

## KÍSÉRLETI KUTATÁSOK A FESZÍTETT BETÉT LEHORGONYZÓDÁSÁNAK VIZSGÁLATÁRA

### 1. A feszített betét lehorgonyzódására vonatkozó kísérleti kutatások célja

Feszített betét lehorgonyzódásának vizsgálatára végzett kísérletek főbb céljával a következő feladatok megoldását tűzték ki: *a)* Az erőátadódás általános jellegzetességének szemlélet alapján való vizsgálata. *b)* Különböző tényezők lehorgonyzódásra való hatásának kutatása. *c)* Elméleti úton felállított összefüggések igazolása. *d)* Adott elmélet szerinti paraméterek meghatározása.

Az Építőipari és Közlekedési Műszaki Egyetem Beton- és Vasbeton-építési Laboratóriumában 1953—54-ben végzett kísérleteink célja a jelenség vizsgálata, a kidolgozott elmélet (l. [16]) ellenőrzése, az eredmények alkalmazásának kipróbálása volt. A kísérlet során szerzett bizonyos tapasztalatokat felhasználtunk az elmélet alapfeltevéseinek továbbfejlesztéséhez is.

### 2. Az erőátadódás vizsgálatának kísérleti módszerei

Mint az elméleti vizsgálat megmutatta [16], az erőátadódás jelenségét le tudjuk írni, ha ismerjük a betonban vagy a betétben a feszítőerő ráengedése után ható erő, vagy a beton és betét közötti elmozdulás változását a feszített rúd hossza mentén. Ennek megfelelően a kutatások e három jellemző mennyiség változásának meghatározására irányultak. E mennyiségekre kapott mérési eredményekből más jellemző mennyiségek is kiolvashatók.

Mínthogy a problémával minden olyan kérdés rokon, amelynek megoldása beton és vasbetét közötti kapcsolat ismeretén alapszik, a nem feszített betonra vonatkozó kísérleti kutatások közül is megemlítjük a legjellemzőbbeket.

#### 2.1. A beton és a betét közötti viszonylagos elmozdulás mérése

A beton és a betét bebetonozáskor közös keresztmetszeteinek viszonylagos elmozdulását legtöbbször úgy figyelték meg, hogy a mérési helyen a betét mellől a betont — legalább az egyik oldalon — eltávolították, s a betéten és betonon elhelyezett index elmozdulását mérték.

Feszített betét lehorgonyzódásának vizsgálatára ilyen kísérletet nóniusz felhasználásával először *Y. Guyon* [7] végzett. Közvetlenül a teljes feszítőerő

ráengedése után és négy nap múlva a 3 m hosszú tartón egy betét mentén hét helyen mérte az elmozdulást. *E. H. Evans* [2] hasonló kísérletekről tesz említést.

*M. Roš* [13] ugyanilyen elrendezésben a relatív elmozduláson kívül az ablakok közötti betétszakasz hosszváltozását is mérte.

A feszítőerő ráengedésének több fokán egy mikroszkóp segítségével *Mohay Kálmán* [11] mérte a relatív elmozdulást. 50 cm hosszon cementpépbe ágyazott, egyik végén rögzített hullámosított és rovátkolt huzal elmozdulásait 8 közbenső helyen figyelte meg. 40 cm-es szakaszon elhelyezett négy okulár-mikrométeres mikroszkóppal figyelte meg a relatív elmozdulást *E. G. Ratc*, *M. M. Holmjanszkij* és *V. M. Kolner* [12].

A relatív elmozdulás mérése laboratóriumi viszonyok között jól megvalósítható. Előnye, hogy bizonyos idővel a feszítőerő ráengedése után is elég nagy pontossággal mérhetők a mozgások. A lehorgonyzási hossz e mérésekből szemlélettel meghatározható.

Az ablak hatásáról a különböző kutatók véleménye erősen eltér. *M. Roš* [13] vizsgálata szerint az ablak a kapcsolati erők eloszlását erősen megzavarja, míg *V. Kuuskoski* [9] pl. azt fejt ki, hogy hatása nem nagy. Az ablak mellett nyilván hasonló feszültségállapot áll elő a betonban, mint a szabad végen, vagy repedés mellett, s ez megváltoztatja a kapcsolati erőket. Valószínű azonban, hogy azonos elrendezéssel készített próbatetek egyes jellemzőit ilyen mérésekkel jól össze lehet hasonlítani, s az eredmények pontosságára — mint *Mohay Kálmán* megjegyzi — nagy hatással van az ablak nagysága, elrendezése. Ablak mellőzésével mérte az elmozdulást *W. H. Glanville* [6]. A vasbetétként alkalmazott cső belső felületéhez helyenként a csőből kinyúló egy-egy pálcá végét erősítette, s a pálcák külső végének mozgását figyelte meg.

A szabad végen a relatív elmozdulást a legtöbb kísérlet során indikátorórával mérték, több esetben a feszítőerő ráengedésének több fokán. Ezt a vizsgálatot valamennyi próbatestünkknél mi is elvégeztük.

Ha ismert a relatív elmozdulás változása a tartó mentén, grafikus differenciálással a betonban, ill. betétben ható erő meghatározható, újabb differenciálás pedig a kapcsolati erő változását adja. A grafikus differenciálás nagyon kényes, az így nyert eredmény bizonytalan pontossága nem áll arányban a nehéz kísérleti munkával. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás viszont mindig egyszerűen mérhető, s a feszítőerő ráengedésekor bekövetkező változásának ismeretében meghatározhatók bizonyos kapcsolati függvények állandói, s e függvények segítségével a lehorgonyzásra jellemző mennyiségek számíthatók (l. [16]).

## 22. A beton deformációjának mérése

A beton deformációjának mérése különösen azért értékes a lehorgonyzó-dás jelenségének leírása szempontjából, mert a feszítés feladata éppen a beton megfelelő összenyomása. Nagy előnye, hogy a vizsgálat különösebb megmunkálás nélkül, az iparban gyártott tartón is elvégezhető.

Mikroszkóppal (a feszítőerő ráengedésének több fokán) *E. H. Evans* [2], nyúlásmérő ellenállással *J. R. Janney* [8], valamint *K. Gaede* és *E. Walloschke* [3], mechanikus tenzométerrel *M. Roš* [13] mérte néhány helyen a beton deformációját a feszítőerő ráengedése után.

A beton deformációja az erőátadás törvényszerűségeit nem mutatja elég pontosan, többek között a beton inhomogén volta miatt. Elméleti kutatásokkal való összehasonlításból rendszerint csak annyi szűrhető le — pl. *J. R. Janney* kísérleti tapasztalatai szerint is, — hogy az elméleti görbék általános alakja hasonlít a mérési eredményeket feltüntető görbékhez.

Kísérleteink során a beton felületén mechanikus, egy esetben elektromos tenzométerrel, egy előkísérletnél deforméterrel mértük az alakváltozást.

### 23. A betét deformációjának mérése

A betonban elhelyezett vasbetét alakváltozásainak meghatározása nem feszített tartó esetében is sok nehézséget okozott.

A kapcsolat kísérleti kutatásai során a következő megoldások alakultak ki:

a) *A vasbetétnek a beton-felülethez oly közel való elhelyezése*, amely lehetővé teszi a vasbetét egy alkotója mentén mechanikus nyúlásmérő műszer elhelyezését. E módszert *Schwertner Antal* alkalmazta a beton és vasbetét közötti kapcsolat vizsgálatára. Az eljárás előnye, hogy a vasbetét alakváltozása egyszerűen, jól bevált eszközökkel mérhető. Hátránya, hogy a betonnak a vasbetétre gyakorolt hatása nagyon különbözik a gyakorlati helyzettől, mivel a beton nem öleli körül egészen a vasbetétet.

b) *A vasbetétnek a beton felületéhez közelebb eső oldalán ablak kihagyása vagy kivétele.* A szabaddá vált vasfelületre mechanikus vagy más tenzométer helyezhető, s mint említettük, szomszédos ablakoknál megjelölt két pont közötti hosszváltozás deforméterrel vizsgálható. Ezt az elvet *V. Kuuskoski*, *M. Roš* és mások követték. Egyszerűsége mellett hátránya az, amit az ablakkal kapcsolatban már megjegyeztünk.

c) *A vasbetét alakváltozásának mérése belsejében elhelyezett mérőműszerek segítségével a többi említett módszer számos hátrányát kiküszöböli.* A beton és vasbetét érintkezési felületét semmi nem zavarja meg. A mérési helyek jól sűrítethetők, s ez — szemben az ablak esetével — nem csökkenti a vizsgálat szabadságát.

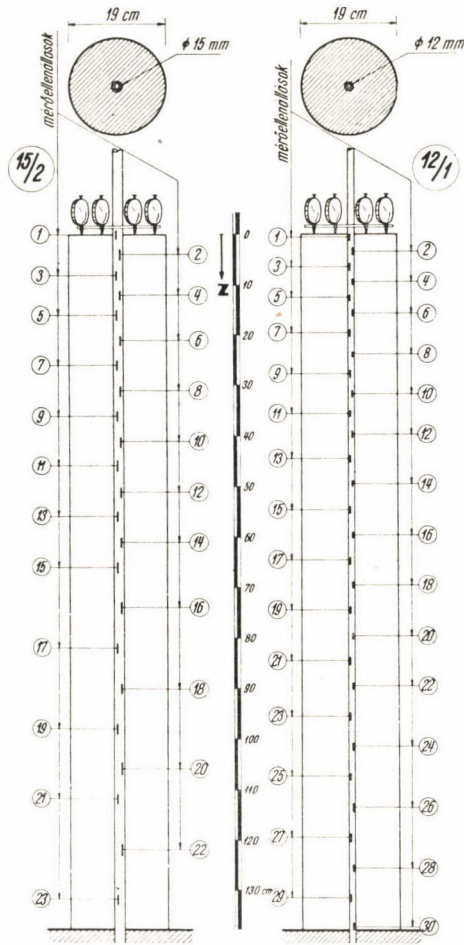
Nehézséget jelent a betét megmunkálása. A mérést szinte kizárólag nyúlásmérő ellenállásokkal lehet elvégezni, s ezek kis helyen való elrendezése nagy gondot és fáradságot igényel. A betétben levő üreg és a legtöbbször két részből való összeállítás némi eltérést jelent a gyakorlati esettől. Hátránya még, hogy a műszereknek a betét belsejében való elhelyezése az alkalmazható legkisebb átmérőt korlátozza.

Csöben *J. R. Wilkins* [17], aszimmetrikusan elvágott szelvényben *R. M. Mains* [10] végzett méréseket (l. [5]) ily módszerrel. A szimmetrikus részekből összetett szelvényben való mérést először *A. A. Gvozgyev* javasolta (l. [4]), *A. Bichara* [1] használta húzó, *Garai Tamás* [4] kihúzó kísérletek végzéséhez.

A vasbetét belsejében való mérést e fejezetben leírt kísérletek során sikerült továbbfejlesztünk. Elsőnek végeztünk ilyen mérést feszített betétben. A betét deformációja elérte az ilyen módszerrel eddig mért nyúlás 2—3-szorosát, a maximális lehetséges erőátadási hosszt az eddigi kísérleteknél előfordult legnagyobb érték kétszeresére emeltük, 32-ig szaporítottuk a mérési helyek számát, a betét átmérőjét pedig az eddig alkalmazott 20—30 mm-ről 15 s 12 mm-re csökkentettük.

### 3. A feszített betét lehorgonyzódására vonatkozó kísérletek leírása

Főkísérleteink központosan elhelyezett feszített betét lehorgonyzódására vonatkoztak. Mint ahogy repedésvizsgálatnál, valamint a beton és vasbetét közötti kapcsolat kutatásánál általános a centrikus elemekből való kiindulás,



1. ábra. A 12/1 és 15/2 jelű próbatest elrendezése

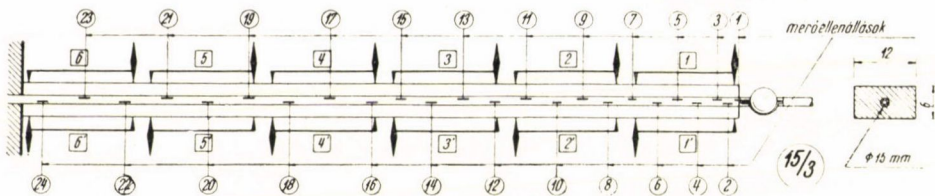
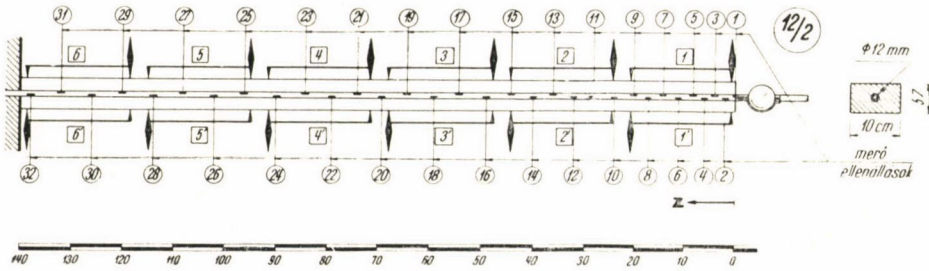
mint legegyszerűbb példát, ezt az elrendezést választottuk. Olyan kísérleti testek készültek, amelyek betétje mentén megfelelő sűrűséggel mérhettük a deformációt. A kapcsolat megbolygatását el akartuk kerülni, ezért csak a betét belsejében való mérés jöhetett számításba.

A feszített betét deformációinak eloszlására maximum mintegy 2000 kg/cm<sup>2</sup> feszültségig igénybevett 20–30 mm átmérőjű vasbetétek húzókérdéseiből vontak eddig le következtetéseket. 15–12 mm-es, 6000 kg/cm<sup>2</sup>-rel feszített

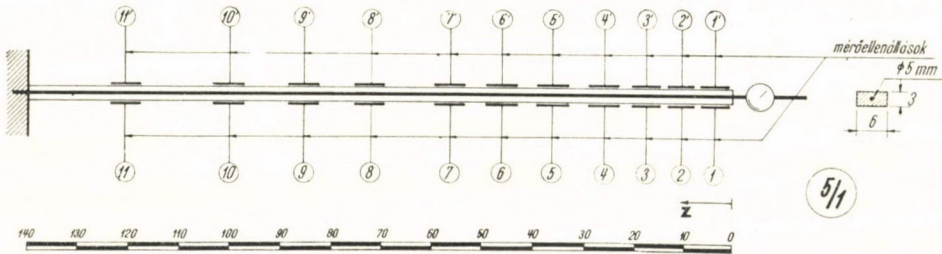
betétjeinkkel végzett vizsgálataink a gyakorlati esethez lényegesen közelebb állnak. Emellett vizsgálataink eredményét nagyszilárdságú huzallal készített próbatesteken is ellenőriztük.

### 31. A próbatetek általános elrendezése

A feszített betét lehorgonyzódásának vizsgálatára 7 próbatest készült: két előkísérletet végeztünk 20 és 15 mm átmérőjű betéttel. A főkísérleteket két-két 15 és 12 mm átmérőjű betéttel végeztük el. Egy 5 mm átmérőjű



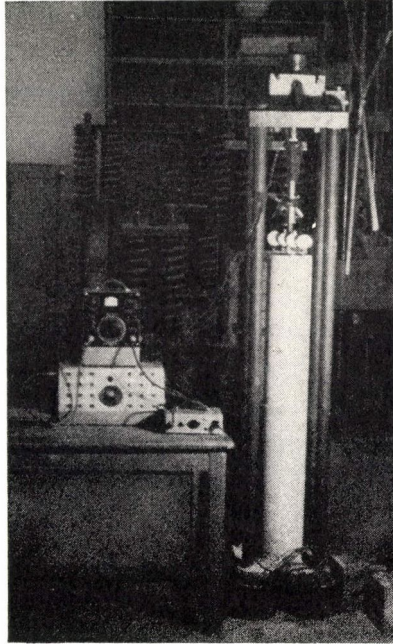
2. ábra. A 12/2 és 15/3 jelű próbatest elrendezése



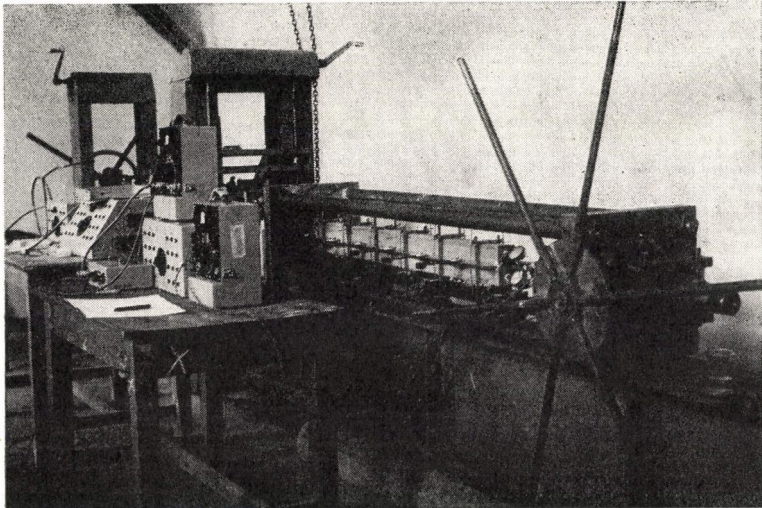
3. ábra. Az 5/1 jelű próbatest elrendezése

betéttel végzett kísérletünkkel és Mohay Kálmán [11] 5 mm-es hullámosított és rovátkolt huzallal folytatott kutatásai eredményeinek felhasználásával vizsgáltuk nagyszilárdságú huzal esetét.

A kísérleti testek hosszát úgy választottuk meg, hogy a rendelkezésre álló szakaszon a feszítőerő lehorgonyzódhassék (ez a 20 mm-es betéttel készült előkísérleten kívül be is következett). A testek egyik végén merev megfogással biztosítottuk, hogy a beton és betét keresztmetszete egymáshoz képest el ne mozdulhasson, azaz a kísérleti test fél feszített betonrúdként működött.



4. ábra. Henger alakú betonnal készített próbatest képe

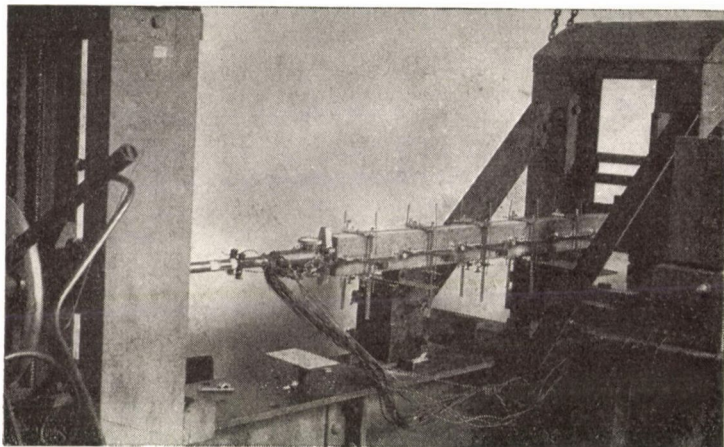


5. ábra. A 15/3 jelű próbatest képe

A betontest részben viszonylag nagy keresztmetszetű körhenger volt, részben olyan derékszögű négyszöget készítettünk, amelyen számottevő mérhető össznyomódás lépett fel. A próbatestek általános elrendezését az 1., 2., 3. ábra tünteti fel, fényképüket a 4., 5., 6., 7. ábrák mutatják be.

### 321. A feszítőberendezés

Az előkísérletek (20/1, 15/1) és a 15/2, 15/3, 12/1 jelű kísérletek betétjeinek a megfeszítésére feszítőberendezést készítettünk. Olyan egyszerű szerkezetet választottunk, amely alkalmas volt a kísérleti test egyik végén a betét- és betonkeresztmetszet relatív helyzetének rögzítésére. Biztosítani kellett a betét központos húzását, figyelemmel kellett lennünk a mérőellenállások



6. ábra. A 12/2 jelű próbatest képe

vezetékeinek kivezetésére, a feszítőerő mérésének megoldására. A feszítő-szerkezet mind feszítéskor, mind a feszítőerő ráengedésekor egyenletesen, zökkenésmentesen működött.

A 12/2 és 5/1 jelű kísérleteinket a laboratórium feszítőpadján végeztük el.

### 322. A kísérletekhez használt anyagok

#### 3221. Az acél

Feszített betétként sima hengerelt, az 5/1 jelű kísérletnél húzott (patentozott) köracélt használtunk.

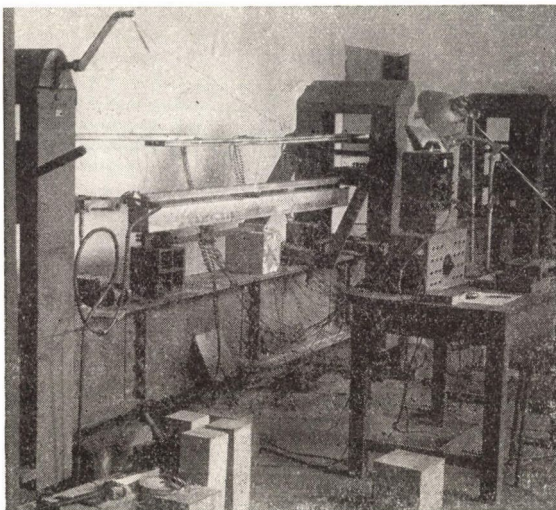
#### 32211. Az acél szilárdsági jellemzői

A különböző kísérleti testeknél alkalmazott acélananyagok szilárdsági jellemzőit az I. táblázat tünteti fel. Minthogy a beszerzett acélananyagok arányossági határa — a nagyszilárdságú huzaltól eltekintve — alacsonyabb volt, mint amekkora feszültséggel meg akartuk feszíteni, először szakító-

gépben jóval a folyási határ fölötti értékig (lásd I. táblázat  $\sigma$ ) növeltük a feszültséget. A szilárdulás során elértük, hogy valamennyi betét legalább  $6000 \text{ kg/cm}^2$  feszültségig a Hooke-törvényt követte.

### 32212. A köracélok keresztmetszetének kialakítása

A kísérletekhez olyan 160—170 cm hosszú rudakra volt szükségünk, amelyek belsejében elektromos nyúlásmérő ellenállásokat lehetett elhelyezni. Ezért a köracél keresztmetszetének csaknem felét a rúd teljes hosszában lemartuk, a fél átmérő fölött maradt egy-két tizedmillimétert köszörüléssel



7. ábra. Az 5/1 jelű próbatest képe

távolítottuk el, hogy az érintkező felületeket egyenletessé tegyük. Az így nyert félkör-keresztmetszetű szelvénybe be lehetett marni a mérőellenállások elhelyezésére szolgáló hornyot. A horony méreteinek megválasztásakor első sorban arra kellett figyelemmel lennünk, hogy benne számos mérőellenállás és kivezető huzal az amúgy is igen körülményes elrendezés és szigetelési munka megnehezítése nélkül elhelyezhető legyen. A viszonylag nagy horony előnyösnek mondható a kedvezőbb felület-terület viszony kialakulása miatt, a horony méreteit azonban korlátozza az a követelmény, hogy megfelelő „fal” maradjon a horony sarka és a köracél felülete között. Az acélok nagy-szilárdságú volta, a csekély falvastagság, de különösen az előzetes hideg húzás miatt a félszelvényeknek a nyúlásmérő ellenállások és vezetékük elhelyezése után — akár pontonkénti — összehegesztésétől el kellett tekintelnünk. Ez a centrikus elrendezés miatt nem jelentett nagy hátrányt. A különösen kalibráláskor fellépő esetleges hajlítás kedvezőtlen hatásának elkerülésére olyan mélységű hornyot igyekeztünk készíteni, hogy a mérőellenállások a félszelvény súlyvonalához közel helyezkedjenek el. A felsorolt megfontolások alapján választott keresztmetszeti elrendezést az I. táblázatban tüntettük fel.



Kísérleti test jele	A betétek (névleges) keresztmetszete						Szakitóvizsgálat eredménye			A felhasznált előtti meghúzás meretke	Kalibrálaskor meghatározott átlagos merevség	
	Elrendezés	d	b	c	e	F <sub>0</sub>	F <sub>☉</sub>	σ <sub>f</sub>	σ <sub>sz</sub>	ε <sub>sz</sub>	σ	E <sub>f</sub>
		mm				mm <sup>2</sup>		kg/cm <sup>2</sup>		%	kg/cm <sup>2</sup>	10 <sup>6</sup> kg
15/2		15	8	6	0,08	177	129	4780	7780	21	6750	2,465
15/3												2,701
12/1		12	6	5	0,05	113	83	5360	8660	14	6910	1,705
12/2												1,514
5/1		5	—	—	—	19,6	—	11200*	15000*	6,6*	12900	0,373*

\* Veress Sándor meréseiből átvett értékek

I. táblázat

A két félszélvénnyel álló köracélt két végén speciális csavarmentes vagy kúpos és ékes orsóval fogtuk össze. Gondoskodtunk arról, hogy a megfogás mind szilárdság és csúszásmentesség, mind a félszélvények együttdolgozásának biztosítása szempontjából megfeleljen.

A horonnyal ellátott betéteket bebetonozás előtt a folyáskor levált reverétegtől és a megmunkáláskor reá került olajtól benzinnel gondosan megtisztítottuk. Az 5/1 jelű próbatest nagyszilárdságú betétjéről a gyenge rozsdaréteget nem távolítottuk el.

### 3222. A beton

A feszítőerő ráengedését a beton 2—3 hetes korára terveztük, úgyhogy szilárdsága akkor kb. 400 kg/cm<sup>2</sup> legyen. A beton jellemzői a II. táblázatban

A beton jellemzői												
Kísérleti test jele	Az adalékanyag szemszerkezete							vizecement-tényező	tartal: 600-as cement kg/m <sup>3</sup>	Kocka-	Zsugo-	Merevség
	súly %									szilárds.	rodás	(E <sub>b</sub> F <sub>b</sub> )
	mm	0-0,5	0,5-1	1-2,5	2,5-5	5-10	10-15			15-20	kg/cm <sup>2</sup>	10 <sup>-5</sup>
12/1								0,39	450	435	4,2	97,5
15/2	5	4	12	13	23	22	21			406	5,5	88,0
12/2										455	2,0	20,9
15/3	8	6	14	16	30	26	—					37,5
5/1	14	8	13	23	42	—	—			396	11,4	5,4

II. táblázat

találhatók. A zsugorodás minimális értékűre való csökkentése érdekében a testeket — kivéve a két előkísérletet és az 5/1 jelű testet — két nappal a feszítőerő ráengedése előtti időpontig nedvesen tartottuk. A beton rugalmasági modulusát részben nyomógépben hasábon való méréssel, részben a feszítőerő ráengedésekor magán a kísérleti testen határoztuk meg. A betont bádoggal bélelt faformában a zsaluzat vibrálásával dolgoztuk be.

### 33. A mérés elrendezése, mérőműszerek

#### 331. A betét deformációjának mérése

A betét alakváltozásának a feszítőerő ráengedésekor való mérését 10—20 mm alaphosszúságú, 80—120  $\Omega$ -os nyúlásmérő-ellenállásokkal végeztük. A nagy gonddal felragasztott mérőellenállásokat a felszelvények két-két végén egy-egy közös és megfelelő számú külön vezetékkel vezettük ki elektromosan és víz ellen jól szigetelt vörösréz-huzallal. A mérőellenállásokat és a kivezető huzalok forrasztásait két jól szárított lakkréteggel védtük, a vezetékek rögzítése után pedig a betét hornyát viasszal vagy parafinnal töltöttük ki. A 15/1 jelű előkísérleten kívül a víz elleni szigetelés valamennyi próbatestnél tökéletesnek bizonyult.

A mérőhíd potenciométer-csavaránál a legkisebb osztásköznek  $5 \cdot 10^{-6}$  értékű deformáció felelt meg. A kompenzáló ellenállást ugyancsak a betét belsejében, de egy vékony, egyik végén a horony talpfelületéhez forrasztott vaslemezkére ragasztottuk (l. [5]).

Mértük a betét deformációját az egész elem hossza mentén elhelyezett mérőellenállások segítségével a feszítőerő fokozatos ráengedésekor, valamint a beton egy-egy szakaszának a szabad vég felől való levésése után (l. [14]).

#### 332. A mérőellenállások kalibrálása

A mérőellenállásokkal végzett nyúlásmérés megfelelő pontossága ellenére célszerű volt a kalibrálás a mérőellenállások felragasztásának és a forrasztás esetleges hibáinak feltárására, de különösen a betét keresztmetszeti területe változásának figyelembevétele miatt. Ezért az összes mérőellenállásokkal felszerelt betétet betonozás előtt szakítógépbe helyeztük (l. [5]), s többszöri fokozatos terhelés és tehermentesítés alkalmával végzett mérés alapján állapítottuk meg, hogy az egyes mérési helyeken az egységnyi mért alakváltozásnak mekkora erő felel meg a betétben. E mérésekből határoztuk meg a betétek átlagos merevségét (l. I. táblázat). A 12/2 és 15/3 jelű kísérleti testek betétjét a beton teljes levésése után újra kalibráltuk. A mérés a bebetonozás előtti értékkel — elenyésző kivétellel — jól egyezett. (A kalibrálás alapján fogunk a betétben ható erő méréséről beszélni.)

#### 333. A feszítőerő mérése

A feszítőerő mérésére elektromos dinamométer-rúd szolgált. Az esetleges külpontosság hatását kiküszöböltük, s a dinamométert minden mérés előtt és után szakítógépben ellenőriztük.

### 334. A beton összenyomódásának mérése

A két előkísérletnél mechanikus tenzométerrel, ill. deforméterrel mértük a beton deformációját. E mérések eredménye alapján a nagy keresztmetszetű hengerek felületén való mérést nem tartottuk érdemesnek, s csak a 12/2 és 15/3 jelű próbatestek két oldalán helyeztünk el 6—6 mérési helyen 20 cm alaphossz mellett mechanikus tenzométereket (2., 5., 6. ábra), az 5/1 jelű test két oldalán 11 keresztmetszetben ragasztottunk fel 6 cm alaphosszú nyúlásmérő ellenállást (3., 7. ábra), s mértük a beton összenyomódását a feszítőerő fokozatos ráengedésekor.

### 335. A beton és betét relatív elmozdulásának mérése a tartó szabad végén.

A beton és betét relatív elmozdulását a szabad végnél a betéthez rögzített tartóba helyezett négy, ill. két indikátor-órával mértük a feszítőerő ráengedésének minden fokán. A betétnek a beton homloklapfelülete és a tartó felerősítési pontja közötti deformációját számítással vettük figyelembe.

## 4. A kísérleti eredmények és kiértékelésük

### 41. A mérési eredmények

A betétben ható erő csökkenését a feszítőerő ráengedésének különböző fokain a 12/1, 12/2, 15/2, 15/3 jelű kísérleti testeknél a 8., 14., 24. és 28. ábra tünteti fel. Azért ábráztuk az erő csökkenését, mert ez áttekinthetőbben tüntethető fel a betétben ható erőnél. Az ábrákon a kísérleti pontokat kiegyenlítő görbéket rajzoltuk meg. Magukat a pontokat a jobb áttekinthetőség érdekében nem minden görbénél tüntettük fel.

A beton deformációját a 12/2, 15/3 és 5/1 jelű elemeknél a 16., 29. és 33. ábrák szemléltetik.

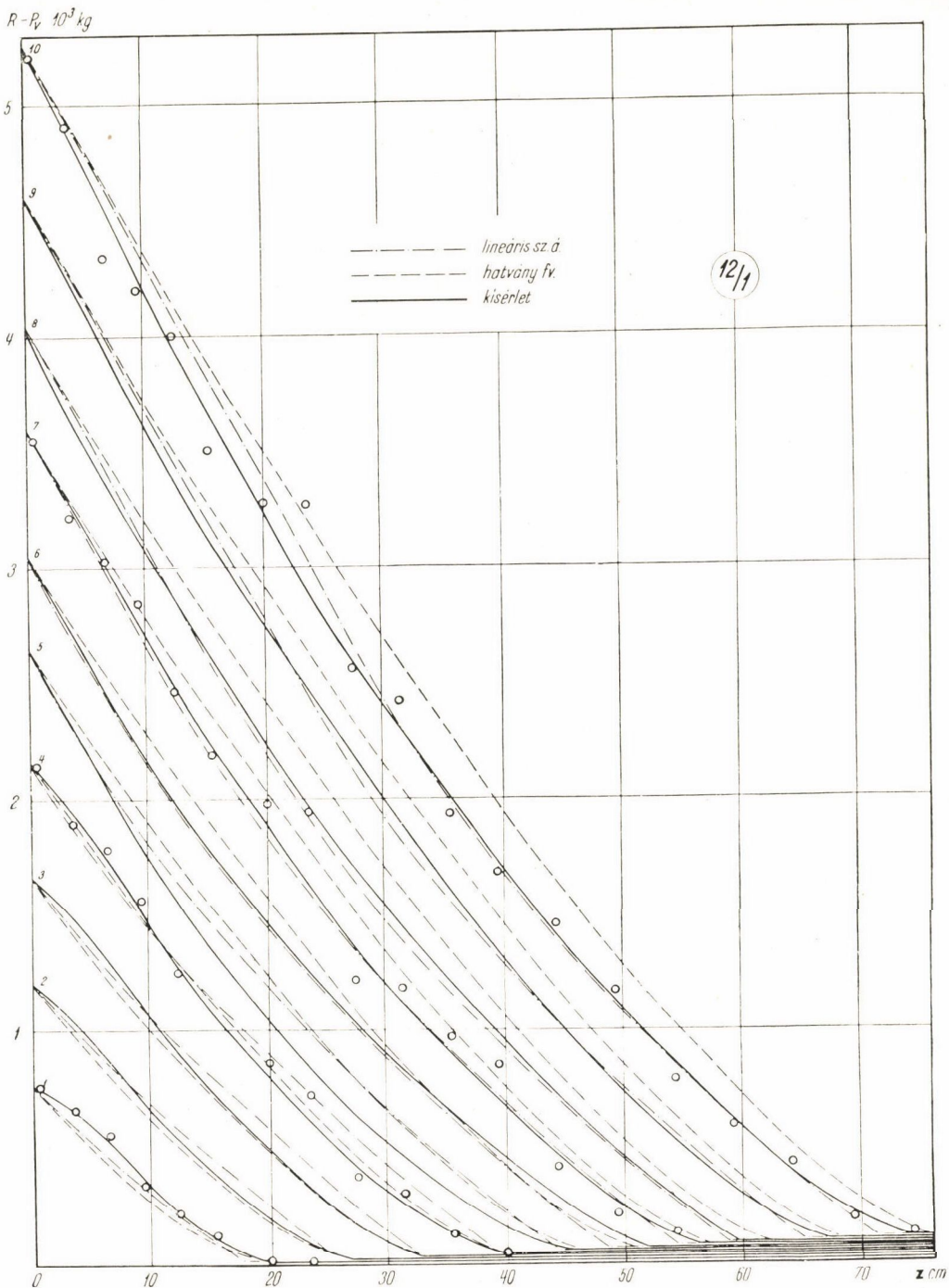
A beton és betét keresztmetszetei közötti relatív elmozdulás változását a feszített rúd mentén a 37. és 40. ábrában tüntettük fel az 5/Mh (l. [11] 11. ábra) és 5/Mr (l. [11] 10. ábra) próbatest esetére.

A tartó végén fellépő relatív elmozdulást valamennyi kísérleti test esetében a feszítőerő ráengedésének függvényében a 10., 17., 25., 30., 34., 38. és 41. ábrák teljes görbéi adják. A 12/1, 12/2, 15/2, 15/3 jelű testeknél összehasonlításképpen a betétben ható erő változásából is kiszámítottuk a tartó végén a relatív elmozdulást. Az így nyert és órával mért érték minden esetben nagyon jó egyezést mutatott. Példaképpen a 18. ábrán a 12/2 próbatest esetére mindkét úton nyert elmozdulásokat felraktuk (ugyanezen ábrán a relatív elmozdulás görbéjének a kísérleti pontok közé való fektetése is látható). Ez a különböző elvek alapján működő mérőműszerek pontosságát is igazolja.

A lehorgonyzási hosszt kísérleti eredményeinkből szemlélet alapján határoztuk meg. Az így nyert értékek a feszítőerő függvényében a 11., 19., 26., 31. és 35. ábrákon láthatók.

### 42. A tartó végén mért relatív elmozdulás alapján meghatározott kapcsolati függvényekkel számított összefüggések és mérési eredmények összehasonlítása

Valamennyi próbatest esetére a tartó végén mért relatív elmozdulás változásának ismeretében a kidolgozott elmélet [16] felhasználásával meghatá-



8. ábra. A betétben ható erő csökkenésének változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor a 12/1 jelű próbatestnél

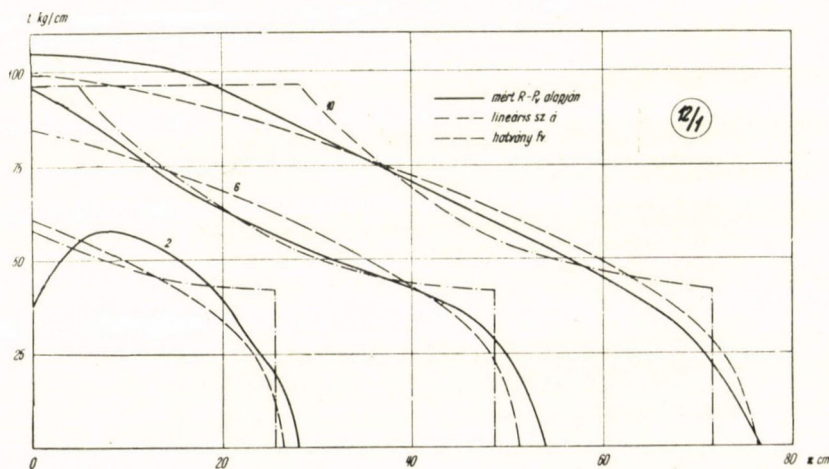
roztuk a hatványfüggvény és lineáris szakaszokból álló kapcsolati függvény paramétereit. (A paramétereket, mint anyagjellemzőket nem kívánjuk vizsgálni. Összehasonlításképpen azonban a kerület ( $k$ ) változásának figyelembevételével értéküket a III. táblázatban összefoglaljuk.) Az ezek által meghatározott *kapcsolati függvényeket* a 13., 23., 27., 32., 36., 39. és 42. ábra mutatja. Példaképpen a 12/2 jelű kísérlet esetében a paraméterek grafikus meghatáro-

A kísérleti test jele	A kapcsolati függvények paramétereit				
	A hatványfüggvény		Lin. szakaszokból álló kapcsolati fv.		
	$\tau k$ $10^{-9} \text{ cm}^3/\text{kg}$	$\beta$	$t_0/k$ $\text{kg}/\text{cm}^2$	$\lambda k$ $10^{-9} \text{ cm}^3/\text{kg}$	$q/k$ $\text{kg}/\text{cm}^2$
12/1	277,0	0,58	11,0	19,70	25,2
12/2	109,8	0,65	7,9	7,66	31,7
15/2	362,0	0,58	5,3	10,25	18,0
15/3	94,6	0,63	7,4	3,31	42,5
5/1	200,0	0,595	11,8	16,30	27,0
5/Mh	149,2	0,61	6,7	9,26	38,0
5/Mr	34,5	0,72	3,5	2,79	72,0

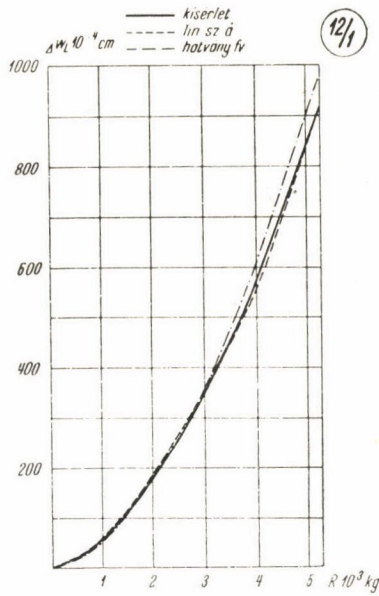
III. táblázat

zása hatványfüggvény alapján a 21., lineáris szakaszokból álló kapcsolati függvény szerint a 22. ábrán látható. (V. ö. [16] 16.—17. ábrájával.)

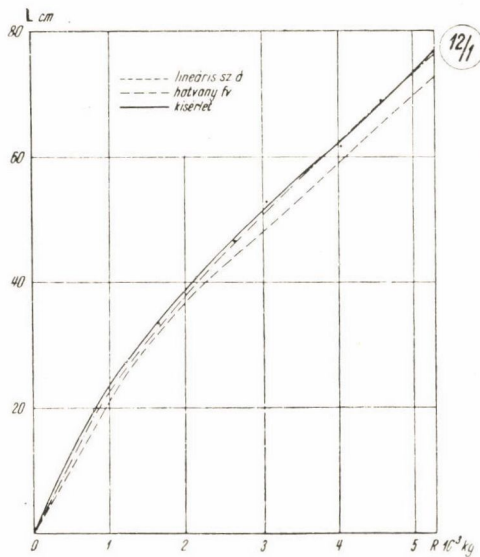
A 12/1 és 12/2 jelű próbatest betétjében végzett mérések alapján grafikus differenciálással, ill. integrálással meghatároztuk a kapcsolati erő és relatív elmozdulás összetartozó értékeit. Az így nyert *kapcsolati összefüggéseket* egy-egy feszítőerő és abszcissza, mint paraméter szerint a 12. és 20. ábrán mutatjuk be.



9. ábra. Az egységnyi hosszra eső kapcsolati erő változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor a 12/1 jelű próbatestnél

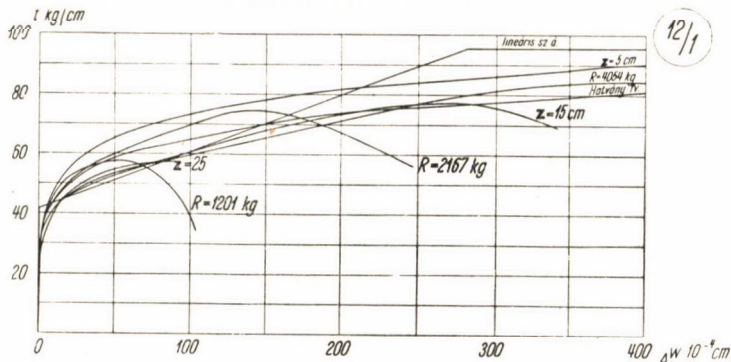


10. ábra. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 12/1 jelű próbatestnél



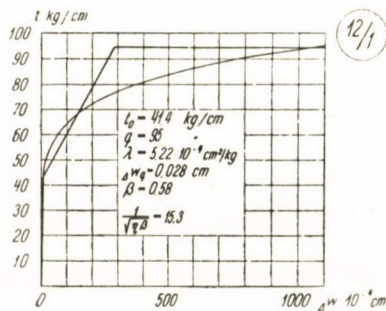
11. ábra. A lehorgonyzási hossz változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 12/1 jelű próbatestnél

Valamennyi mért mennyiséget ábrázoló görbéhez megrajzoltuk a kapott paraméterekkel, hatványfüggvénnyel és lineáris szakaszokból álló függvény-nyel számított összefüggéseket ábrázoló görbéket is. (Csupán a 12/2 és 15/3 jelű kísérletek betondeformációinál mellőztük a számított összefüggések görbéinek felrakását, amelyeket a betétben ható számított erő megfelelő léptékben való átrajzolása nyújt.)



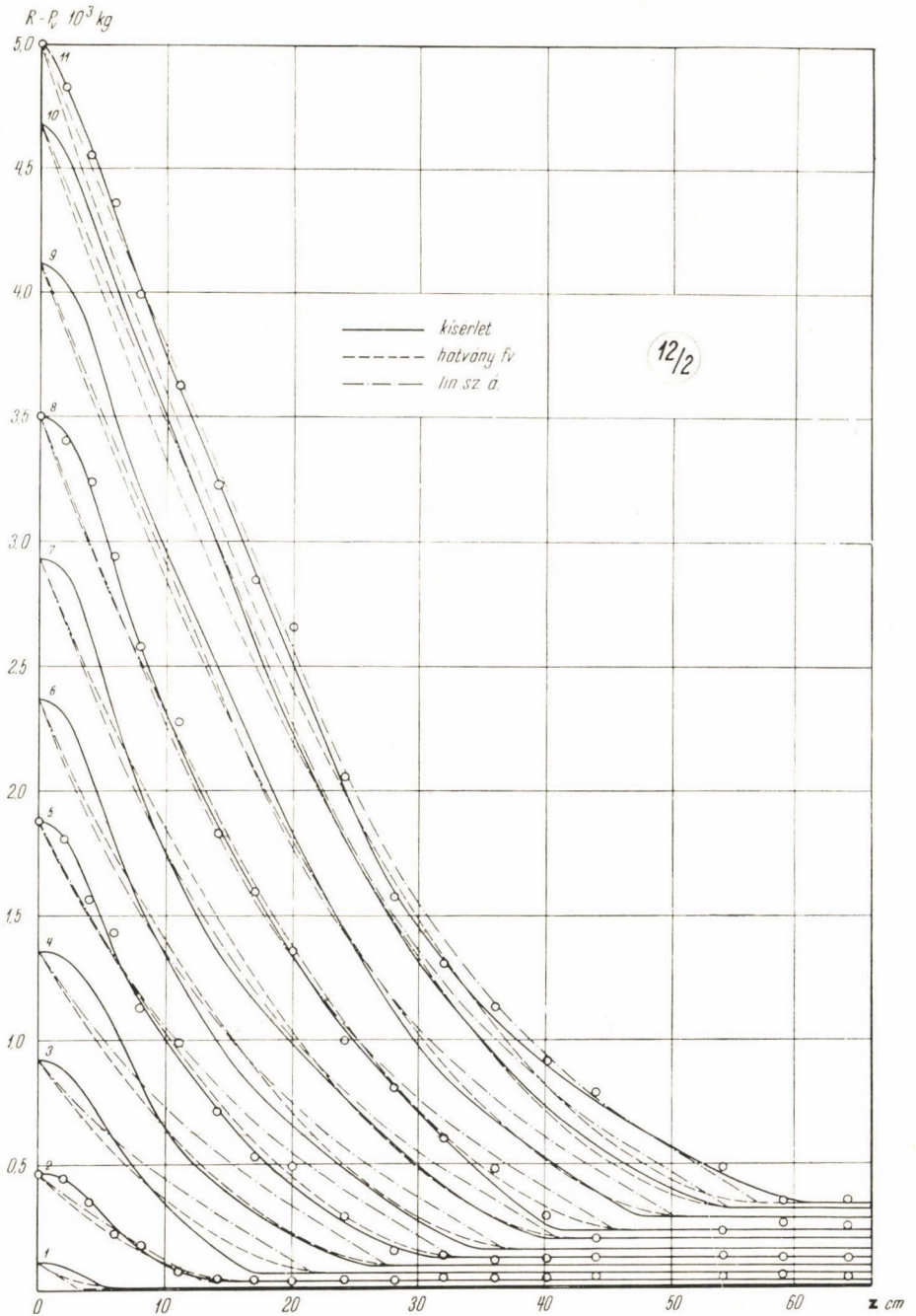
12. ábra. A betétben ható erő változásából grafikus integrálással és differenciálással meghatározott kapcsolati összefüggés a 12/1 jelű próbatestnél

A tartó végén mért relatív elmozdulás és a feszítőerő közötti összefüggés valamennyi próbatest esetében természetesen jól egyezik a két függvény szerinti görbével.



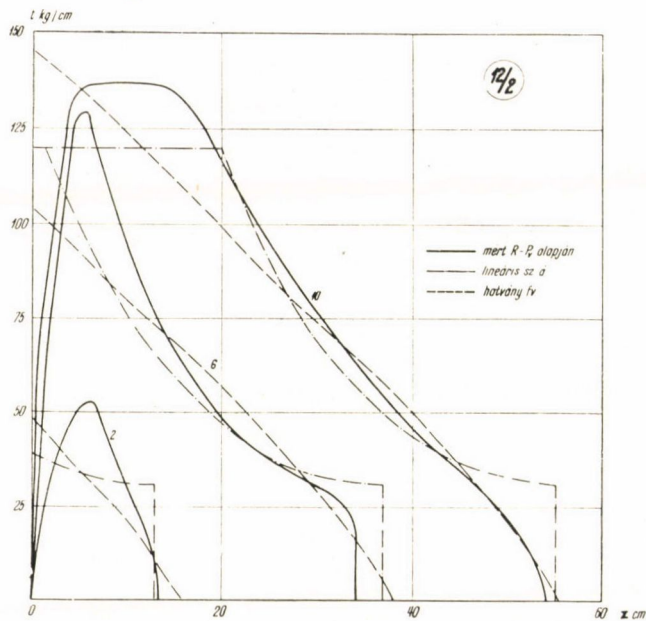
13. ábra. A hatványfüggvény és a lineáris szakaszokból álló kapcsolati függvény görbéje a 12/1 jelű próbatestnél

A betétben ható erő változása a különböző próbatestek és feszítőerő mellett más-más módon simul a számított görbékhez. Különösen a 12/2 és 15/3 jelű testeknél számottevő az az eltérés, amely a kapcsolati erőnek a tartó végén való csökkenésével jár. (Erre az esetre ad pontosabb összefüggéseket a [16] 33. pont szerinti kapcsolati függvény.) Lehetséges, hogy a 12/1 és 15/2 jelű kísérleti testeknél is jelentkezett volna hasonló eltérés, ha ugyanolyan sűrűn helyeztük volna el a mérőellenállásokat a tartó végén. — Valamennyi kísérleti testnél mutatkozott eltérés a görbék alakjában a feszítőerő ráengedésének kezdeti fokán. A kisebb feszítőerőknél a kísérleti görbék A. Bichara [1] viszony-

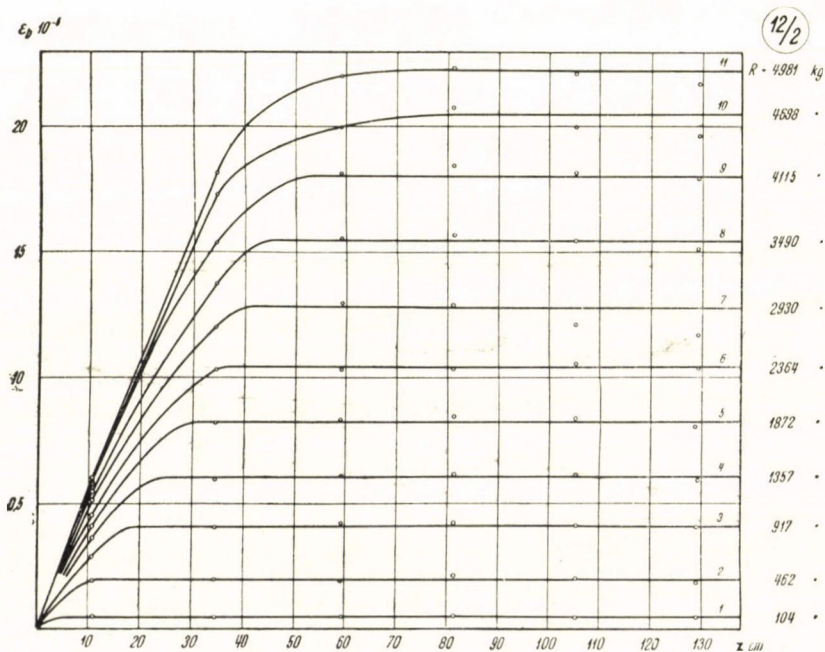


14. ábra. A betétben ható erő csökkenésének változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor a 12/2 jelű próbatestnél

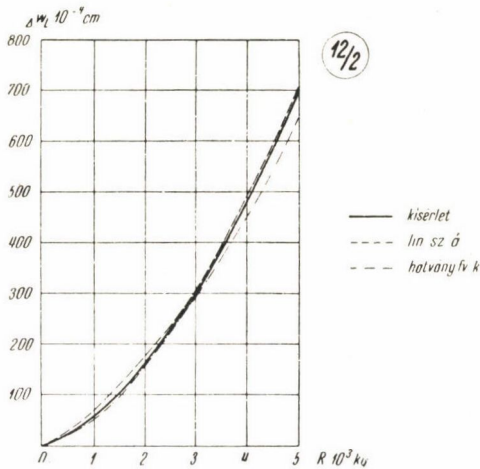




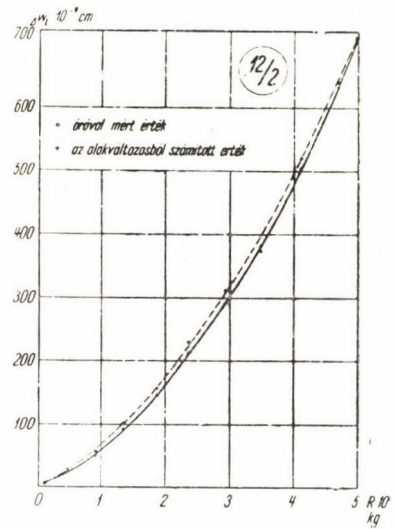
15. ábra. Az egységnyi hosszra eső kapcsolati erő változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor a 12/2 jelű próbatestnél.



16. ábra. A betonkeresztmetszet deformációjának változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor a 12/2 jelű próbatestnél

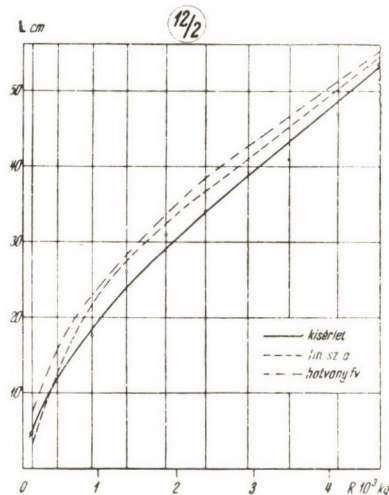


17. ábra. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 12/2 jelű próbatestnél

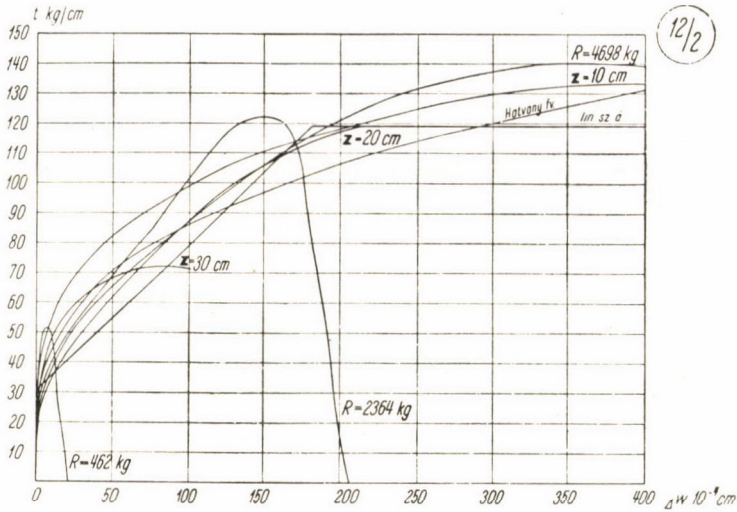


18. ábra. A tartó végén órával mért és a betét deformációjából meghatározott relatív elmozdulás a feszítőerő függvényében a 12/2 jelű próbatestnél

lag kis erővel húzott vasbetétjével végzett kísérleteinek eredményeire emlékeztetnek. A feszítőerő ráengedésének nagyobb fokán az a szakasz, amelyen a betétben ható erő változását ábrázoló görbe ellaposodik — a kapcsolati erő csökken — viszonylag kicsi. Ennek jobb szemléltetésére a 9. és 15. ábrán a 12/1 és 12/2 jelű elemek esetére megrajzoltuk a kapcsolati erő változását a feszítés ráengedésének néhány fokán.



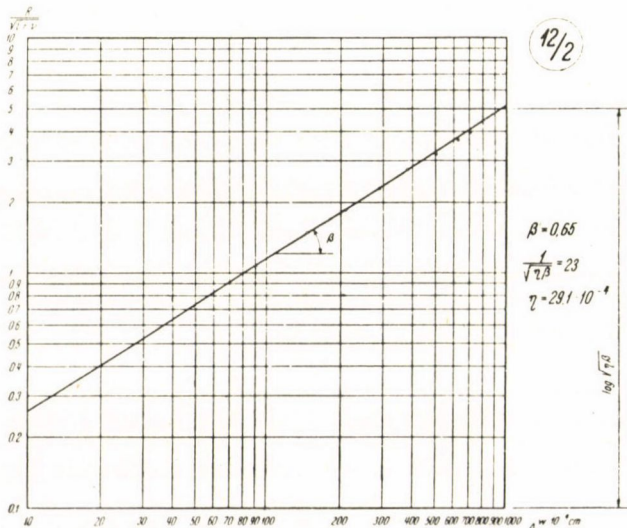
19. ábra. A lehorgonyzási hossz változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 12/2 jelű próbatestnél



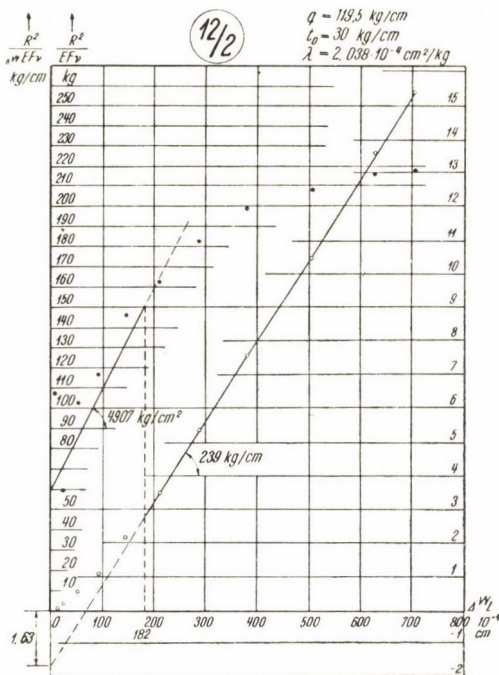
20. ábra. A betétben ható erő változásából grafikus integrálással és differenciálással meghatározott kapcsolati összefüggés a 12/2 jelű próbatestnél

A betétben ható erő változását feltüntető kísérleti görbék mindemellett a legtöbb esetben a két kapcsolati függvény szerinti egymáshoz közelálló görbéket jól követik, mint ezt az ábrák mutatják.

A *betondeformáció* számított görbéje az 5/1 jelű test esetén jól együtt halad a kísérleti eredménnyel. Lényegesebb eltérést az utolsó két görbe



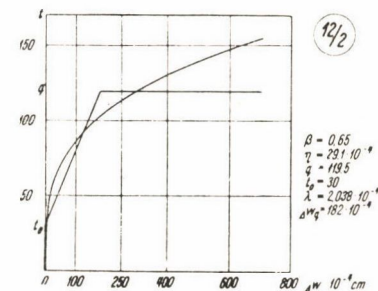
21. ábra. A hatványfüggvény paramétereinek meghatározása a tartó végén mért relatív elmozdulás alapján a 12/2 jelű próbatestnél



22. ábra. A lineáris szakaszból álló kapcsolati függvény paramétereinek meghatározása a tartó végén mért relatív elmozdulás alapján a 12/2 jelű próbatestnél

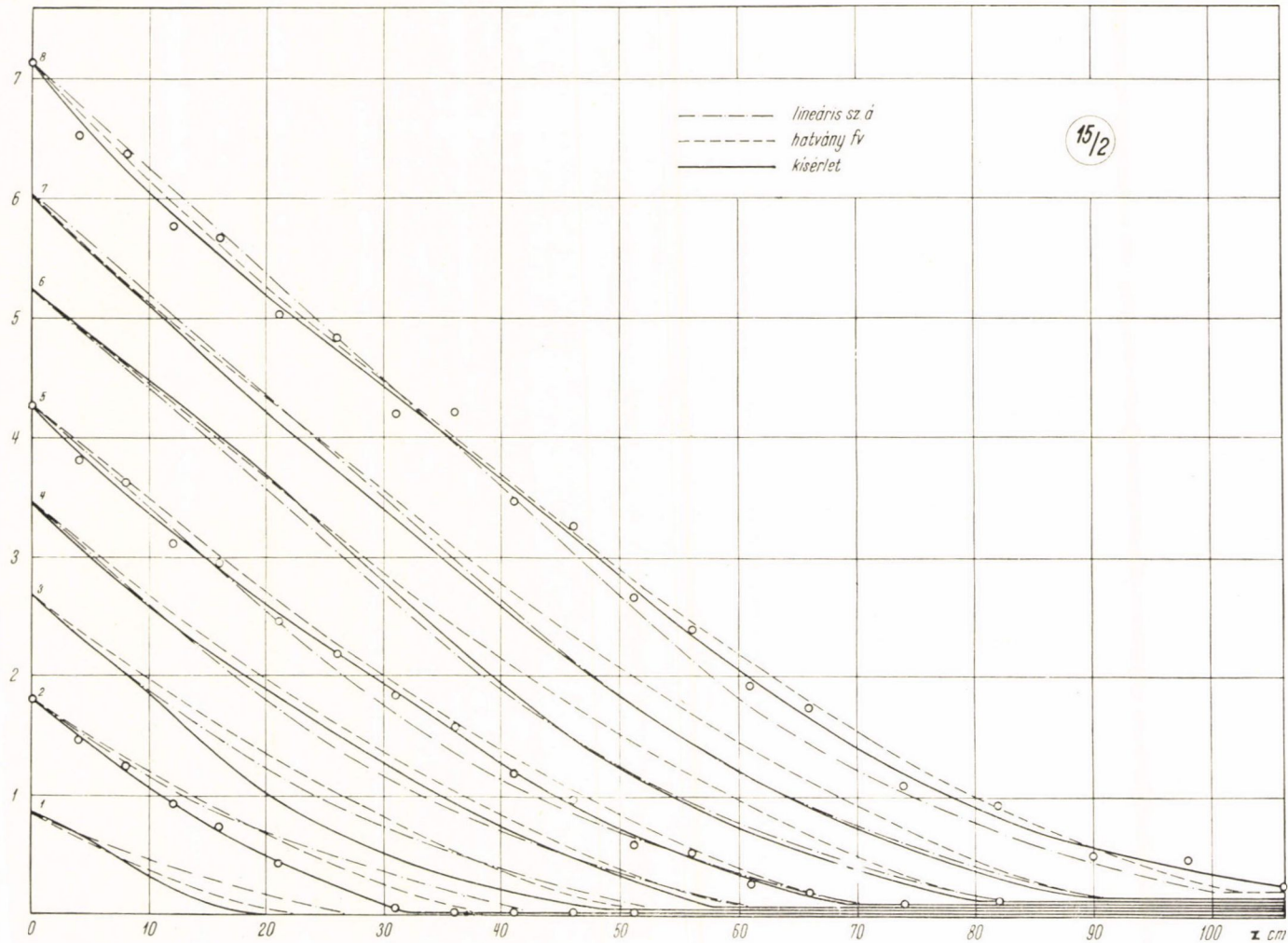
mutat. Ezenél a tartó végén a kapcsolati erő egy szakaszon zérusra csökkent (33. ábra).

A relatív elmozdulás változásának vizsgálatára végzett 5/Mr és 5/Mh jelű kísérleteknél a két kapcsolati függvényvel meghatározott görbepárok csaknem fedik egymást, s közel haladnak a Mohay Kálmán mérései eredményei alapján rajzolt görbékhez. (Megjegyzendő, hogy utóbbiak közül néhány meg nem magyarázható negatív elmozdulásokat, s más esetekben a megfogáshoz közeli szakaszon csaknem állandó értéket mutat.)



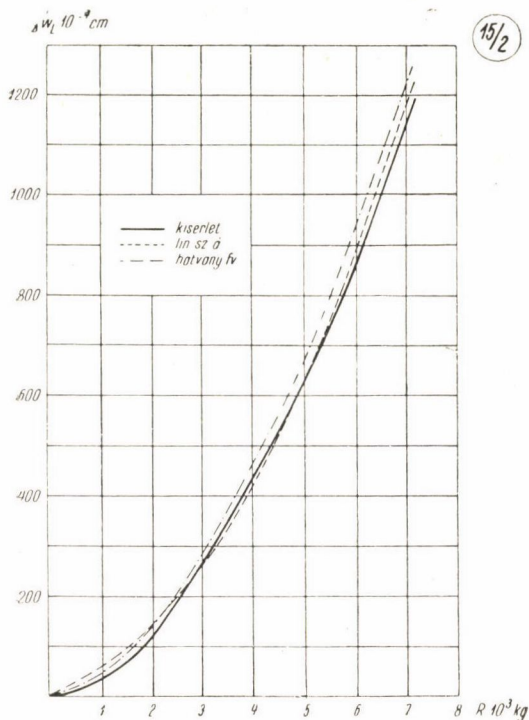
23. ábra. A hatványfüggvény és a lineáris szakaszból álló kapcsolati függvény görbéje a 12/2 jelű próbatestnél

$R - P_v \cdot 10^3 \text{ kg}$

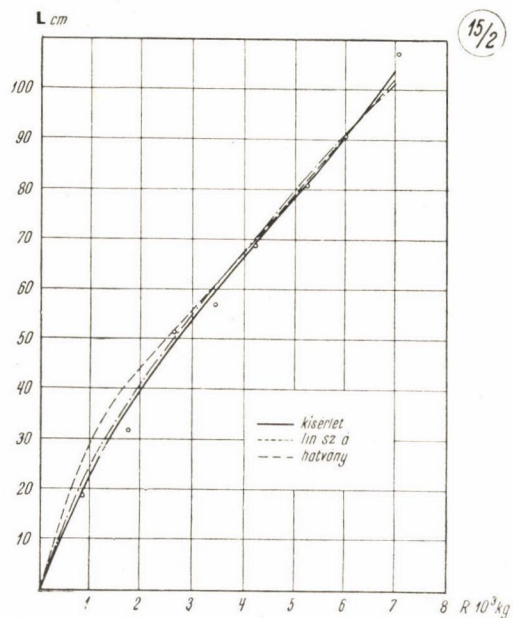


255

24. ábra. A betétben ható erő csökkenésének változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor  
a 15/2 jelű próbatestnél

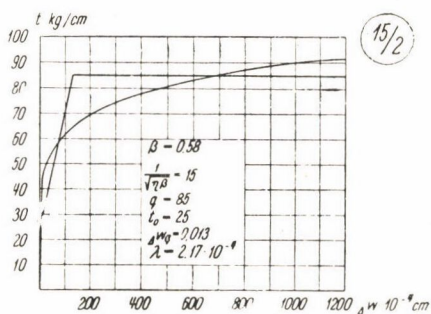


25. ábra. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 15/2 jelű próbatestnél



26. ábra. A lehorgonyzási hossz változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 15/2 jelű próbatestnél

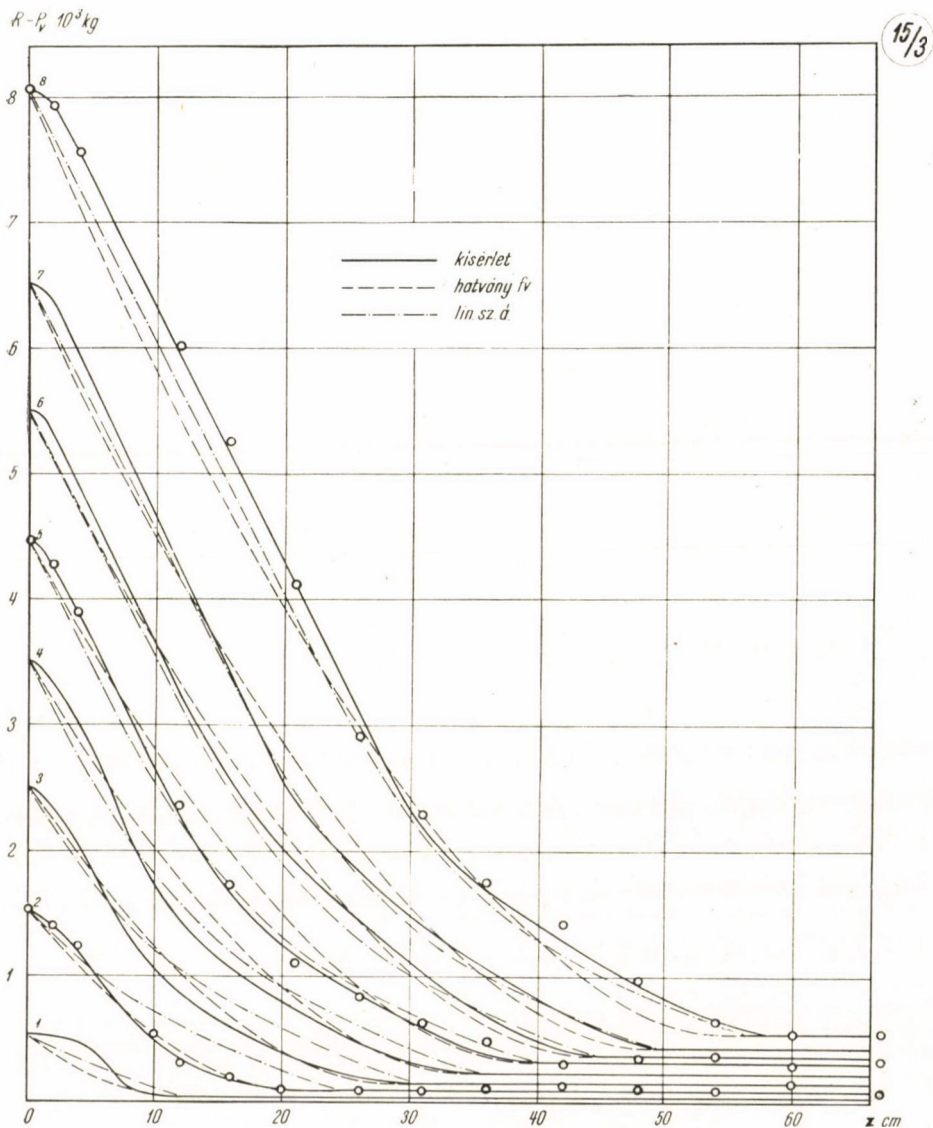
A szemléletből megállapított *lehorgonyzási hosszakkal* együtt a feszítőerő ráengedésének függvényében felraktuk a két kapcsolati függvényből számított görbéket is. (Az 5/Mh és 5/Mr jelű testeknél a lehorgonyzási hossz határozott



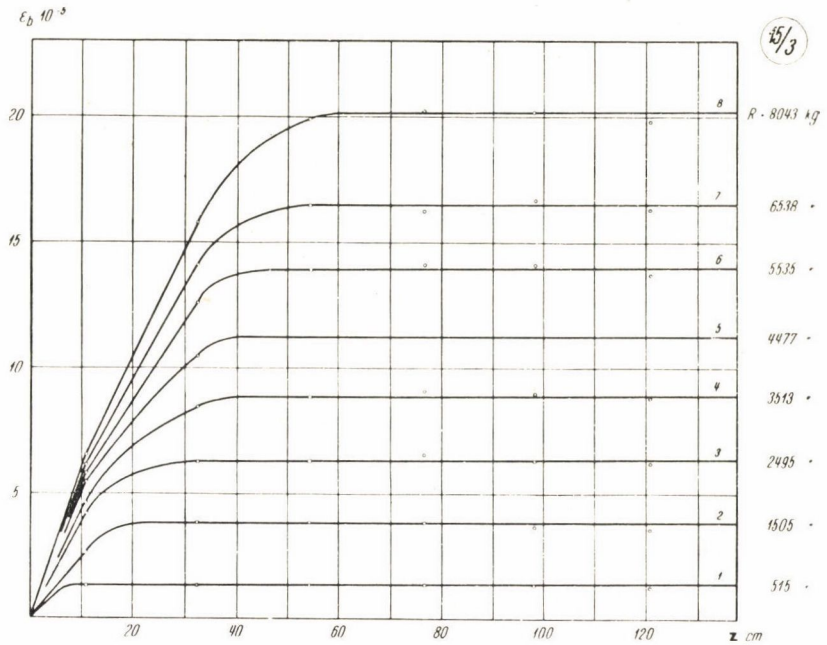
27. ábra. A hatványfüggvény és a lineáris szakaszokból álló kapcsolati függvény görbéje a 15/2 jelű próbatestnél

kijelölése a mért negatív és hosszú szakaszon elhúzódó kismértékű elmozdulás miatt egyértelműen nem volt lehetséges, egyébként a számított értékek a feszítőerő teljes ráengedésének esetére *Mohay Kálmán* által kiolvasott értékeknél nagyobbra adódtak.)

A szemléletből és a kapcsolati függvényekkel meghatározott lehorgonyzási hossz értékében lényegesebb eltérés az 5/1 jelű kísérletnél mutatkozott.



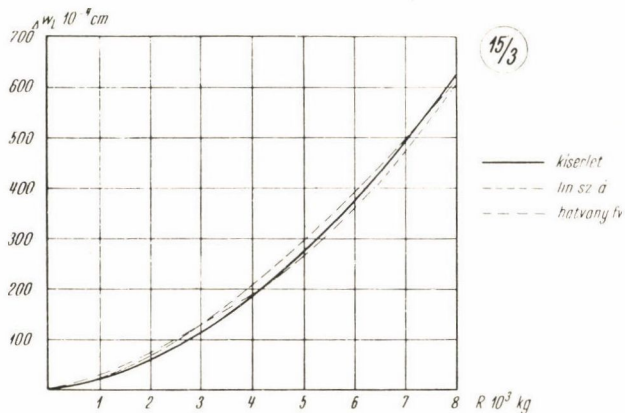
28. ábra. A betétben ható erő csökkenésének változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor a 15/3 jelű próbatestnél



29. ábra. A betonkeresztmetszet deformációjának változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor a 15/3 jelű próbatestnél

### 5. A kísérleti eredmények összefoglalása

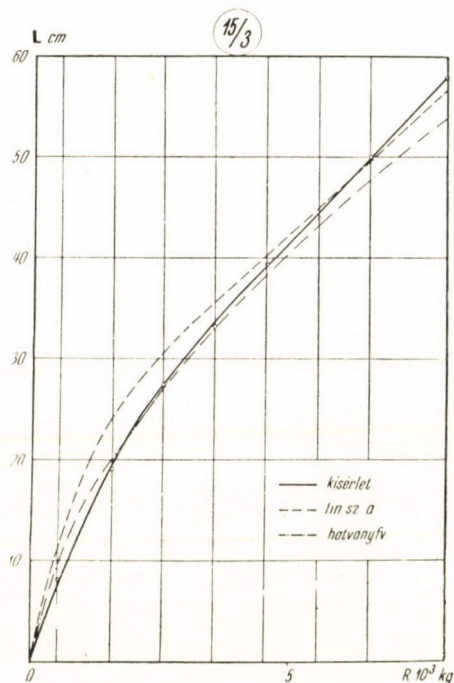
A kísérletek célja az volt, hogy a korszerű mérési technika által nyújtott lehetőségeket kihasználva közvetlen kísérleti adatokat nyerjünk a lehorgony-



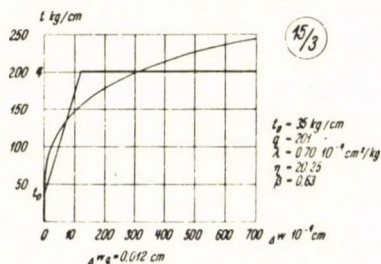
30. ábra. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 15/3 jelű próbatestnél



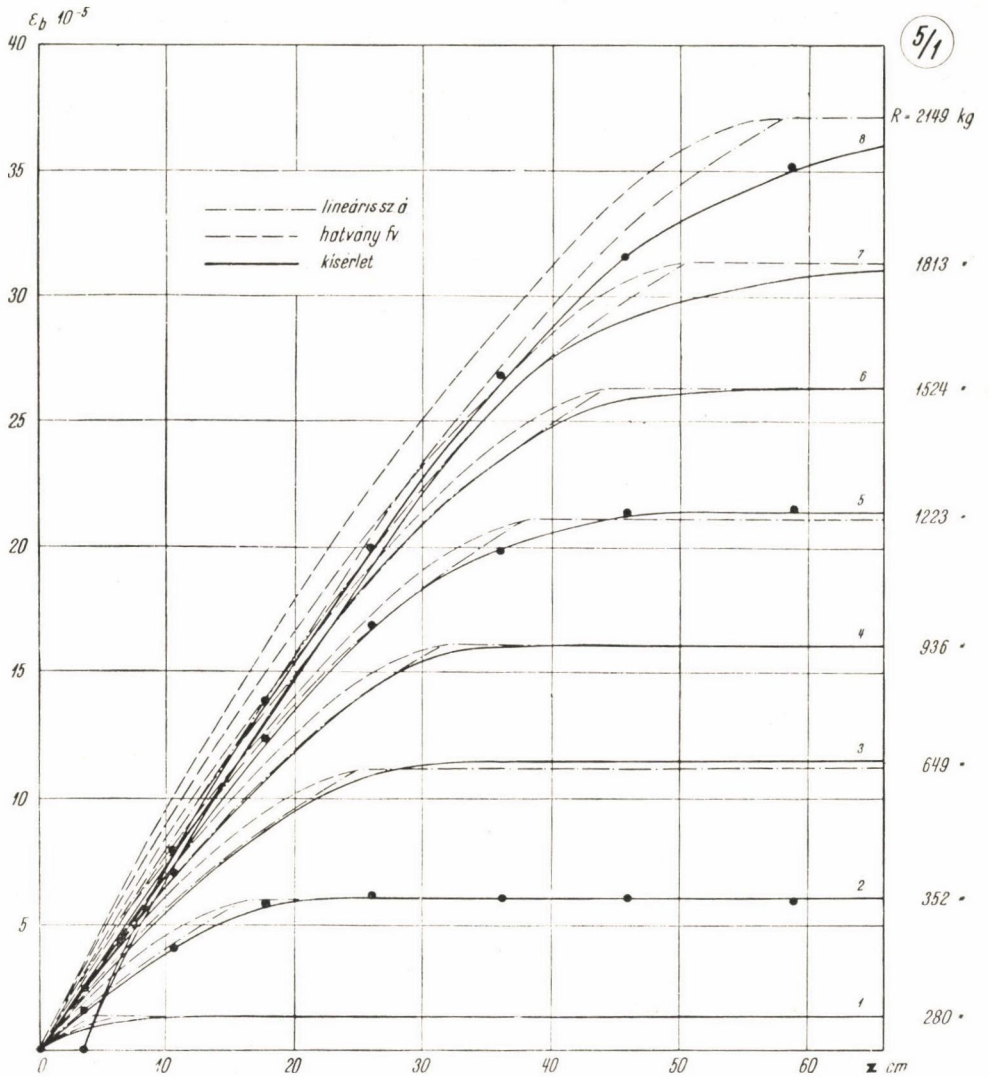
zódás jelenségére. A kísérleteknek az eddig hasonló céllal végzett méréseknél több szempontból pontosabb metodikája módot nyújtott arra, hogy elméleti úton levezetett összefüggéseink [16] helyességét ellenőrizzük, s kimutassuk, hogy tömeges előregyártással kapcsolatban is elvégezhető egyszerű vizsgálatból (a tartó végén fellépő relatív elmozdulás változásának méréséből), gyakor-



31. ábra. A lehorgonyzási hossz változása a feszítőerő ráengedésének függvényében a 15/3 jelű próbatestnél



32. ábra. A hatványfüggvény és a lineáris szakaszból álló kapcsolati függvény görbéje a 15/3 jelű próbatestnél



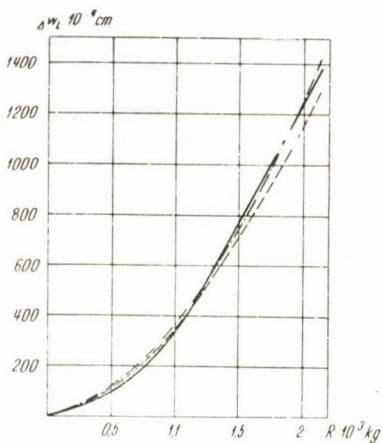
33. ábra. A betonkeresztmetszetre ható erő változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor az 5/1 jelű próbatestnél

lati igényeket kielégítő pontossággal tudjuk a lehorgonyzási hosszt, a maximális kapcsolati erőt és más jellemző mennyiségeket meghatározni.

A végzett kísérleteknek anyagvizsgálati feladataik nem voltak, megmutatták azonban azt a módszert, amelynek segítségével a beton és betét közötti kapcsolat számszerű jellemzői (a kapcsolati függvény:  $t = \psi(\Delta w)$  paraméterei) meghatározhatók. A kapott paraméter-értékek így természetesen nem általánosíthatók. Éppen azt mutatták a kísérletek, hogy a paramétereket minden egyes konkrét esetre (anyagminőségpárra, gyártmánysorozatra) külön

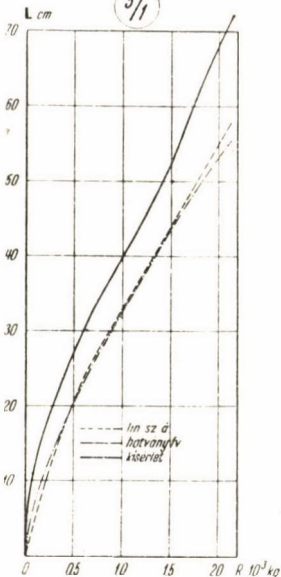
5/1

--- *ln sz á*  
 - - - *hatv fv*  
 — *kísérlet*



34. ábra. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás változása a feszítőerő ráengedésének függvényében az 5/1 jelű próbatestnél

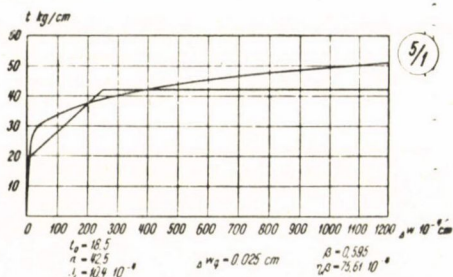
5/1



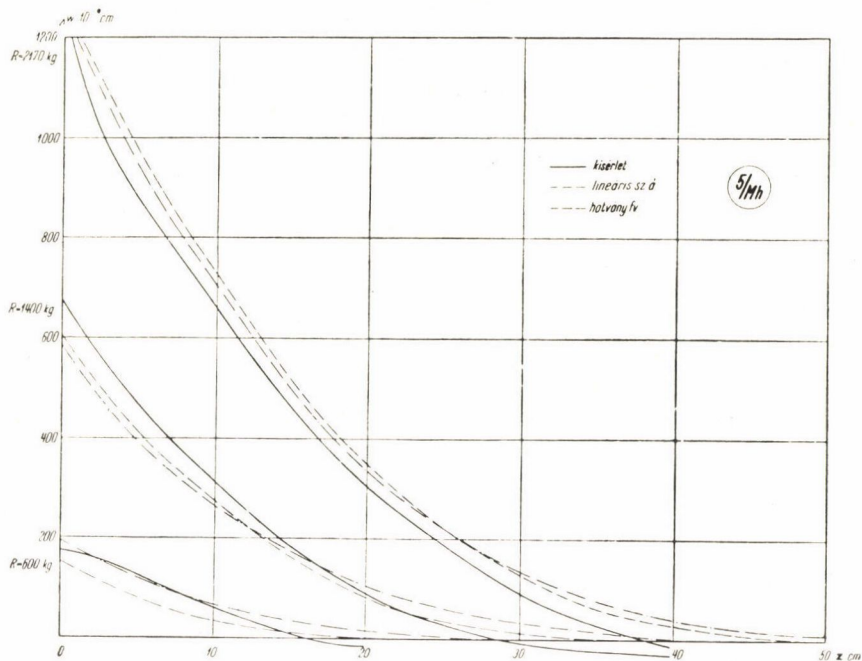
35. ábra. A lehorgonyzási hossz változása a feszítőerő ráengedésének függvényében az 5/1 jelű próbatestnél

meg kell határoznunk, minthogy a különböző jellemző mennyiségekre e paraméterek hatása nagyobb, mint a kapcsolati függvények — egyébként helyes — matematikai formája. A módszer lehetővé teszi, hogy az üzemekben sorozatgyártásra kerülő termékeknel a kapcsolati függvény paramétereit rendszeresen megállapítsák, különböző minőségű betonok és acélok jellemzőit összehasonlítsák, úgyhogy a nyert eredmények feszített betonelemek tervezésénél is hasznosíthatók legyenek.

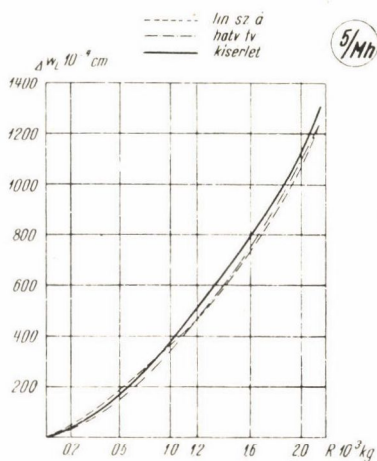
\*



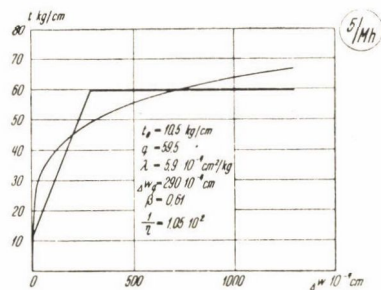
36. ábra. A hatványfüggvény és a lineáris szakaszból álló kapcsolati függvény görbéje az 5/1 jelű próbatestnél



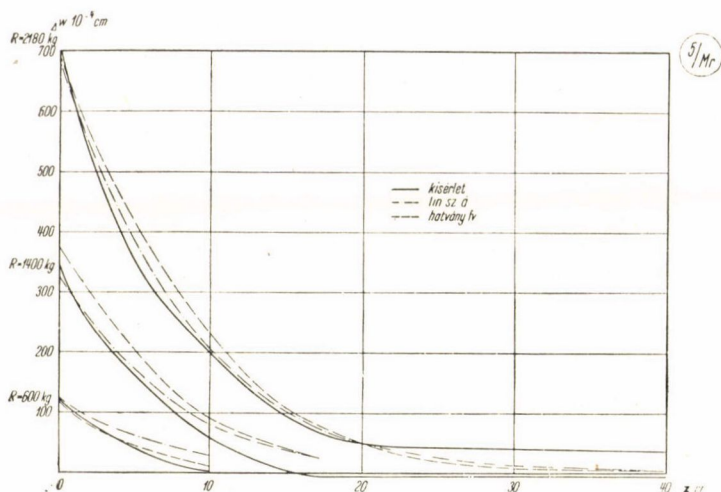
37. ábra. A beton és betétkeresztmetszetek közötti relatív elmozdulás változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor az 5/Mh jelű próbatestnél (Mérési adatok [11] szerint)



38. ábra. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás változása a feszítőerő ráengedésének függvényében az 5/Mh jelű próbatestnél



39. ábra. A hatványfüggvény és a lineáris szakaszokból álló kapcsolati függvény görbéje az 5/Mh jelű próbatestnél

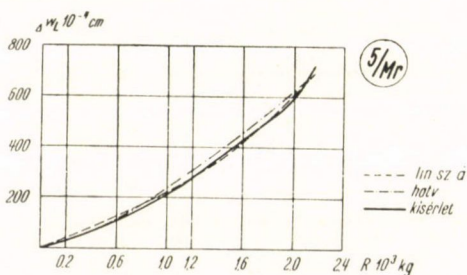


40. ábra. A beton- és betétkeresztmetszetek közötti relatív elmozdulás változása a tartó hossza mentén a feszítőerő fokozatos ráengedésekor az 5/Mr jelű próbatestnél (Mérési adatok [11] szerint)

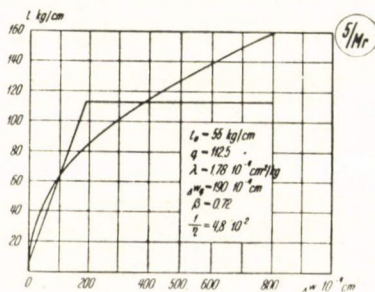
Eme általános elvi eredményeken kívül az alábbi tapasztalatokat szűrtük le, amelyek a lehorgonyzódás jelenségére jellemzők:

a) A lehorgonyzódásra jellemző mennyiségek legjobban a betétben ható erőnek a tartó hossza mentén való változásából határozhatók meg különböző feszítőerő-értékek mellett. Maga ez az erő, amely a betonra ható erővel azonos nagyságú, a legjellemzőbb a feszítés mértékére. Ennek ismeretében a relatív elmozdulás grafikus integrálással nagy pontossággal meghatározható, egy-szeri differenciálás adja a kapcsolati erőt.

b) A lehorgonyzási hossz a betétben ható erő változásának ismeretében szemlélettel jól meghatározható. A kísérletek azt mutatták, hogy a lehorgonyzódás a tartó elegendő hossza esetén véges szakaszon bekövetkezik. E hossz annál nagyobb, minél nagyobb a feszítőerő. Azt a tapasztalatot, hogy a lehorgonyzódás véges szakaszon bekövetkezik, a vésési kísérletek [14] megerősítették.



41. ábra. A tartó végén fellépő relatív elmozdulás változása a feszítőerő ráengedésének függvényében az 5/Mr jelű próbatestnél



42. ábra. A hatványfüggvény és a lineáris szakaszokból álló kapcsolati függvény görbéje az 5/Mr jelű próbatestnél

c) A betétben ható erő változása alapján meghatározott kapcsolati összefüggés jellege megfelel a véges lehorgonyzási hossz létezéséhez szükséges feltételnek (l. [14]), valamint a kapcsolati összefüggés jellegének meghatározására végzett közvetlen (kihúzó-) kísérletek eredményeinek. A feszítőerő ráengedése közben tett megfigyelések is e körülmény mellett szólnak (l. [15]).

d) A betétben ható erő változását ábrázoló görbék alakja a különböző kísérleti testeknél és a feszítőerő ráengedésének különböző fokán némileg változó. E görbékből grafikus differenciálással nyert kapcsolati erő változása emiatt nagyon sokféle képet mutat. — A grafikus integrálással és differenciálással meghatározott kapcsolati összefüggések ugyancsak eltérnek bizonyos mértékben, de bennük az egységes tendencia felfedezhető.

e) Ahol a kapcsolati erőnek a tartó vége felé mutató csökkenését észleltük, megállapíthattuk, hogy az a szakasz, amelyen e csökkenés bekövetkezik, a feszítőerő növekedésével rövidül, összhangban a [16] 33. pontban kifejtett elmélettel.

f) A beton deformációjának mérésével nyert eredmények a betét alakváltozásával (a betétben ható erővel) összhangban vannak, de kevésbé alkalmasak a lehorgonyzódás jelenségének tanulmányozására.

g) Míg a betétben ható erő, a beton felületén mért deformáció s kissé a beton és betét közötti relatív elmozdulás mérési eredményeinek szabályosságára véletlen körülmények kedvezőtlenül hatnak, a tartó végén fellépő relatív elmozdulás a tapasztalat szerint minden esetben szabályos jelleget mutat. (Ez adatokban, mint tulajdonképpeni integrálértékekben, az egyes helyeken fellépő véletlen körülmények kevésbé éreztetik hatásukat.) A mérés egyszerűsége mellett ez is alátámasztja a görbe jó használhatóságát a lehorgonyzódásra jellemző mennyiségek meghatározásakor.

h) A maximális relatív elmozdulás és a feszítőerő közötti összefüggésből a kapcsolati függvények paraméterei meghatározhatók. A kapcsolati függvények ismeretében valamennyi mért mennyiség változását előállítottuk. Az azonos koordináta-rendszerben felrakott kísérleti és számított összefüggések görbéi azt mutatják, hogy az eredmények jól egyeznek. Nagyon közel járnak egymáshoz a két alkalmazott kapcsolati függvény szerinti görbék. Ez arra mutat, hogy a különböző kapcsolati függvényekkel jól leírható a jelenség, ha a függvények paramétereit az adott kísérletből vett adatok segítségével számítjuk ki.

## IRODALOM

- [1.] BICHARA, A.: (Note écrite de): Adhérence des barres d'acier dans le béton. Annales de l'Institut du Bâtiment et des Travaux Publics. 1951. 179.
- [2.] EVANS, E. H.: Research and Development in Prestressing. Journal of the Institution of Civil Engineers. 1951. 2.
- [3.] GAEDE, K.—WALLOSCHKE, E.: Bestimmung der Übertragungslänge bei Spannbeton-Fertigträgern. Beton- und Stahlbetonbau. 1953. 10.
- [4.] ГАРАИ, Т.: "Исследование анкеровки арматуры в бетоне". Исследование прочности элементов железобетонных конструкций. Выпуск 5 НИИБЖ. Госстройиздат. Москва 1959.
- [5.] GARAI T.—TASSI G.: Elektromos nyúlásmérés alkalmazásának tapasztalatai vasbetonszerkezetek kísérleti vizsgálatánál. Mérés és Automatika. 1954. 4.

- [6.] GLANVILLE, W. H.: Studies in Reinforced Concrete. I. Bond Resistance. Building Research Technical Paper. London, 1930. 10.
- [7.] GUYON, Y.: Béton précontraint. Étude théorique et expérimentale. Eyrolles, Paris, 1951.
- [8.] JANNEY, J. R.: Nature of Bond in Pretensioned Prestressed Concrete. Journal of the American Concrete Institute. 1954.
- [9.] KUUSKOSKI, V.: Über die Haftung zwischen Beton und Stahl. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos. Helsinki, 1950.
- [10.] MAINS, R. M.: Measurement of the Distribution of Tension and Bond Stresses along Reinforcing Bars. Journal of the American Concrete Institute. 1951.
- [11.] MOHAY, K.: Determination of the Anchoring-Length of High-Tensile Wires. Scientific Publications of the Technical University of Architecture, Building, Civil and Transport Engineering. Extracts from the Scientific Works of the Chair No. II of Bridge Construction. Budapest, 1957.
- [12.] РАТС, Э. Г., Холмянский М. М., Кольнер, В. М.: „Передача арматурой предварительных напряжений на бетон.“ Бетон и железобетон. Москва 1958. 1.
- [13.] ROŠ, M.: (szerkesztésében), Vorgespannter Beton. EMPA Bericht 155. Zürich, 1946.
- [14.] TASSI, G.: The Possibility of Anchorage in Finite Length in Pretensioned Prestressed Concrete. Scientific Publications of the Technical University of Architecture, Building, Civil and Transport Engineering. Extracts from the Scientific Works of the Chair No. II of Bridge Construction. Budapest, 1957.
- [15.] TASSI G.: A lehorgonyzódás jelensége feszített betonban. Kandidátusi értekezés. Budapest, 1956.
- [16.] TASSI G.: A feszített betét betonban való lehorgonyzódásának elmélete. Építés-és Közlekedéstudományi közlemények. Budapest, 1959. 1—2.
- [17.] WILKINS, J. R.: Experimental Method for Research in Reinforced Concrete. Engineering. London, 1951.