

ÚJABB KUTATÁSOK A SÍK- ÉS CÖLÖPALAPOK TEHERBÍRÁSÁRÓL*

Bevezetés

A legutóbbi évtizedben az alapozás területén olyan számottevő előrehaladás történt, hogy egyszerű talaj- és terhelési körülmények mellett a sík- és cölöpalapok számítása ma már alig ütközik nehézségbe. A gyakorlatban azonban gyakran fordulnak elő különleges esetek, amelyekre vonatkozólag ebben az előadásban egy rövid összefoglalást akarunk adni elsősorban a törőszilárdságra vonatkozó újabb kutatási eredményeink tükrében. Amellett megkíséreljük, hogy az elért előrehaladás áttekintése mellett azon mérnökök részére, akik nem közvetlen talajmechanikai specialisták, a gyakorlati kiértékelési lehetőségre is rámutassunk.

Síkalapok

A vízszintes síkalapok centrikus és függőleges terhelés alatti talajtöréssel szembeni teherbírását általánosságban megfelelő pontossággal lehet a csúszólapos eljárással számítani. Itt a Terzaghi [19] által felállított egyenletet használják, amely szerint a törési talpfeszültség értéke

$$p = P(ab = cV_c + \gamma' tV_b + \gamma'' bV_g)2 \quad (1)$$

ahol a az alap hossza, b az alap szélessége, t az alapozási sík mélysége, c a talaj kohéziója, γ' és γ'' a hatékony talaj térfogatsúlyok az alapsík fölött, illetőleg alatt, V_b , V_c és V_g pedig teherbírési tényezők, amelyek a ϱ belső súrlódási szögtől és az alap alakjától függenek. Ezek az elméleti teherbírési tényezők sávalapok részére a következők:

$$V_b = e^{\pi \cdot \tan \varrho} \cdot \operatorname{tg}^2(45^\circ + \varrho/2) \quad (2a)$$

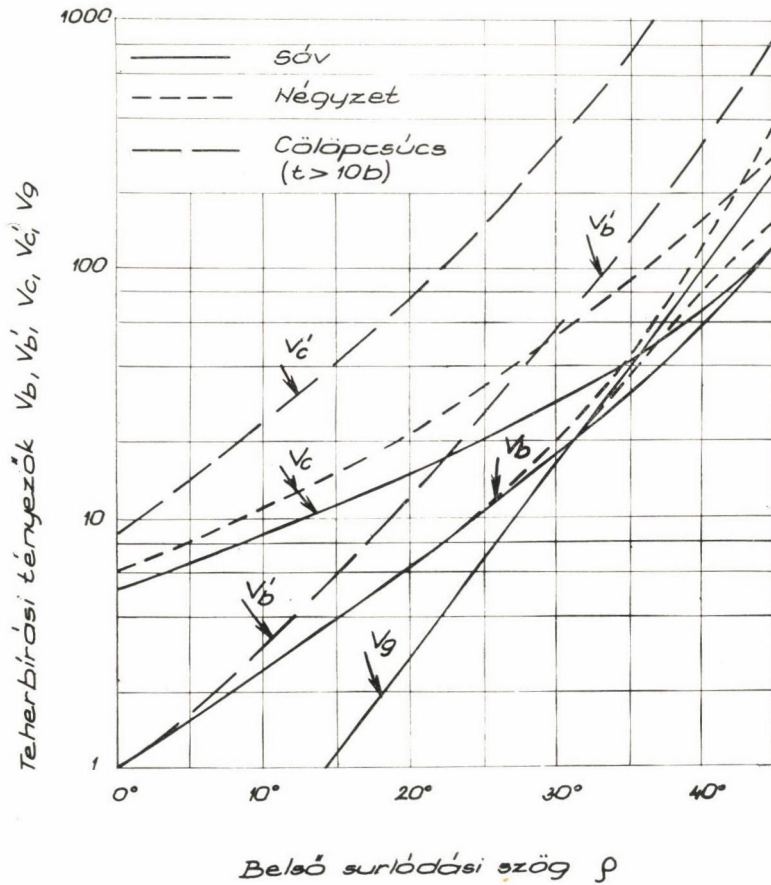
$$V_c = (V_b - 1) \cdot \cotg \varrho \quad (2b)$$

és
$$V_g = (V_b - 1) \cdot \operatorname{tg}(1.4 \varrho) \quad (2c)$$

részben elméleti, részben kísérleti értékeik kör és négyzet alaprajzú alaptestekre nézve az 1. sz. ábrán vannak feltüntetve [5, 8]. Itt meg kell jegyezni, hogy nagy súrlódási szögeknél a köralaprajzú alapa általánosan kísérleti V_g együttműködési értéke kisebb, mint a sávalapra vonatkozó, ugyanakkor amikor elméletileg ennek az ellenkezője volna várható [15]. Ez a különbség úgy látszik, hogy legnagyobb mértékben a sík feszültségi állapotban fellépő középső főfeszültség be-

* Prof. G. G. Meyerhof a Nova Scotia-i Egyetem Mérnöki Fakultásának Dékánja, Halifax-Canada. Előadása a Magyar Tudományos Akadémián 1964. júl. 8-án hangzott el.

folyásának tulajdonítható, amely a sávalapok esetében mért értékeket nagy súrlódási szögeknél lényegesen az elméleti törőszilárdság fölé emeli; ebben az esetben sík terhelési állapot mellett kellene tulajdonképpen nyomókísérleteket végrehajtani, a megfelelő súrlódási szög meghatározása céljából, a jó egyezés érdekében. Azonkívül ismeretes, hogy az igen tömör homokon végzendő



1. ábra. Sík- és cölöpalapok teherbírasi tényezői

közvetlen nyírókísérletek is nagyobb súrlódási szög értékeket szolgáltatnak, mint a triaxiális kísérletek és ezek figyelembevételével fognak a terhelési kísérletek az elmélettel jó egyezést mutatni [4].

Noha az [1] alatti egyszerű egyenlet az alapozási sík fölötti talaj nyírószilárdságát elhanyagolja, a teherbírás megfelelő növekedését mélységi tényezők alkalmazásával lehet számításba venni, amelyekkel az egyenlet egyes tagjait megszorozzuk [1, 17]. Gyakorlati célokra a következő kifejezések — amelyek a közelítő törési képekkel és igen sok kísérleti eredménnyel összhangban állnak — az alaptest szélességénél kisebb mélységekre nézve kielégítő eredményt adnak:

Alapozási mélységi tényező $d_b = 1$ ($\varrho = 0$)

és
$$d_b = 1 + 0,2t/b \quad (\varrho > 10^\circ) \quad (3a)$$

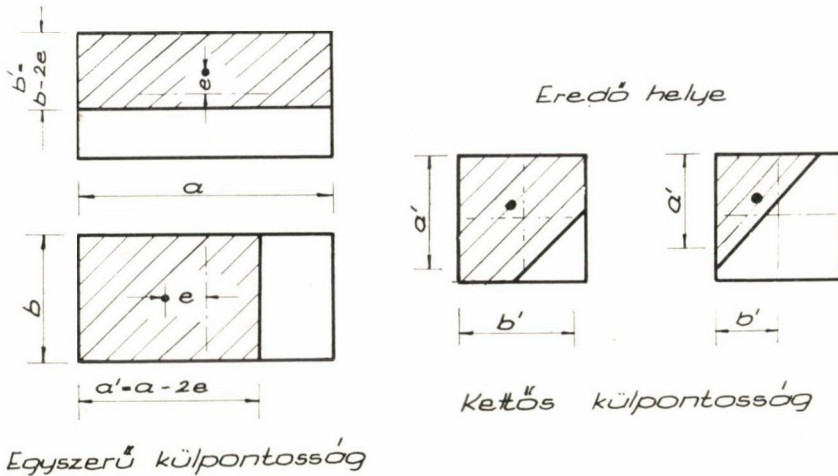
Kohéziós szilárdsági tényező $d_c = 1 + 0,2t/b$ ($\varrho = 0$)

és
$$d_c = 1 + 0,4t/b \quad (\varrho > 10^\circ) \quad (3b)$$

Alapozás szélességi tényező

$$d_g = 1 + 0,6t/b \quad (\varrho > 10^\circ) \quad (3c)$$

Az alapozás növekvő mértékével a mélységi tényezők egy határértékhez tartanak, amelyet a cölöpök csúcsellenállásának számításánál lehet felhasználni (l. lejjebb).



2. ábra. Külpontos terheléssel szemben működő hatékony alapfelületek

Keretszerkezetek, támfalak, hidak és hasonló szerkezetek alapozásai általában külpontos és ferde terhelés hatása alatt állanak és ezek a terhelési esetek az alap teherbírását lényegesen csökkenthetik. Az R eredőerőnek az alapsíkon való külpontossága figyelembevétele céljából a Szerző azt javasolta [6, 7], hogy a nyomott szélőtől számított kétszeres erőtávolságot vegyük fel hatékony szélességnek, vagyis

$$b' = b - 2e \quad (4)$$

összefüggéssel számoljunk a teherbírási egyenletben a teljes alapszélesség helyett. Alapos modellkísérletek kimutatták, hogy ez az eljárás a biztonság javára szolgál. A kísérletileg megállapított szélesség a fenti hatékony szélesség és a feszültségi trapéz (zárt hézag), vagy a feszültségi háromszög (nyílt hézag) alapján számított érték között van, amit pontosabb törésképek [1] alapján elméletileg is indokolni lehet. A kettős külpontosság esetén a hatékony alapterületet úgy lehet meghatározni, hogy annak súlypontja a terhelés eredőjével összeesik. Emellett csak egyenes billenési vonal fellépése lehetséges,

mint a hatékony alapfelületnek az alapsíkon belüli határvonala, amint azt a 2. ábra mutatja.

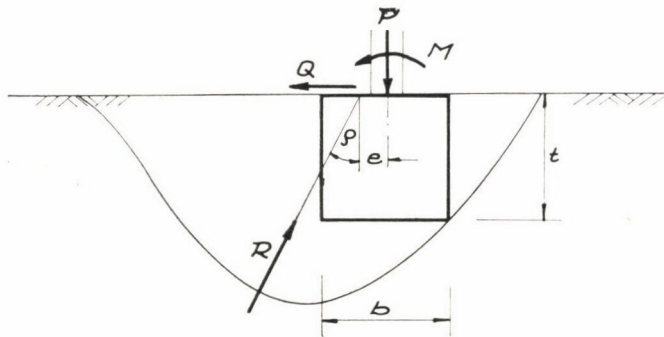
A ferde terheléseknek a síkalapok teherbírására gyakorolt befolyását is könnyen lehet ferdeségi tényező útján figyelembe venni, amelyeket pontos számításokból vezettünk le [6, 7, 16]. Ebben az esetben a térszín alatti alapok oldalai felől fellépő talajjellenállás befolyása igen kedvező hatást gyakorol. Érdes alapfelületek alatt a függőleges teherbírási részeredőt (ahol a függőlegessel bezárt szöveget δ -val jelöljük) a következő ferdeségi tényezővel lehet közelítőleg kifejezni [9]:

Kohéziós tényező és mélységi tényező

$$i_b = i_c = (1 - \delta/90^\circ)^2 \quad (5a)$$

Alapszélességi tényező

$$i_g = (1 - \delta/\varrho)^2 \quad (5b)$$



3. ábra. Tömbalap alatti excentrikus talajtörés

Általános esetben tehát a külpontos és ferde terheléssel szemben működő teherbírás függőleges részeredője (3. ábra) közelítőleg a következő [7]:

$$p = P(a' b' = cV_c d_c i_c + \gamma' tV_b d_b i_b + \gamma'' b' V_g d_g i_g)2 \quad (6)$$

A modellkísérletek azt mutatták, hogy a terhelés nagy ferdesége esetén a zárt alaprajzú alaptestek teherbírása kb. ugyanaz, mint a sávalapoké. Másrészt pedig egy adott terhelésferdeség esetén a terhelőerőre merőleges alapsíkkal rendelkező ferde alapozásnak nagyobb a teherbírása, mint a vízszintes alapé [6], ami az ívhidak hídfőinél igen előnyös hatású.

A teherbírásnak a külpontosság és a terhelőerő ferdesége következtében előálló tekintélyes csökkenése folytán a talaj valamilyen alaptest alatt csak egy meghatározott M nyomatékot, P normálerőt és Q nyírőerőt képes felvenni, amely értékek egymással kapcsolatban vannak (3. ábra). A fenti feltételezések és egyszerű külpontosság esetén ez a legnagyobb hajlítónyomaték:

$$M = P \cdot e = R \cdot e \cdot \cos \delta \quad (7)$$

úgyhogy agyagok esetében ($\varrho=0$) a legnagyobb nyomaték $M_{\max} = P_0 b/8$ és homok vagy kavics talaj esetére ($c=0$) $M_{\max} = P_0 b/13,5$ — felszínre helyezett alapozás esetén — ahol P_0 a központos (függőleges vagy ferde) terhelés alatti teherbírási eredő; ezek a nyomatékok az alapozási mélységgel az oldalt-

fekvő földtömegek ellenállása következtében az alapozási mélységgel növekszenek [7]. Éppen úgy kimutatható, hogy a legnagyobb nyíróerő

$$Q = P \cdot \operatorname{tg} \delta = R \cdot \sin \delta \quad (8)$$

agyag esetében kb. $Q_{\max} = P_v/5$; homok és kavics esetében mintegy $Q_{\max} = P_v/10$ ugyancsak felszínre helyezett alapok esetén, ahol P_v ismét a központos vagy külpontos függőleges terhelés alatti teherbírás eredője. Ezek az értékek is rohamosan növekednek az alapozás mélységével (lásd 4. ábrát) [7].

Hogy ezek az erők és nyomatékok kialakulhassanak, az alapnak megfelelő mélységben el kell mozdulnia és el kell ferdülnie. A modellkísérletek azt mutatták, hogy alaptörésnél a terhelés eredőjének irányában szükséges elmozdulás az alapszélességnek mintegy 5–20%-át teszi ki és a szükséges elferdülés szöge 1° – 5° -ig terjed, a talaj szilárdságától és az alapozási mélységtől függően. Ezen körülmények befolyása a felépítményre és az építmény teherbírására, különösen a sztatikailag határozatlan keretek, hidak és többemeletes építmények első emeleteire nézve fontos. Acélkeretekkel végzett modell- és nagyméretű helyszíni modellkísérletek igen értékes útmutatást adtak és megmutatták, hogy rendszerint az alapon talpcsuklókkal kell számolni és hogy befogást vehessünk a talpnál figyelembe, ahhoz széles talpalapok vagy pillérialapok szükségesek (lásd 5. ábrát) [12].

Ha az alap és felépítmény merevsége a talaj merevségéhez képest csekély, akkor jutunk el a hajlékony és rugalmas alaplemezek, alapsíkok kérdéséhez, amelyek számítása egyszerűsítő feltevések nélkül meglehetősen nehézkes [7]. A gyakorlatban ezért igen sokszor egyenletes talpfeszültség eloszlást vesznek fel, vagypedig az ágyazási tényezőn vagy a merevségi tényezőn alapuló eljárást használják, amelyek egymással kapcsolatban állnak és az út és repülőterei gurulópályák betonlemezeinek méretezésénél már hosszabb ideje használatban vannak. Röviddel ezelőtt a határállapoton alapuló méretezési eljárást erre a területre is kiterjesztették és egy elméletet alakítottak ki, amely szerint pályalemezek vagy az alaplemezek, illetőleg sávok teherbírását a törési állapotról nézve számítják ki [13, 14]. Itt a törési elmélet segítségével viszonylag egyszerű megoldásokat találtak, különböző terhelési esetek, teherállások és lemezmeretek mellett, a teherbírás megoldására, amelyekre jellemző néhány törési módot a 6. ábra tüntet fel. Ez az eljárás mind az ágyazási tényezőn, mind az összenyomódási tényezőn alapuló eljárások esetére alkalmazható és a nagyméretű lemezekkel végzett terhelési kísérletek, valamint az összpontos erőkkel végzett modellkísérletek eredményeivel jó összhangban áll.

Cölöpalapok

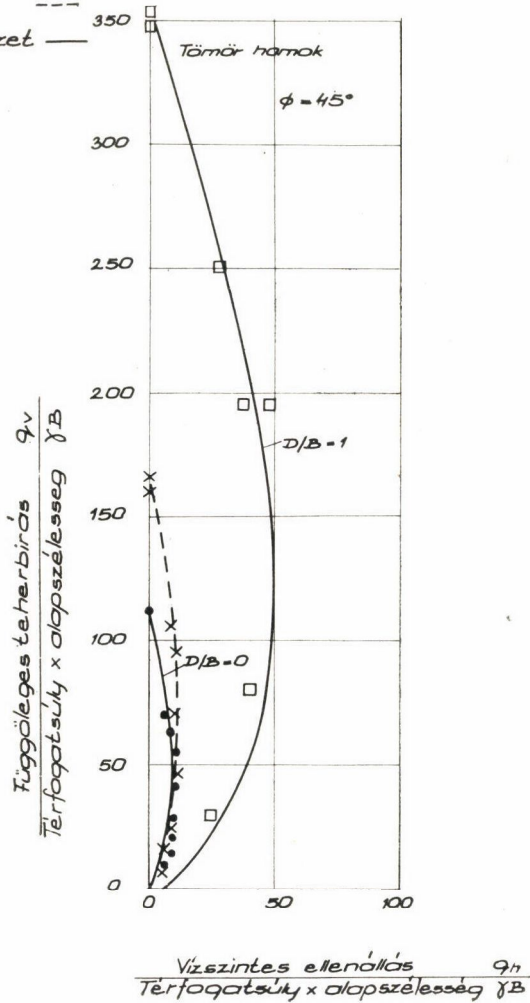
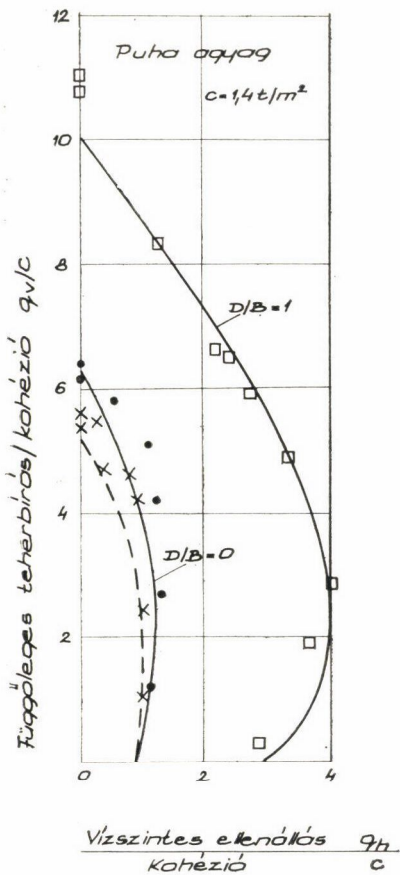
Egyedülálló cölöp teherbírása csúcscellenállásból és köpenysúrlódásból áll, amelyek nemcsak a talaj adottságaitól és a cölöp méreteitől függenek, hanem a cölöpfajtától is. Mivel a cölöp tengelyirányban alkalmazott terhelésénél a függőleges és ferde cölöpök csúcscellenállása gyakorlatilag nem különbözik, a fenti (1) egyenlet használható, ha a teherbírási tényezőzők értékének megválasztásánál a mélységi tényezőzőknek a végső értékét, továbbá a talaj alakváltozását [10] és a csúcs alakját [15] figyelembe vesszük. Egyes cölöpökre nézve a fajlagos csúcscellenállás

$$P_s = P_s/F = cV'_c + \gamma' t' v'_b \quad (9)$$

ahol F a cölöp keresztmetszeti területe.

Felmagyarázat

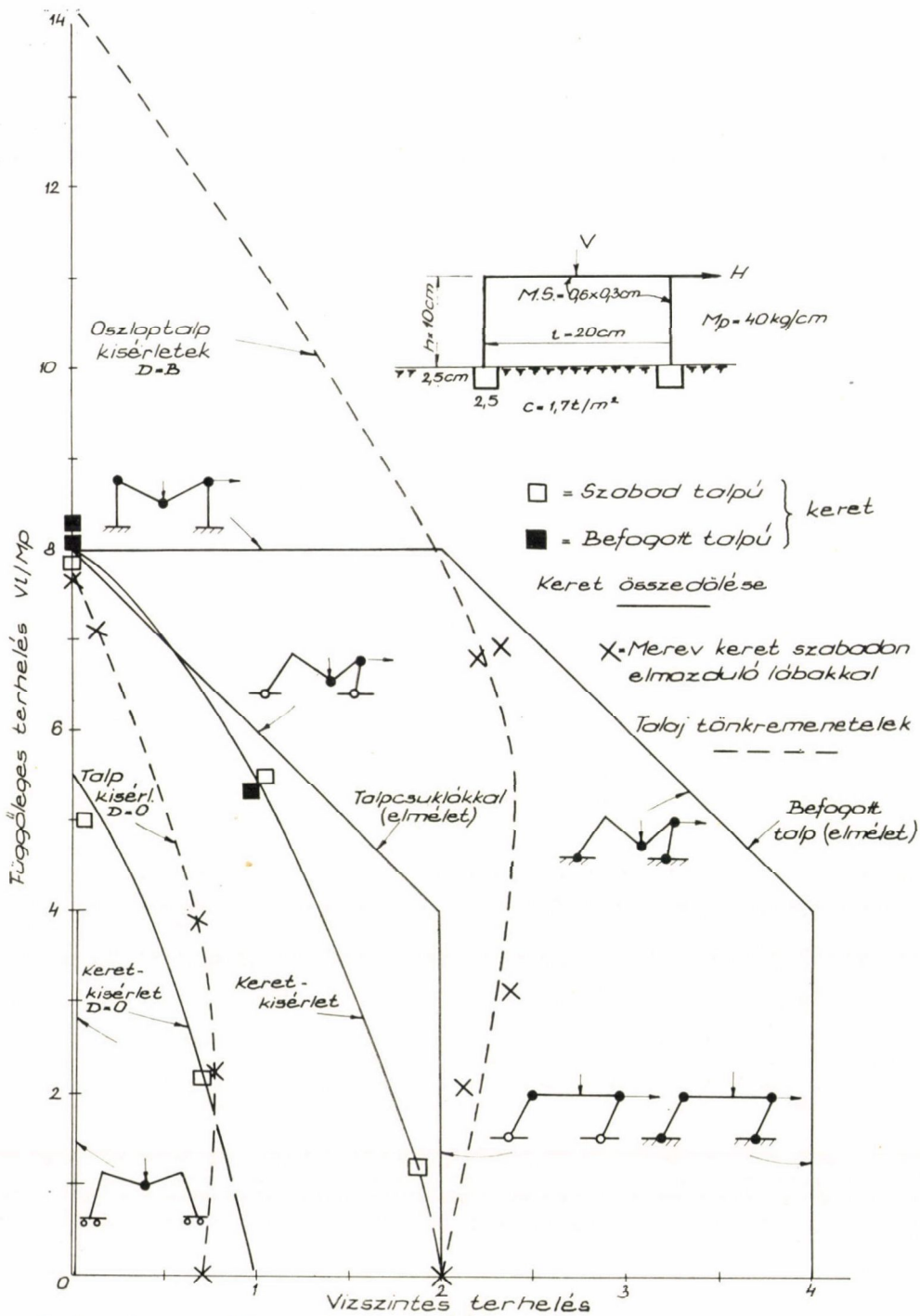
Kísérleti eredmények: — Elmélet: —
 Sáv $D/B=0$ x Sáv ---
 Négyzet $D/B=0$ • Négyzet —
 Négyzet $D/B=1$ □



a) Agyagon végrehajtott kísérletek.

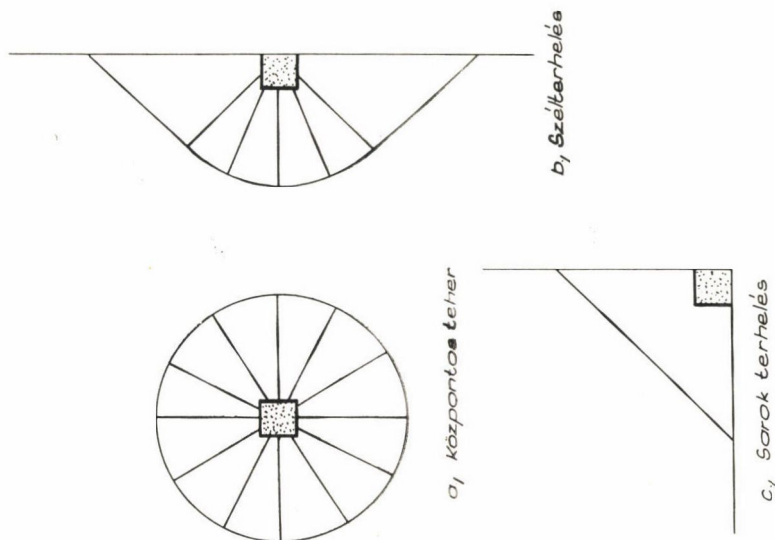
b) Homokon végrehajtott kísérletek

1. ábra. Vízszintes alaptetekre ható ferde terheléssel végrehajtott terhelési kísérletek



5. ábra. Agyagon álló portál-keret-modellek terhelési kísérletének eredményei

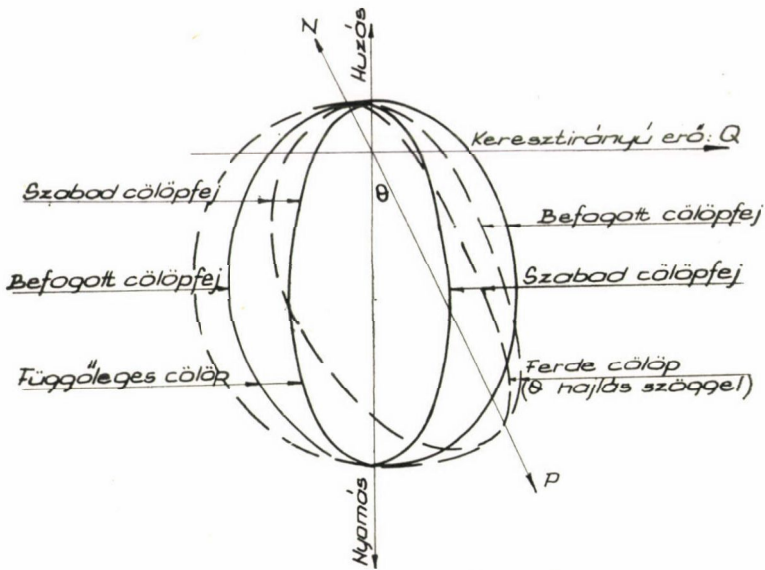
A félig tapasztalati V'_c és V'_b tényezők kör- keresztmetszetű, vagy kvadratikus vert cölöpök részére, amelyek 60° -os csúccsal vannak kialakítva, az 1. ábrán láthatók [15] és csak akkor érvényesek, ha a cölöpcsúcs legalább 8–10-szeres cölöpátmérőnyi távolságban benyúlik a teherviselő réteg felszíne alá; más esetekben a sík- és cölöpalapok részére érvényes teherbírási tényezők között lineáris interpolációt kell alkalmazni. Változó talajtulajdonságok esetén ezeket mintegy 4 cölöpátmérővel a cölöpcsúcs fölött és egy cölöpátmérővel a cölöpcsúcs alatt lehet használni.



6. ábra. Hajlékony alaplemezek törése

Noha a szemcsés talajokban a köpenysúrlódást gyakran elhanyagolják, ez homoktalajoknál 0,5–1-ig terjedő földnyomási tényezővel vehető számításba a fekvési tömörség szerint [10]. A köpenysúrlódás végleges értékét néhány hónap múlva — ami a gyakorlatban általában előforduló eset — puha agyagban a kohézió értékével lehet egyenlőnek felvenni, míg rideg agyagban a nyírószilárdság felét alig haladja túl [20]. Homokban a nyomószonda különösen alkalmas a vert cölöpök teherbírásának a meghatározására, annak ellenére, hogy igen nagy cölöpátmérőknél a laza homokban nagyobb, a tömör homokban pedig kisebb ellenállás mutatkozik, mint a kúpos szonda ellenállása [2], ami a talajnak a törési zónában fellépő alakváltozásával van összefüggésben [10]. Sajnos, ezeket az eltéréseket elméletileg még nem tudjuk tökéletesen megvilágítani, úgyhogy az ilyen különleges esetekben mégis csak a cölöp próbaterhelésének kiértékelésére vagyunk utalva.

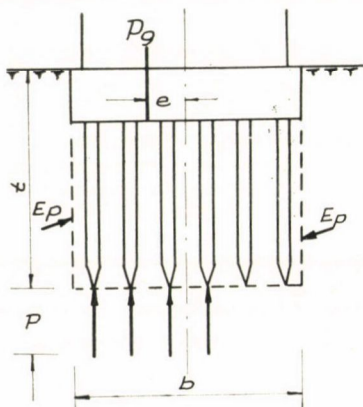
Nehezebb azon cölöpök teherbírásának meghatározása, amelyek nem tengelyirányban vannak terhelve. Míg egy keresztirányban megterhelt cölöpöt egy falhoz hasonlóan, de az oldaltfekvő talajtömegek ellenállásának hozzáadásával lehet számolni, a ferdén terhelt cölöp teherbírása a keresztirányú és hosszirányú ellenállás közé esik; a ferde teher következtében ugyanis a talajellenállás növekszik és a csúcs-ellenállás függőleges összetevője pedig kisebb



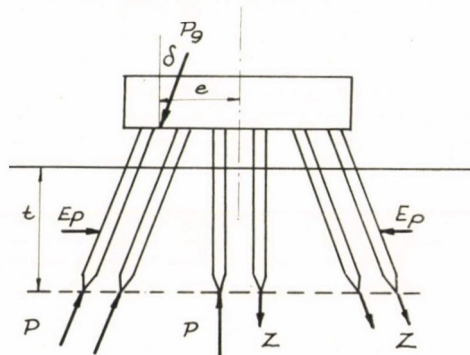
7. ábra. Függőleges és ferde egyedi cölöpök teherbírási görbéi

lesz, mint egy mélyalapnál. Ezért az olyan ferde cölöpnek a teherbírása, amely-nél a terhelés a cölöp hajlásával szemben hat, nagyobb, mint fordítva és ezt még a cölöpfej befogása növeli is, amint azt a modellkísérletek igazolják [21]. Ezeket a viszonyokat cölöpök méretezése céljából poláris diagramokban lehet ábrázolni, amint azt a 7. ábra mutatja.

A cölöpök csoportosítását és a cölöprácsok törésre való számítását az utóbbi években több oldalról vizsgálták. A cölöpcsoportoknál meg kell különböztetnünk az olyanokat, amelyeknél az alap teherbíró rétegen fekszik (mélyenfekvő cölöprács) és az olyan cölöpöket, amelyekben a cölöpök részben szabadon állnak, vagypedig puha rétegeken keresztül támaszkodnak a szilárd talajra (szabadon álló cölöprács).

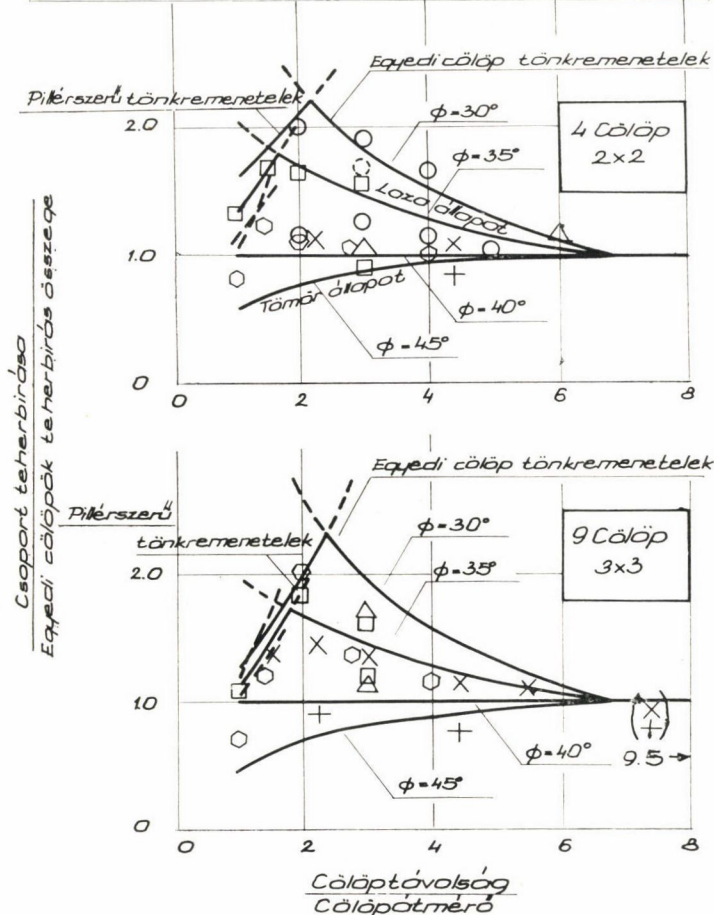


8. ábra. Cölöprács (mélyenfekvő). Alaptömb



9. ábra. Szabadonálló (magasanfekvő) cölöprács

Kísérletek	Jel	Homok	Cölöp	Kutató	Jel	Cölöp	Homok	Kutató
	○	Laza	Acél	Combefort	△	Acél	$\phi=35^\circ$	Present
×	$\phi=35^\circ$	Fa	Hanna	□	Érdesített	"	Szerző	
+	$\phi=41^\circ$	Fa	Hanna	△	Acél	$\phi=43^\circ$	-.-	
○	Laza	Beton	Kézdi	□	Érdesített	"	-.-	
○	Tömör	Beton	Kézdi	○	Fa	Tömör	Stuart	



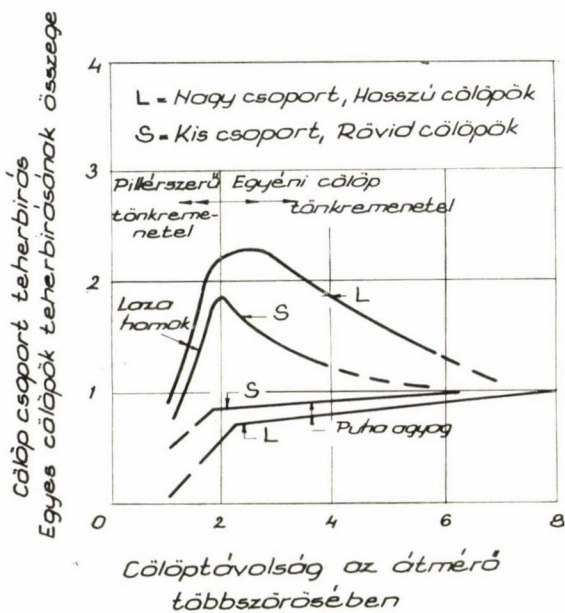
10. ábra

A mélyenfekvő cölöprácsot (8. ábra) mint egy pilláralapozást lehet fel-fogni, melynek talpa a cölöpsúcsok mélységében fekszik és ahol a teherbírás gyakorlatilag független a cölöpök távolságától. Noha egyelőre csak központos és függőleges terhelésű és agyagon álló mélyenfekvő cölöprácsokra vonatkozó modellkísérletek állnak rendelkezésre [23], a szabadon álló (magasan fekvő) és egymáshoz közelálló cölöpökből felépített, homokban fekvő cölöprácsok terhelési kísérleteiből arra lehet következtetni [3, 18], hogy egyenletes tala-

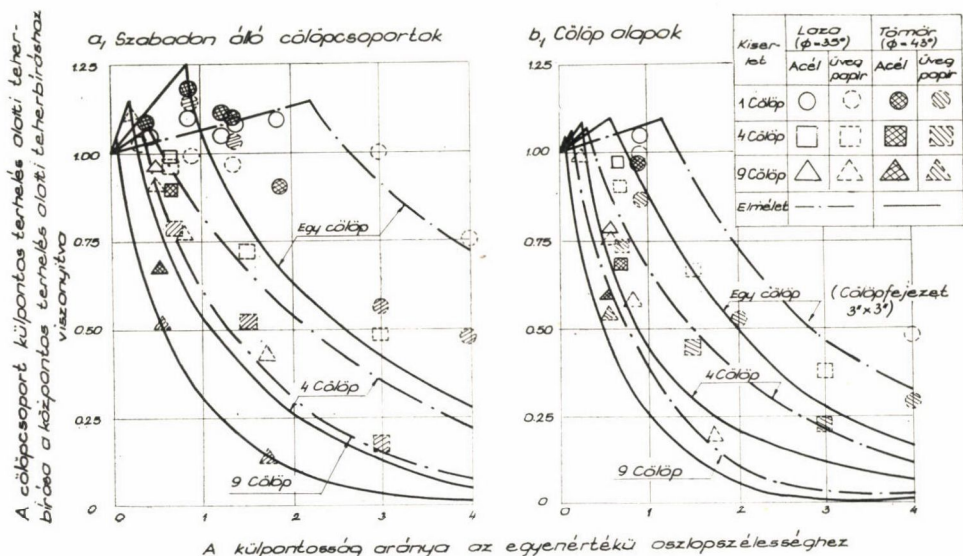
jokban általában hasonló viszonyokat lehet feltételezni. Független cölöpök-
ből álló cölöp csoport központos terheléssel szembeni teljes teherbírása a talp-
ellenállásból (9. egyenlet) és a talajnak a külső cölöpök körüli oldalfal mentén
fellépő ellenállásból tevődik össze. Ezt a közbezárt talaj súlyával csökkenteni
kell. Külponos vagy ferde terhelés esetén az alap elferdül és a törési álla-
potban az oldalfalakon fellépő földellenállást is figyelembe kell venni. Ha az
alap szélessége a cölöp hosszal azonos nagyságrendű, az ol-
dalakon fellépő földnyomások elhanyagolhatók és a számítás
pontosan úgy történik, mint egy hasonlóan terhelt síkalapé,
amikor csak nyomásra igény-
bevett cölöpökről van szó.

A magasan fekvő (sza-
badonálló) cölöprács (9. ábra)
teljes teherbírása a pilléralap
teherbírása, illetőleg az egyes
cölöpök teherbírásának összege
közül a kisebbikkel vehető
egyenlőnek. Emellett azt talál-
juk, hogy a kétszeres cölöpát-
mérőnél kisebb cölöptávolsá-
gok esetén a cölöpök törési
tartományai a talajban egy-
másra metsződnek és ezért pil-
lérhatást idéznek elő (lásd 10.
ábrát). Nagyobb távolságoknál
a cölöpök egyéni viselkedését a
talaj alakváltozásának figye-
lembevételével kell a számítás-
nál figyelembe venni. Amint

a központos és függőleges terhelésre igénybevett magasan fekvő és agyagon
álló cölöprácsokkal végzett modellkísérletek mutatták [22], a teherbírás kb.
kétszeres cölöpátmérőnek megfelelő cölöptávolság esetén a teljes teherbírás-
nak csak mintegy 2/3 része (lásd 11. ábrát). A teljes teherbírás csak 5–6-
szoros cölöpátmérőnek megfelelő távolságnál érhető el, amit az egyes cölöpök
alakváltozási tartományainak a talajban kialakuló egymásra metsződése ma-
gyaráz. Ugyanakkor magasan fekvő és laza homokban levő cölöp rácsokra
nézve azt találtuk [3, 18], hogy kb. 2-szeres cölöpátmérőnek megfelelő cölöp-
távolságok esetén a teherbírás több mint 2-szerese lehet annak a teljes teher-
bírásnak, amelyet kb. 6–7-szeres cölöpátmérő távolság esetén érnek el. Ez
az eredmény a veres következtében laza homokban előálló tömörödés és alak-
változásra vonatkozó elméleti kutatásokkal magyarázható, amihez kisebb
cölöptávolságoknál még a törési tartományok egymásba metsződése is hozzá-
járul [10]. Külponos és ferde terhelés esetén a szabadonálló cölöprácsok
teherbírása kis cölöptávolságok esetén a mélyenfekvő cölöprács alapján, míg
nagy cölöptávolságoknál a fentiekhez hasonló módon számítható (lásd 12.
ábrát). Itt azonban nemcsak a nyomásra igénybevett, hanem a húzott cölöpök
és az oldalsó földellenállás is figyelembe veendő, amelyre nézve egy másik



11. ábra



12. ábra. Cölöpcsoportok teherbírása homokban, külpontos terhelés alatt

tanulmányban függőleges és ferde cölöpcsoportokra nézve egyszerű össze-foglalásokat adtunk [11].

Összefoglalás

A teherbírás területén végzett újabb kutatásokról szóló rövid áttekintés azt mutatja, hogy a sík- és cölöpalapok méretezése céljára a gyakorlati mér-nők részére igen sok esetben egyszerű és elegendő pontosságú eljárások állnak rendelkezésre. Ennek ellenére, különösen cölöpalapoknál és az alapoknak a fel-építményre és hidakra gyakorolt befolyása tekintetében, igen sokat kell még tanulnunk. De a gyakorlati tapasztalat és a kutatás ezeket a területeket is nonsokára uralni fogják és az építőmérnök részére ismét új, érdekes kérdése-ket fognak felvetni.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Hansen, J. B.: Simpel beregning af fundamenteres baereevne. Ingenioren, 1955. S. 95.
- [2] Kerisel, J. L.: Deep Foundations in Sands. Proc. Fifth Int. Conf. Soil Mech., Vol. 2. 1961 (im Druck).
- [3] Kézdi, A.: Bearing Capacity of Piles and Pile Groups. Fourth Int. Conf. Soil Mech., London, 1957. Vol. 2. S. 46.
- [4] Meyerhof, G. G.: An Investigation of the Bearing Capacity of Shallow Footings on Dry Sand. Proc. Second Int. Conf. Soil Mech., Rotterdam, 1948. Vol. 1. S. 237.
- [5] — The Ultimate Bearing Capacity of Foundations. Geotechnique 1951. Vol. 2. S. 301.
- [6] — The Bearing Capacity of Foundations under Excentric and Inclined Loads. Proc. Third Int. Conf. Soil Mech., Zürich, 1953. Vol. 1. S. 440.
- [7] — Some Recent Foundation Research and its Application to Design. Struct. Engi-neer, 1953. Vol. 31. S. 151. Auszug in Bauingenieur, 1955. Vol. 30. S. 260.
- [8] — Influence of Roughness of Base and Ground-Water Conditions on the Ultimate Bearing Capacity of Foundations. (Geotechnique, 1955. Vol. 5. S. 227.)
- [9] Meyerhof, G. G.: Rupture Surfaces in Sand under Oblique Loads. Discussion on Paper by A. R. Jumikis, Proc. Am. Soc. Civ. Eng. 1956, Vol. 82, No. SM 3, S 1028—15.

- [10] — Compaction of Sands and Bearing Capacity of Piles. Proc. Am. Soc. Civ. Engrs., 1959, Vol. 85, No. SM 6, S. 2295.
- [11] — The Design of Franki Piles with Special Reference to Groups in Sands. Proc. Symp. Design of Pile Foundations, Stockholm, 1960, S. 105.
- [12] — Foundation Behaviour and Plastic Design of Frames. Trans. Engg. Inst. Canada, 1960, Vol. 4, S. 58.
- [13] — The Bearing Capacity of Floating Ice Sheets. Proc. Am. Soc. Civ. Engrs., 1960, Vol. 86, No. EM 5, S. 113.
- [14] — Load-Carrying Capacity of Concrete Pavements. Proc. Am. Soc. Civ. Engrs., 1961.
- [15] — The Ultimate Bearing Capacity of Wedge-Shaped Foundations. Proc. Fifth Int. Conf. Soil Mech., Paris, 1961, Vol. 2., S. 225.
- [16] *Schultze, E.*: Der Widerstand des Baugrundes gegen schräge Sohlpressungen. Bau-technik, 1952, Vol. 29, S. 336.
- [17] *Skempton, A. W.*: The Bearing Capacity of Clays. Proc. Buildg. Res. Congr., London, 1951, Vol. 1, S. 181.
- [18] *Stuart, J. G., Hanna, T. H. and Naylor, A. H.*: Notes on the Behaviour of Model Pile Groups in Sand. Proc. Symp. Design of Pile Foundations, Stockholm, 1960, S. 97.
- [19] *Terzaghi, K.*: Theoretical Soil Mechanics. J. Wiley, New-York, 1943.
- [20] *Tomlinson, M. J.*: The Adhesion of Piles Driven in Clay Soils, Proc. Fourth Int. Conf. Soil Mech., London, 1957, Vol. 2, S. 66.
- [21] *Tschebotarioff, G. P.*: The Resistance to Lateral Loading of Single Piles and of Pile Groups. Symp. Lateral Load Tests on Piles, 1954, Am. Soc. Test. Mat., Spec. Techn. Publ. 154, S. 38.
- [22] *Whitaker, T.*: Experiments with Model Piles in Groups. Geotechnique, 1957, Vol. 7., S. 147.
- [23] — Some Experiments on Model Piled Foundations in Clay. Proc. Symp. Design of Pile Foundations, Stockholm, 1960, S. 124.