam. A léghevítő és szélvezetékek tárgyalása jó elméleti és gyakorlati szempontok szerint történik, hiányzik a léghevítők váltásánál alkalmazott automatika ismertetése. Igen rövid a léghevítők üzemének ellenőrzéséről szóló szakasz.

A gáz tisztítását tárgyaló alfejezet igen jól összefogott, elméleti részei tiszták, leírásai érthetőek. A szállópor mennyiség meghatározásának módszereit, az ellenőrzés módját mindemellett hiányolni kell.

A nagyolvasztók egyéb berendezéseiről szóló összefoglalás igen rövid, kár, hogy nem ad néhány vázlatot a vascsatorna, salakgát kiképzéséről. A salaküstök alcím alatt a nyersvas szilárdra-csapolása semmiképpen sem való ezen alcímbe.

„A nyersvasgyártás munkamenete" címet kapta a VII., a nagyolvasztó közvetlen üzemével foglalkozó fejezet. Helyes sorrendben kerültek tárgyalásra a nyersvasgyártás üzemi tényezői, a nagyolvasztó begyújtásától a járat rendellenességeinek ismertetéséig. A fúvókasok kicseréléséről szóló szakasznak a nagyolvasztó indítása utáni beillesztése nem a kellő helyre került. Ebben a szakaszban a 3. sorban levő hivatkozás sem helyes, mert nem a VI. 4. fejezetben, hanem a IV. 5. fejezetben van a fúvókák előtti örvényekről szó. A medence terhelése és kokszfelhasználása összefüggésének tárgyalása összefoglalja az irodalom és gyakorlat erre vonatkozó adatait. Kár, hogy SÁREK csehszlovák professzornak közel három évtizedes erre vonatkozó munkáját a szerző figyelmen kívül hagyta, pedig SÁREK 1931-ben tartott előadása általános figyelmet keltett, s ezzel jóval megelőzte SENFTER idevágó megállapításait. Mindamellett a nagyobb salak-mennyiséggel bekövetkező kisebb medenceterhelésnek a salakelárasztással való magyarázata újszerű és találó. Az elméletnek ily irányú további kiszélesítése érdekes új szempontokat hozhat.

A nagyolvasztó salak metallurgiai vonatkozásainak tárgyalása igen helyesen mutat rá a salak döntő jelentőségére. A salakszámoknak a metallurgiai rendeltetés szerinti alkalmazás szempontjából való kialakítása — ahogy azt az idézett példák igazolják — jó segítséget nyújt a gyakorlat és az elmélet emberének. Sajnálatos módon a salakalkotók termodinamikai adatainál valószínűleg nyomdahiba folytán összekeveredés van (CaO, Al_2O_3 az *e)* pontban, SiO_2 az *f)* pontban van).

A salak tárgyalását logikusan az elegyszámítás követi. Az 520., 521., 522., 528. lapon sok számhiba zavarja az érthetőséget, sem erre, sem a könyv más helyén található sajtóhibáira jegyzék nem áll rendelkezésre. Az elegyszámításnak néhány fajta nyersvas és ötvözetre való bemutatása a gyakorlati szakembernek segít.

A nagyolvasztó élettartamára és „kifúvására" vonatkozó szakaszban helyes lett volna a kiürítésnél alkalmazott újabb eljárások ismertetése. A kifúvás régi „mesterszó" s éppen olyan németes (Ausblasen), mint a következő szakaszban tárgyalt és kifogásolt „nyersjárat", melyet szerző hidegjáratra változtat. Olvasztóban a levonuló tapadékok okozzák szerző szerint a hidegjárást, ezek természetesen redukálatlanok, nem előkészítettek, nyersek, ezen az alapon a nyersjárat is helyes szó lehet.

Egyébként a rendellenességek jelenségeinek tárgyalása logikus és helyes, hiányzik az ellenük való védekezés többféle és gyorsított módjának ismertetése (oxigén alkalmazása, nagy fűtőértékű folyékony anyagok befúvása stb. hidegjárásnál).

A VIII. fejezet a nagyolvasztó salak hasznosítását tárgyalja megfelelő terjedelemben. A nagyolvasztóval foglalkozó szakember részére a salak értékesítése szempontjából fontos fejezet, népgazdasági szempontból a különféle célokra való alkalmazás elősegítése szemszögéből a nyersvasgyártással nem foglalkozók részéről is figyelmet érdemel. Magyar viszonylatban a salak értékesítése erős kiterjesztést kíván.

A nagyolvasztó energia- és hőgazdálkodása című IX. fejezet a nyersvasgyártásnál végbemenő metallurgiai folyamatoknak termokémiai gyakorlati magyarázatát adja bőséges számítási és grafikus anyaggal. Az ideális és tényleges energiaszükséglet tárgyalása a nyersvasgyártás hőszükségletszámítással együtt az üzemi szakembernek jó támaszt nyújt az ellenőrzés végbevitelénél. Ugyanez vonatkozik a további szakaszokra is, mint az egyes elemek redukálása, a salakolvasztás hőszükséglete, a nagyolvasztó hőveszteségei, a kokszszükséglet meghatározása, a vízszükséglet és vízellátás.

A nyersvas hőszükségletének számítása szakaszban szokatlan változtatás történt, amely a vonatkozó irodalomban járatos olvasóban zavart kelthet. A 389. ábrának az irodalomból vett eredetijét kellett volna közölni, úgy, ahogy az a forrásban van, ahol a szenező koksz a redukciós kokszból van leágaztatva. Az 593. lap szerkesztői jegyzete szerint „a szerző osztotta a kokszszükségletet két részre". Szerző a szöveg értelme szerint a hivatkozott irodalmat idézte. Az 593. l. 2. bekezdése azzal folytatja, hogy „a tüzelőnek a nagyolvasztóban *tehát* háromféle rendeltetése van:" A két gondolat nem kapcsolódhatik így egymáshoz. Helyes az lett volna, ha Zsák Viktor lektor véleménye a szövegben kerül beillesztésre az irodalomra való hivatkozással együtt. Teljesség kedvéért meg kell azonban állapítani, hogy a „Stahleisen Kalender" legújabb köteteiben a Reichardt-féle kettős beosztással fordul elő a kokszszükséglet.

A X. fejezet az előző fejezetek értékelő fejezetének tekinthető. A nyersvas minőségének ellenőrzésénél a mai fejlett technika eredményeit, gyorselemzés, spektrográfiai stb. elemzés alkalmazását meg kellett volna említeni ahelyett, hogy a vegyelemzés elégtelenségét állapítja meg a megítélésnél. Ugyanez vonatkozik a salakellenőrzésre. Célszerű lett volna a műszerezés, jelzőberendezés ismertetése.

Igen helyes volt a nyersvasgyártás költségtényezőinek keretében a vasérc és kokszértékelésnek közlése.

A XI. fejezetben a különleges kohósítási eljárások ismertetése történik. Sorrendi és tartalmi szempontból is jól feldolgozott része a műnek. Ilyen összefoglalás az irodalomban ritkán található s ezért ki kell emelni feltétlen értékét. Kár, hogy a Krupp-féle eljárás tárgyalásában szerző csak régebbi irodalomra hivatkozik és mellőzi a csehszlovákot. Tudvalevő, hogy Európában Csehszlovákiában fejlődött legelőször nagyüzemi méretekre ez az eljárás. Erre vonatkozó közlés a csehszlovák folyóiratokon kívül az angol és francia irodalomban is található.

A kalciumaluminátos salakkal való kohósítás tárgyalása magyar szempontból különös érdeklődésre tarthat számot. Ugyanilyen értékes az oxigénnel és nagy toroknyomással történő kohósításról szóló rész, s utóbbiban közölt elmélet az eljárás mechanizmusának megértéséhez nagyban hozzájárul.

Végül a kisolvasztókról szóló szakaszhoz annyit, hogy az NDK-ban kifejlesztett ilyen kemencékről nem történik említés, bár ma egyedül itt van üzemben a legtöbb belőlük, amelyek barnaszénkokszot használnak, tehát a kisolvasztók egyik rendeltetését — azt, hogy kevésbé értékes tüzelőanyagot alkalmazzanak — teljesítik.

A művet ábra- és táblajegyzék, valamint tárgy- és névmutató egészíti ki.

A könyv, bár hat szerző munkája, stílusában, nyelvében mégsem mutat érezhető eltéréseket. Nyelve gördülékeny, s egy-két idegen mondat-, illetve szókapcsolást nem tekintve, magyaros, műszakilag is helyes. Néhány műszaki kifejezésnek változtatására is kísérlet történik, nem mindig szerencsés eredménnyel.

Irodalmi hivatkozás elég bőséges, kár, hogy a III. fejezet A. jelű alfejezet, valamint a B. alfejezet 4. és 5. szakaszának irodalmi felsorolása hiányzik.

A közölt ábrák, táblázatok világosak, érthetők, néhány ábra (pl. 368, 371, 372, 376.) közlése, időszerűtlensége miatt, felesleges volt. Nyomdahiba miatt a 167. ábra 90°-kal elfordítva került kinyomtatásra.

Szólni kell a könyv kiállításáról. Nyomdatechnikailag tetszetős, szemnek kellemes, jól olvasható sokszorosításban készült a mű. Sajnálatos, hogy az előforduló sajtóhibák jegyzékét nem csatolta a kiadó, pedig elég számban fordul elő hiba. Egy részük nem is róható fel a nyomda hibájául, mint pl. a tartalomjegyzék VII. oldalán a XI. fejezet oldalszáma, vagy a tárgy- és névmutató 758. oldal első hasábjának utolsó sorában levő értelmetlen kifejezés, „szénmonoxid hidrogénnel való redukciója", vagy számos számhiba az 521., 528. oldalakon.

A mű az Akadémiai Kiadó megszokott komoly, barna színű, tetszetős külsejű kötésében jelent meg.

Mindent összevetve megállapítható, hogy műszaki irodalmunk igen értékes művel bővült. Ha tekintetbe vesszük, hogy magyar nyelvű kohászati könyvek igen gyér számban jelentek meg az elmúlt évtizedekben, még nagyobb annak a jelentősége, hogy a vaskohászat szakemberei az Enciklopédiában értékes magyar nyelvű bázisirodalmat kapnak. A könyv ezenfelül a mérnöki szakoktatásnak jól használható tankönyvéül is szolgálhat.

Szele Mihály

Bányamérnöki és Földmérőmérnöki Karok Közleményei, XVIII.

Szerkesztők: Dr. Falk Richárd és Dr. Hazay István.

A több mint 300 oldalas kötet számos műmelléklettel és ábrával méltó folytatója az 1949 óta szüneteltetett sorozatnak. A kötetben angol, német, orosz nyelven közzétett 22 dolgozat közül az első a 220 éves magyarországi bányamérnökképzésről emlékezik meg. Egyébként a cikkek a bányamérnöki és földmérőmérnöki karhoz tartozó tanszékek legújabb kutatási eredményeit közlik. A kötet végén közölt bibliográfia a bányamérnöki és földmérőmérnöki karok oktatóinak 1945—1955 közötti irodalmi munkásságát mutatja be.

Megrendelhető a Műszaki Egyetemi Karok Könyvtára, Sopron, Ady Endre u. 5. címen A kötet ára: 100,— Ft.

Donato, L. F.

Lezioni di scienza delle costruzioni. Vol. I:

Elementi di teoria dell'elasticità. Resistenza dei Materiali.

(Előadások a tartók sztatikája köréből. Első kötet: A rugalmasságtan elemei. Szilárdságtan.) 3. kiadás, Pisa, 1955.

Donato pisai műegyetemi tanár és számos más olasz tudós könyveit, amelyek szép számmal és értékes tartalommal jelennek meg, mi magyarok alig ismerjük. Donato ezen könyvének nagyobb része a matematikai rugalmasságtant, kisebb része az elméleti szilárdságtan elemeit tárgyalja. Különös figyelmet érdemel e könyv azon 130 oldal terjedelmű része, amely bemutatja a véglapjain terhelt prizmatikus rúd elméletét. A könyvnek ezen része a Saint-Vénant-féle elmélet és a nyírási középpont teljes tárgyalását is tartalmazza. A könyv rendszerességével és könnyű érthetőségével tűnik ki.

Dr. Barta József

Az LD-acél három éve

Kiadta a Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke, Linz—Donau, 1956. A/5, 72 lap, ábrákkal

A szakmai körökben „LD-eljárás" („Linzer Düsenverfahren") néven ismert új acélgyártási eljárást ismerteti ez a könyv. Ennek az eljárásnak kifejlesztését a különleges ausztriai körülmények tették lehetővé. Amikor ugyanis a háború után az ausztriai nyersacéltermelés növelése szükségessé vált, nem jöhetett szóba sem a Siemens—Martin és az elektromos kemencében, sem a szélfrissítéssel működő eljárás. Ausztria acélgyártásában nevezetesen a nemesacél- és kereskedelmi acél termelésének viszonyát más országokétól eltérően (Svédországot kivéve) az előbbiek nagy hányada jellemzi. Ez a tény ócskavashiányt jelent és az acélgyártásban nagy nyersvasfelhasználást kíván, ezért fejlődött ki a Vereinigte Österreichische Eisen- und Stahlwerke linzi telepén és Donawitzban ez az egészen új eljárás, amelynek lényege folyékony nyersvasnak tiszta oxigénnel történő fúvatása. Az új eljárás most már nemcsak Ausztriában, hanem Amerikában, Kanadában, Nyugat-Németországban és Japánban is alkalmazáshoz jutott és a létesítendő indiai acélgyártás is részben eszerint fog dolgozni. Az a várakozó magatartás, amely kezdetben evvel az új eljárással szemben megnyilvánult, ma már mindinkább fokozódó érdeklődéssé változik. Ebből a szempontból örvendetes az itt ismertetett könyv kiadása, amely alapos és jól illusztrált tanulmányokban beszámol az eljárással eddig gyűjtött igen értékes tapasztalatokról. Számos adatot közöl az LD-acéllal, SM-acéllal és elektroacéllal végzett összehasonlító vizsgálatokról és végül az eljárás gazdaságosságának igen nagy előnyeit ismerteti.

Schleicher Aladár

A kiadásért felel az Akadémiai Kiadó igazgatója — Műszaki felelős: Farkas Sándor

A kézirat nyomdába érkezett: 1957. I. 7. Terjedelem: 31,75 (A/5) i v, 175 ábra (4 színes), 6 melléklet

41123/57 Akadémiai Nyomda, Budapest, V, Gerlóczy u. 2. — Felelős vezető: Puskás Ferenc

TARTALOMJEGYZÉK

Vidéky Emil: A kapcsolószám befolyása egyenesfogú homlokkerekeknél 1
Verebélÿ László: Kandó Kálmán 21
Petrov Milcso: Három általános helyzetű kitérő vágatot a lehető legrövidebb úton összekötő egyenes vágat tengelyének meghatározása 32
Knapp Oszkár: Szilikátüveg viszkozitásának aktiválási energiája 50
Fábry György: A nátriumklorid-víz elegy entalpiadiagramja 60
Csonka Pál: Tekercselt nagynyomású edény kezdőfeszültségeinek számítása 67
Kopycinski Bronislaw: Vasbetontartók teherbírása elméleti és kísérleti megvilágításban 75
Vermes Géza: A reakciófok kiválasztásának befolyása az axiál-kompresszor fokozat hatásfokára 95
Renner János: Újabb vizsgálatok a függővonalelhajlások körében 99
Terplán Zénó: Síkban mozgó egyszerű mechanizmusok dinamikai vizsgálata 115
Terplán Zénó: Síkban mozgó bonyolultabb mechanizmusok kinematikai és dinamikai vizsgálata 133
Hantos Rezső, Heeringer József, Schey János: A csőhúzásnál keletkező erők vizsgálata ... 141
Csáki Frigyes: A soros kondenzátor hatása a szinkron gép üzemére 157
Vajda György: Szigetelő folyadékok villamos szilárdsága 163
Geleji Sándor, Schey János, Fink Konrád, Hantos Rezső, Köves Ferenc: Csőnyújtóhengerlésnél keletkező erők mérése és számítása 177
Verebélÿ László: A hazai villámkutatás eddigi eredményei 189
Kopycinski Bronislaw: A vákuum-beton technológiája 229
Millner Tivadar: A vákuumtechnikai wolframfém előállításának és tulajdonságainak természettudományos kérdései 243
Erdmann-Jesnitzer F., Erler K. H.: Eljárás alumínium segédötvözetek előállítására magas olvadáspontú elemekkel 283
Zilahi Márton, Oswald Loránd: Az acetilezett pamut elszappanosítási folyamatának topokémiai vizsgálata 309
Tárczy-Hornoch Antal: Az azimutnak és földrajzi szélességnek egy csillag megfigyeléseiből új módszerrel való meghatározása 321
Tárczy-Hornoch Antal: Geofizikai mérések alapján számított értékek megbízhatósága 331
Millner Tivadar, Prohászka János, Horváth Antal: Idegenanyagnyomok hatása wolframdrót másodlagos újrakristályosodására 348
Csonka Pál: A kritikus nyomóerő meghatározására szolgáló Barta-féle iterációs eljárás módosítása 362
Csonka Pál: Numerikus eljárás a csavarás okozta feszültségek számítására 363
Csonka Pál: Barré de Saint-Venant emléke 100 év távlatában 365
Millner Tivadar: Wolframdrót átmérőjén mutatkozó egyenlőtlenségeknek és az izzószálkörnyezet hőelvonó hatásának befolyása az izzólámpa élettartamára 369
Oplatka György: Új, folytonos működésű diffúziós berendezés. A „J" diffúzió 377
Schleicher Aladár: A kislődi vashámor története. Nyersvastermelés bauxitos elegyből a XVIII. században 395

KÖNYVSZEMLE

Vaskohászati Enciklopédia VI. Nyersvasgyártás 413
Bányamérnöki és Földmérnöki Karok Közleményei, XVIII. 417
Az LD-acél három éve 417

Ára: 82,— Ft