

NAGY TERHELÉSŰ ÉS FESZTÁVOLSÁGÚ AGRÁR- IPARI KOMPLEXUMOK CÖLÖPALAPOZÁS TERVEZÉSÉHEZ HASZNÁLT MÓDSZEREK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

COMPARISON OF METHODS USED FOR THE PILE FOUNDATION PLANNING OF HIGH-BASED AND FERROUS AGRICULTURAL INDUSTRY COMPLEXES

Kaczvinszki-Szabó Vera*, Telekes Gábor**

TARTALMI KIVONAT

Az agrárium és az ipar fejlődése egyre inkább szükségessé teszi a nagy terhelésű és fesztávolságú létesítmények (állattartó telepek, terménytároló csarnokok és silók, stb.) építését. A nagy fesztávolság miatt, általában a szokásosnál nagyobb terhelések adódnak át az alapra, ezért gyakran alkalmaznak cölöpalapozást. A cölöpalapozás esetén a cölöpök hatékony teherbírását a legpontosabban próbaterhelési diagram alapján lehet meghatározni, de ez rendkívül költséges eljárás, ezért a legújabb cölöptervezési módszerek a gazdaságosabb statikus szondázási adatokat használják fel. Kétféle, statikus szondázási adatot kiértékelő módszerrel számoltuk 5 különböző talajviszony között épített fúrt cölöp teherbírását. Ehhez az FTV által korábban egy helyen készített statikus szondázási és próbaterhelési eredményeket használtuk fel. A különböző számítási módszerek eredményeit hasonlítottuk össze.

ABSTRACT

The development of agriculture and industry increasingly requires the construction of large-scale and span-length facilities (livestock farms, grain storage halls and silos etc.). Because of the large span distance, usually larger loads than usual are transferred to the base, so pile foundations is often applied. In the case of pile foundations, the effective load bearing capacity of the piles can be determined most accurately by a static pile load test, but it is a costly procedure, therefore the latest pile design methods use more economical cone penetration test data. We have evaluated the behavior of drilled pile constructed between 5 different soil conditions using two methods like cone penetration test data. For this we used the results of the cone penetration test and pile load test performed by FTV earlier in one place. We compared the results of different methods.

*tanársegéd, Szent István Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar

** főiskolai tanár, Szent István Egyetem, Ybl Miklós Építéstudományi Kar

1. BEVEZETÉS

Régebben voltak a számítási képletekkel történő teherbírás meghatározások és a statikus próbaterhelés szerinti formula. Az elmúlt 40-50 évben számos cölöp próbaterhelés készült, mert a korábbi szabvány úgy rendelkezett, hogy a cölöpök 1 %-át, de minimum 2 db cölöpöt kellett próbaterhelni, így nagyszámú próbaterhelési eredmény készült, melyeket gyűjtemény formájában adtak ki. A szabvány változásával azonban sajnálatos módon a kell, helyett lehet szót használtak, tehát a próbaterhelések kötelező készítésének ideje megszűnt. Ezzel egy időben viszont a szondázási technológiák komoly fejlődésen mentek keresztül, (nyomó, verő, vagy más néven statikus, dinamikus szonda) mely felszínre hozott jó pár szondázási eredmények alapján meghatározott cölöpteherbírás számítási eljárást. Nyugaton már elfogadottakká, alkalmazhatóvá váltak, míg hazánkban a legutóbbi szabvánnyal kerültek terítékre és identifikálásra. Ezt a folyamatot tovább segítette, hogy gazdaságossági szempontok alapján lényegesen versenyképesebbek a szondázások, mint a próbaterhelések.

Jelen tanulmányban néhány példán keresztül szeretnénk összehasonlítani a fúrt cölöpök különböző teherbírás számításait. Két számítási módszerben statikus szondázási eredményeket használtunk és egyben a statikus próbaterhelések adatait elemeztük. A megemlített két számítási módszer a nyomószonda talpellenállási adataiból számol, az egyik az MSZ EN 1997 szabvány szerinti módszer, a másik az LCPC módszer. A statikus próbaterhelések, nem voltak tönkremenetelig elvégezve, ezért a grafikus extrapoláció módszerével kellett kiegészíteni.

5 db fúrt cölöp adatait elemeztük. 1-1 cölöphöz sikerült a statikus szondázási mérési adatokat feldolgozni és a statikus próbaterhelési eredményeket is ábrázolni. 4 db cölöp vegyes (szemcsés és kötött) talajviszonyokba készült, 1 db, pedig teljes egészében kötött talajrétegekbe került.

2. STATIKUS SZONDÁZÁSSAL MÉRT SZONDA CSÚCSELLENÁLLÁSI ADATOKAT FELHASZNÁLÓ MÓDSZEREKRŐL

A statikus szondázáson (röviden: CPT) alapuló méretezésnek sok indoka van:

- ezek a közvetett mérési eredmények, a térbeli változásokat feltérképezik, mely talajfeltárás megmutatja a cölöpteherbírás szempontjából meghatározó vékonyabb és/vagy gyenge zónákat. A mérési eredmények kontrollálása mellett
- a CPT szondázás gazdaságosabb a hagyományos talajfeltáráshoz képest
- cölöpteherbírás számításra a szondázási eredmények sokkal olcsóbban előállíthatók, mint a statikus próbaterhelés, aminek elvégzésére igen ritkán kerül sor

A talajvizsgálati eredményeken alapuló számítások alaképlete: [5]

$$R_{b,cal} = A_b \cdot q_{b,cal} \quad (1)$$

$R_{b,cal}$ - talpellenállás számított értéke

A_b - cölöptalp keresztmetszeti felülete

$q_{b,cal}$ - fajlagos talpellenállás

$$R_{s,cal} = k \cdot \sum (h_i \cdot q_{s,cal,i}) \quad (2)$$

$R_{s,cal}$ - köpenymenti ellenállás számított értéke

k - köpeny kerülete

h_i - köpeny egyes rétegekre eső hossza

$q_{s,cal,i}$ - fajlagos köpenymenti ellenállás rétegenként

A $q_{b,cal}$, amit σ_{cs} -ként is és $q_{s,i,cal}$, amit τ_p -ként is jelölnek a különböző módszereknek megfelelően számítottuk ki.

$$R_{c,cal} = R_{b,cal} + R_{s,cal} \quad (3)$$

$R_{c,cal}$ - a talpellenállás és köpenymenti ellenállás összege, ami a cölöp törőteherbírás kalkulált értékét adja, amit még tovább kell osztani:

- a korrelációs tényezőjével a karakterisztikus értékhez

- a parciális és modelltényezőjével a tervezési értékhez [5]

2.1 MSZ EN 1997 tervezési segédlet szerint ajánlott módszer (röviden: EUROCODE módszer)

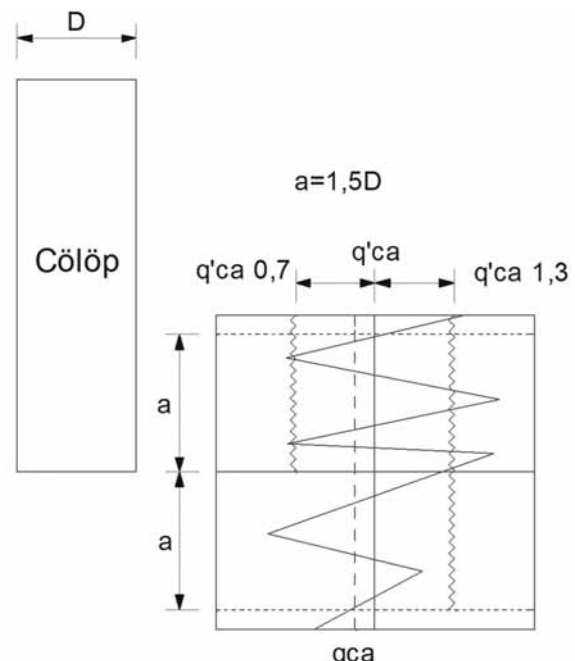
Az MSZ EN 1997-2:2007 D7 melléklet európai szabvány szerinti cölöpteherbírás számítását a Holland szabvány alapján vették át. Ezt az MSZ EN 1997 tervezési segédlet szerint ajánlott módszerrel kiegészítve használtuk. A talpellenállás fajlagos értéke úgy határozható meg, hogy a csúcstól számított lefelé 4D cölöpátmérő és felfelé 8D cölöpátmérő közötti sávot vizsgálunk a szonda csúcscellenállás speciálisan figyelembe vett minimum értékeivel. Ezt a fajlagos értéket megszorozzuk egy olyan α_b tényezővel, amely a cölöpfajtától függ. A köpenymenti ellenállást a köpeny mentén mért szonda csúcscellenállás, illetve annak szükség szerint korrigált értékével adjuk meg, majd ezt

szintén egy készítési módtól függő α_s értékkel szorozzuk meg. [6][7] A kötött talajnál nem fogalmaz világosan a szabvány. A kötött talajok számításánál, ezért a szabvány tervezési segédletében ajánlott c_u drénezetlen nyírószilárdság bevezetésével számoltunk. [5]

2.2. LCPC módszer (Bustamante és Gianeselli által):

Az eredeti eljárás alapján [1]. A módszer a szonda folyamatos csúcscellenállás adatait használja fel.

1. lépés: Kiszámoljuk a q'_{ca} értékét, ami azt jelenti, hogy a csúcs felett és alatt nézett $a = \pm 1,5D$ távolságon kiszámoljuk a szondadiagram átlag értékét.
2. lépés: Eltávolítjuk azokat az adatokat, amelyek nagyobbak, mint $1,3 q'_{ca}$ és azokat is amelyek, kisebbek, mint $0,7 q'_{ca}$, de ezt csak $a = -1,5D$ távon.
3. lépés: A megmaradt adatokból újból kiszámoljuk az átlag értéket $a = \pm 1,5D$ távolságon, mely a végleges q_{ca} -t adja meg. [2]



1. ábra LCPC módszer fajlagos talpellenállás számítása

Ha megvan a speciálisan átlagolt q_{ca} érték, akkor táblázat segítségével meghatározunk egy k_c tényező értéket, amely a talaj típusától függ, annak függvényében milyen cölöpözési eljárással készült. [1]

$$\sigma_{cs} = q_{ca} \cdot k_c \quad (4)$$

A fajlagos köpenymenti ellenállás értékét úgy tudjuk kiszámolni, hogy egy α tényező értéket veszek fel egy másik táblázat alapján, ami szintén a talajtól és a cölöpözési technológiától függ. [1]

$$\tau_p = q_{ca} / \alpha \quad (5)$$

Az σ_{cs} és τ_p adatokból már az ismert alapképlet alapján meghatározható a cölöp teherbírása.

3. VIZSGÁLAT A PRÓBATERHELESI GÖRBE ADATAIVAL

A próbaterhelés 1:1-es modellkísérlet, mely talán a ma ismert teherbírás számítások közül a legpontosabbnak mondható. Egy tipikus próbaterhelés során, minden egyes terhelési lépcsőnél kivárvák a konszolidációt. Ez esetben 1-1 cölöp-próbaterhelés több napig is eltarthat és, ezt a kivitelezők a mai rohanó világban nem akarják/tudják kivárni, ezért még a konszolidációs folyamat közepén új terhelési lépcsőre váltanak. Ez azonban befolyásolhatja a mérési eredmények hitelességét. A klasszikus próbaterheléseket a cölöp töréséig folytatták, hiszen a törőteherből vezették le a határteherbírást. A mai nagytérű és nagy mélységű cölöpöknél a törésig terhelés szinte lehetetlen a nagy teherbírás miatt, ezért más módszerrel kell a törőerőt meghatározni. Ahhoz, hogy megértsük, hogy miért okozhat problémát a görbék kiértékelése, nézzük meg, milyen nehézségek zavarhatják meg a próbaterhelés tervszerű befejezését.

Ilyen, lehet: [8]

- a hidraulikus sajtó kimerülése
- a sajtó meghibásodása
- nincs elegendő ellenteher
- meghibásodik a próbaterhelést végző berendezés
- cölöpfejbeton sarkának tönkremenetele

A nem törésig végzett próbaterheléseket számos módszerrel, például hiperbolikus, logaritmusos, numerikus, de a legismertebb mindkét a grafikus extrapolációval történő kiértékeléssel egészíthetjük ki. [9][10]

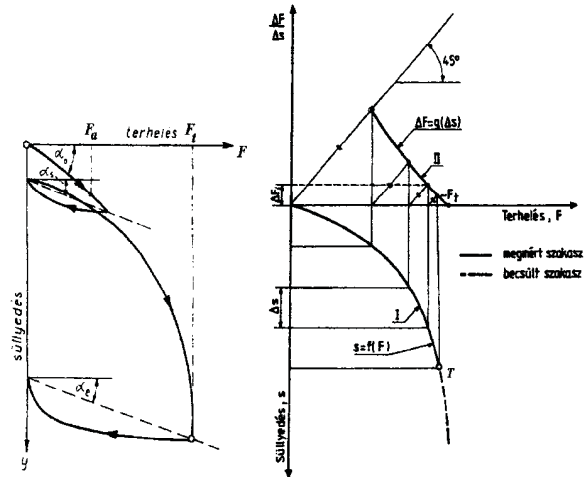
3.1 Grafikus extrapoláció

A statikus próbaterhelés, melynek segítségével meghatározhatjuk a ténylegesen kivitelezett cölöp teherbírását, az egy pontos vizsgálat, de sokszor viszont a cölöpöt nem terhelik, vagy nem tudják a törésig terhelni ($F_t=R_c$), hanem csak egy, azt megelőző pontig szerkeszthető meg a próbaterhelési görbe. Ilyenkor próbáljuk meghosszabbítani a grafikus extrapolációval. A szakirodalomban grafikus interpolációként emlegetik, de a görbe meghosszabbítására, helyesebbnek tartottuk az extrapoláció kifejezést.

Ez a módszer a próbaterhelési görbéből leolvasott állandó értékű Δs süllyedésnövekedéshez tartozó ΔF_i erőnövekményeket ábrázolja egy külön ábrán, mely pontok csökkenő függvénye elmetszi az F tengelyt és így megadja az F_t törőerőt. [3]

Matematikailag, így írható fel [3]:

$$F(s) = F_t(1 - e^{-as}) \quad (6) \quad \frac{dF}{ds} = b[F(s) - F_t] \quad (7)$$



2. ábra Grafikus extrapoláció Mazurkiewicz által [3]

4. MÓDSZEREK KIÉRTÉKELÉSÉNEK MENETE

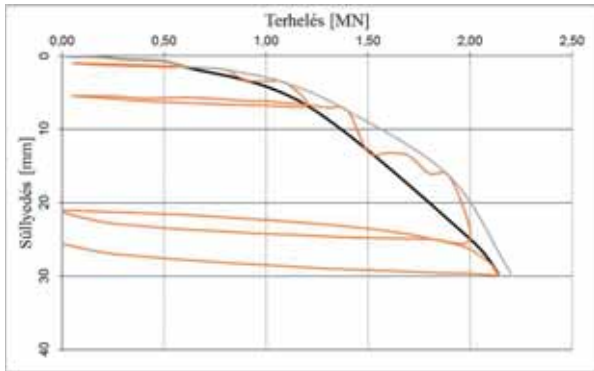
Egy-egy tervezési módszer tapasztalat nélküli használatához nagyon sok irodalom gyűjtésére, szabvány áttekintésére és értelmezésére van szükség.

LCPC módszer: A leírás viszonylag rövid nem túl részletező, de a módszer rendkívül egyszerű és érthető, így a kezdeti rutintalanság után igazán gördülékenyen halad a számítás.

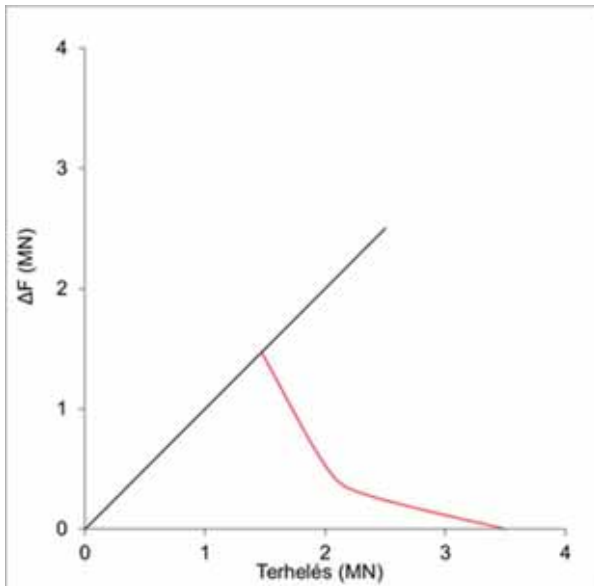
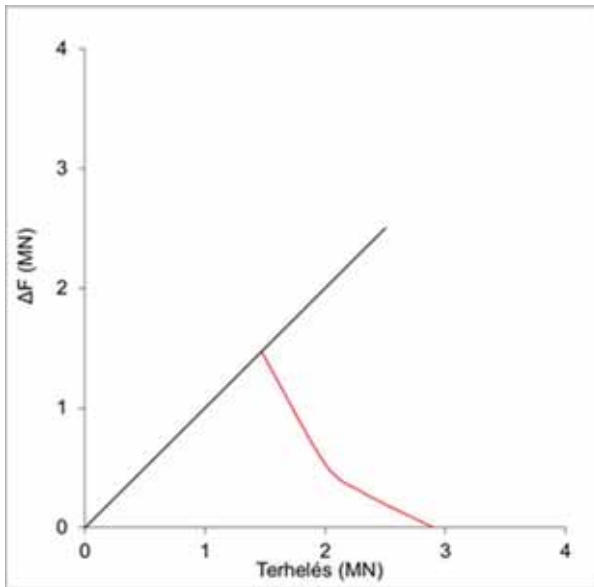
MSZ EN 1997 módszere: A szabványban nem fogalmaznak egyértelműen és a leírásokban is számtalan ellentmondás van. Sok leírás nem foglalkozik a kötött talajokkal, némelyik, pedig azzal a lehetőséggel, amikor kötött talajban van a cölöpcsúcs. A szabvány a hiba okozója, mert nem ad meg konkrét értékeket, csak maximalizált α_s tényezőt tüntet fel a kötött talajokra.

Grafikus extrapoláció: Sajnos a próbaterhelési görbék elkészítésénél nem mindig voltak az egyes terhelési lépcsők konszolidációi kivárvák. A grafikus extrapoláció módszer használata, ezért sokszor nehézségekbe ütközött. A módszer sajnos nem mindig lesz a gyakorlatban olyan szépen megrajzolható, mint a 2. ábrán látható. Ez nemcsak a talajkörnyezet, ezáltal a terhelő erő hatására bekövetkező süllyedés intenzitásától függhet, hanem a mérnök szemétől is, aki az utolsó vonalszakaszt megrajzolja F_t -ig. Ha kevés próbaterhelési lépcső lett elvégezve, akkor távol a töréstől variábilis, azon lehetőségek száma, hogy hogyan fejezzük be a diagramot. A következőkben leírok egy példát, hogy milyen nagy eltérés lehet a módszer két különböző szemmel történő megoldásában.

Egy későbbi kutatásban szeretnénk az irodalomkutatás során megismert számos próbaterhelési görbe kiértékelő módszert is kipróbálni és összehasonlítani, hogy a tapasztalatokból egy kevésbé befolyásolható módszert hozunk létre.



3. ábra A BAH csomópontnál végzett próbaterhelés eredménye



4.-5. ábra Grafikus extrapoláció alkalmazása a BAH próbaterhelési eredményhez többféle nézőpontból

Azért, hogy kiküszöböljük az emberi vonatkozását a grafikus extrapoláció módszerének a NEN 6743 Holland szabvány szerinti törőerő komponensekre bontásával ellenőriztük le az eredmények realitását.

Röviden a törőerő komponensekre bontásához a próbaterhelési görbét kell elemezni, amihez az ellenállások mobilizálódásáról a következőket érdemes tudni. [11] ($F_p=R_{s,cal}$; $F_{cs}=R_{b,cal}$)

A köpenymenti ellenállás mobilizálódása:

$s=5\text{mm}$ -nél $0,5F_p$,

$s=10\text{mm}$ -nél $0,8F_p$ működik, majd

$s=20-25\text{ mm}$ -nél a teljes F_p .

A talpellenállás mobilizálódása:

$s=0,025D$ és $0,5F_{cs}$, az

$s=0,10D$ és $0,8F_{cs}$, valamint az

$s=0,20D$ és F_{cs} adatpárok jellemzik. [11]

A NEN 6743 szabvány módszerével ellentétesen mi nem komponensekre szeretnénk bontani a teherbírást, hanem a törőerőt számoltuk ki összehasonlításként.

1. táblázat A grafikus extrapoláció realitásának ellenőrzése NEN6743-mal

	NEN ell.	Próbaterhelés R_c
LeánykaIII	ok	3,20 MN
LeánykaV	ok	3,50 MN
LeánykaVI	ok	4,20 MN
BAH	ok	3,40 MN
Kelenföld	ok	1,50 MN

Azt vizsgáltuk, hogy nagyságrendileg hasonló eredményt ad-e az ellenőrzés a NEN 6743 módszerrel. Megállapítható, hogy mindegyik a grafikus extrapolációval meghatározott érték hitelesnek tekinthető, de így is szükségesnek tartanánk a próbaterhelési görbe kiértékelésének későbbi kutatását.

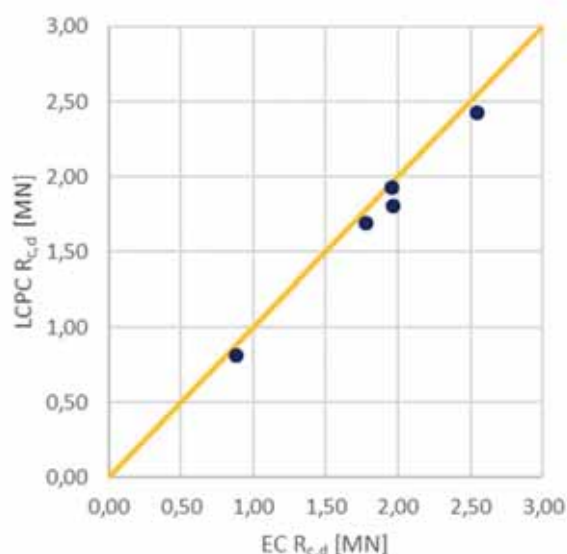
5. EREDMÉNYEK

Mindhárom módszernél számoltunk a megfelelő korrelációs tényezővel, parciális tényezővel és a modelltényezővel. 4 db 0,83 m átmérőjű és 1db 0,53 m átmérőjű fűrt cölöpöt vizsgáltunk, amelyek teherbírásának eltérése a kapott eredményekből is látszik.

2. táblázat Számítási eredmények összehasonlítása

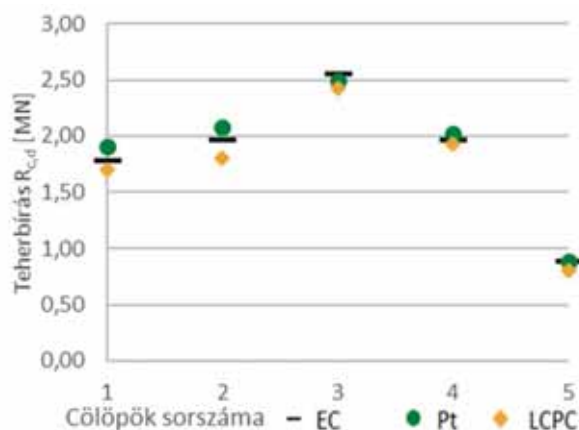
	LCPC $R_{c,d}$	EC $R_{c,d}$	Pt $R_{c,d}$	
LeánykaIII	1,69	1,78	1,90	MN
LeánykaV	1,81	1,97	2,08	MN
LeánykaVI	2,43	2,55	2,50	MN
BAH	1,93	1,96	2,02	MN
Kelenföld	0,81	0,88	0,89	MN

Az eredmények összehasonlításánál látszik, hogy az LCPC módszer óvatosabb becslést ad az MSZ EN 1997 (EC) módszeréhez képest. Az LCPC eredmények átlagosan 94%-os határteherbírást adtak az MSZ EN 1997-hez képest.



6. ábra MSZ EN 1997 (EC) és az LCPC módszerek eredményeinek összehasonlítása

Sajnos a grafikus extrapoláció módszerre nem mondható el, hogy kimutatható egy állandó összefüggés az MSZ EN 1997 módszerrel, sőt egy helyen kisebb is lett a szabvánnyal számított érték.



7. ábra Eredmények összehasonlítása határteherbírási szempontjából

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Összefoglalóan megállapítható az eredmények alapján, hogy

- Sikertült 2 CPT módszert kiválasztani, ahol konzekvensen azonos vagy hasonló teherbírást

kapunk, de a próbaterheléssel ez nem mutatható ki, pedig az igazolná a CPT alapú módszereket.

- A grafikus extrapoláció módszere összehasonlítható eredményt ad az MSZ EN 1997 és LCPC módszerrel, de ha jóval a törőteher előtt abbahagyják a próbaterhelést kétséges a helyes alkalmazása, ezért pont a legpontosabbnak vélt próbaterhelési adatok nem adnak megbízható eredményt.

Ezt a néhány cölöpöt feldolgozó kutatás is igazolja, hogy még mindig nagy szükség lenne egy univerzális tervezési módszerre, amely bármely talajviszony mellett könnyen alkalmazható.

SUMMARY

It can be stated on the basis of the result that

- *We have succeeded in selecting 2 CPT methods where consistently equivalent or similar loads are obtained, but with the test load this can not be demonstrated, even if it justifies CPT-based methods.*
- *The graphical extrapolation method gives a comparable result to the MSZ EN 1997 and LPCP method, but if the test load is stopped well before the ultimate load, it is doubtful that the correct test results are not reliable.*

This research on a few piles also suggests that there is still a great need for a universal design method that can be easily applied in any soil conditions.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönet illeti az Lechner Tudásközpont Építési Geotechnikai Adattárát, Imre Emőkét és Nagy Ferencet segítő munkájukért.

8. IRODALOM

- [1] Bustamante, M., Gianceselli, L. (1982): Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT, Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, 493-500
 - [2] De Cock, F., Legrand, C. (1997): Design of Axially Loaded Piles European Practice, A. A. Balkema, Rotterdam, ISBN 90 5410 873 8
- Bustamante, M., Frank, R. (1997): Design of axially loaded piles – French practice 161-175
 Everts, H., J., Luger, H., J. (1997): Dutch national codes for pile design 243-265

- [3] Farkas, J. (2001): Alapozás, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 94-124
- [4] Fleming, W.G.K., Weltman, A.J., Randolph, M.F., Elson, W.K. (1985): Piling Engineering, John Wiley and Sons, New York, ISBN 0-903384-35-3, 95-117
- [5] Magyar Mérnöki Kamara (2012): Alapozások és földmegtámasztó szerkezetek tervezése az MSZ EN 1997 szerint
- [6] MSZ EN 1997
- [7] Szabó, V., Imre, E., Mahler, A. (2004): Mélyalapok próbaterhelés és statikus szondázás alapján számolt teherbírásának összehasonlítása, Geotechnika 2004 konferencia, Ráckeve
- [8] Szabó, Gy. (1975): Cölöpteherbírásszámítás és cölöpalapozástervezés, Budapesti Műszaki Egyetem Továbbképző Intézet, Budapest
- [9] Szabó, Gy. (1978): Cölöp teherbírásszámításának meghatározása, Tervezési segédlet FTI, Budapest
- [10] Szabó, Gy. (1981): A cölöp-próbaterhelések értékelése, Mélyépítéstudományi Szemle 31. évf. 7. szám, Budapest, 298-304
- [11] Szepesházi, R. (2001): A CFA-cölöpök hazai alkalmazásának módszerei és tapasztalatai, Közúti és Mélyépítési Szemle 51. évf. 5. szám, 171-179
- [12] Szepesházi, R. (2008): Geotechnika, egyetemi jegyzet harmadik kiadás, Győr, 81-96.
- [13] Telekes, G. (1983): Cölöppróbaterhelési eredmények gyűjteményének felhasználása a dinamikai paraméterek meghatározásához MŰSZAKI TERVEZÉS 23:(7) pp. 32-35.