



SZENT ISTVÁN
EGYETEM



YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

TDK dolgozat címe:

**Különböző mérési eredményből számított
cölöpteherbírások összehasonlítása**

Tudományos Diákköri Konferencia

Készítette: Balogh Ákos

Konzulens: Kaczvinszki-Szabó Vera

Budapest, 2019. November

Tartalomjegyzék

1.	Bevezetés	2
2.	Általánosságban a cölöpökről.....	3
2.1	Cölöpök csoportosítása.....	3
2.2	Teherátadási módszerek ismertetése	4
2.3	Készítés módjai röviden	5
2.3.1	Előregyártott cölöp	5
2.3.2	Helyben készített cölöp.....	5
3.	CFA cölöpözésről részletesen.....	5
3.1	Cölöpalapozásról szakirodalom alapján	5
3.2	eredmények	7
4.	A cölöptervezés általános menete és teherbírás meghatározása	7
4.1	Teherbírás meghatározása számítással	9
4.1.1	CPT szonda részletes ismertetése	10
4.1.2	A CPT szonda felépítése	11
4.2	Próbaterhelés.....	13
4.2.1	Statikus próbaterhelés	13
4.2.2	Dinamikus próbaterhelés.....	16
5.	Anyag és Módszer.....	18
5.1	Az EUROCODE 7.....	18
5.1.1	Alapelvek az Eurocode-ban.....	19
5.1.2	Javaslat a szemesés talajokba kerülő cölöpök ellenállásainak számítására	22
5.1.3	Javaslat a kötött talajokba kerülő cölöpök ellenállásainak számítására.....	24
5.1.4	Megfelelőség	24
5.2	LCPC (Francia módszer)	26
5.3	Próbaterhelés.....	28
5.3.1	Grafikus extrapoláció	29
5.4	Hooke-módszer	30
5.5	Logaritmikus közelítés	31
6.	Eredmények ismertetése	32
7.	Eredmények kiértékelése.....	67
8.	Javaslat	70
9.	Irodalomjegyzék	73

JELÖLÉSJEGYZÉK

Jelölések ismertetése:

D	Cölöpátmérő	m (méter)
L	Cölöphossz	m (méter)
s	Süllyedés	mm (milliméter)
F	Terhelés	kN
R_s	Palástellenállás	kN
R_b	Csúcscellenállás	kN
$P_t=F_t$	Törőteherbírás	kN
$R_c=F_h$	Határteherbírás	kN

1. Bevezetés

Abban a szerencsés helyzetben volt dolgom, hogy két nyáron is betekintést nyerhettem mélyépítési technológiák részleteibe. A TDK indulásom oka, a téma iránti érdeklődés, és tudásom bővítése. A kivitelezési benyomásaim alapján azt tapasztaltam, hogy az egyik legelterjedtebb alapozási mód a cölöpalapozás. A tanulmányaim során sokszínű, és érdekes cölöpalapozási feladatokat kaptunk, de ezt szeretném ebben a tanulmányi munkámban kibővíteni. TDK tanulmányom során szeretném bemutatni a cölöpalapozás tervezésbeli nehézségeit. Különböző cölöpök adatait dolgozom fel, több fajta módszerrel. Kutatási alapnak teljesen megfelelő, mert különböző cégek különböző berendezésekkel végezték el, a próbaterheléseket a statikus szondázásokat és a talajfeltárásokat. Ezeknek a módszereknek az összehasonlításáról fog szólni a munkám. Kivitelezésben dolgozom, de az a tapasztalatom, hogy akkor fogok elismert és „jó” mérnökké válni, ha ismerem a tervezés nehézségeit is, és persze ez fordítva is igaz. A tervezési készségeimen, adatelemzéseim, módszerek elsajátításában szeretnék fejlődni. Nagyon jó lehetőség szerintem ez a tudás kibővítése érdekében. Ezúttal szeretnék köszönetet mondani Kaczvinszki-Szabó Vera Tanárnőnek a felkészítéséért, és tömérdek türelméért.

2. Általánosságban a cölöpökről

Cölöpök definíciója úgy szól, hogy: Rájuk érkező terheket a csúcson és a köpenyen keresztül adják át a mélyebben lévő rétegekre. Általánosságba elmondható a cölöpökről, hogy a talajban lévő hossz/átmérő aránya $L/D \Rightarrow 5$.

Manapság a cölöpalapok kerültek előtérbe, ennek okait a következők alkotják:

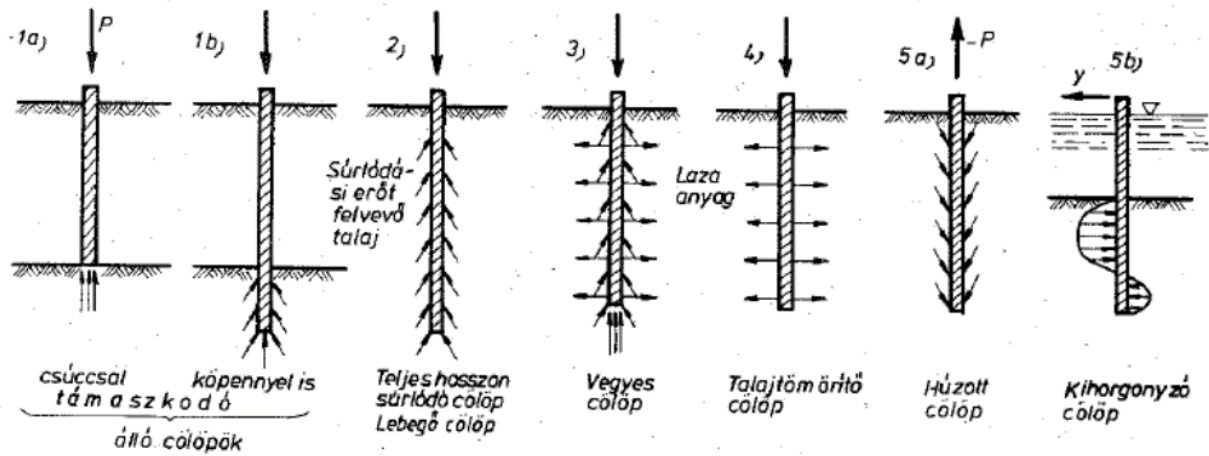
- egyre kevesebb a beépítésre alkalmas terület, főleg nagyvárosi környezetbe szinte teljesen elfogytak
- az építmények mérete miatt, és mivel süllyedésérzékenyek, ezért figyelni kell az alapozás megválasztásában, emiatt legtöbbször csak jóval mélyebben fekvő talajréteget tudják használni, ezért a legideálisabb a cölöpalapozás
- a cölöpalapozást egyszerű gépesíteni, és emiatt rendkívül gyors, így versenyképességét növelte a síkalapozáshoz képest (Szepesházi, 2008)
- időjárás nem befolyásolja (Rózsa, 1977)
- magas talajvízszint esetén szükséges lenne síkalapozás esetén víztelenítésre, de cölöpalapozás esetén ez elkerülhető (Szabó, 1975)
- Cölöpözéssel növelni tudjuk a talaj fajlagos ellenállását. (Bartos, Králik, 1998)

Elkészítése általában cölöpöző géppel készül, a térszíntől lefele történik (Szepesházi, 2008)

2.1. Cölöpök csoportosítása

- Teherátadás módja szerint:
 - álló cölöp
 - lebegő cölöp
 - vegyes cölöp
- Igénybevétel módja szerint
 - nyomott
 - húzott

- hajlított



1. ábra: Cölöpök osztályozása [Farkas, J., Józsa, V. 2014]

- Anyaguk szerint
 - fa
 - acél
 - vasbeton
 - habarcs
- Készítés módja szerint
 - előregyártott
 - helyben készülő
- Méreteik szerint
 - rövid cölöp (3-5 m)
 - mikrocölöp ($D < 30\text{cm}$)
 - normál cölöp ($30\text{cm} < D < 60\text{cm}$)
 - nagy átmérőjű cölöp ($D > 60\text{cm}$) (Farkas, J., Józsa, V. 2014)

2.2 Teherátadási módszerek ismertetése

- álló, vagy támaszkodó cölöp, amikor a csúcsán keresztül adják át a teherfelvételre képes rétegekre a terhet, vagy annak nagy részét
- lebegő cölöp a palástfelületén keresztül adja át a terhének nagy részét az altalaja
- hajlított cölöpök a teherbíró talajba való ékelésével, befogásával adja át a terhelést az altalajra (Bartos, Králik, 1998)

- általában nem szokott szétválni a két fő típus (álló, lebegő cölöp), mert a legtöbbet előforduló típus a vegyes teherátadás. Itt ugye a csúcscellenállással és a paláston keresztül terheli a talajt (Pajer, 1975)

2.3 Készítés módjai röviden

2.3.1 Előregyártott cölöpöt, akkor a legjavasoltabb alkalmazni, ha a felső teherhordó rétegek lazák, verési ellenállásuk gyenge, és a középső rétegek tömörítése meglehetősen növeli a teherbírást

2.3.2 Helyben készített cölöpök gyártása előnyös: változó talajrétegződés esetén, mivel egyaránt a csúcsnál, illetve a köpeny mentén is van teherátadás. Kötött talajban, illetve ha csúcsfelület növelésére van szükség. A helyben készített (CFA) cölöp a legismertebb cölöpözési mód.

3. CFA cölöpözésről részletesen

3.1 Cölöpalapozásról tapasztalatok alapján

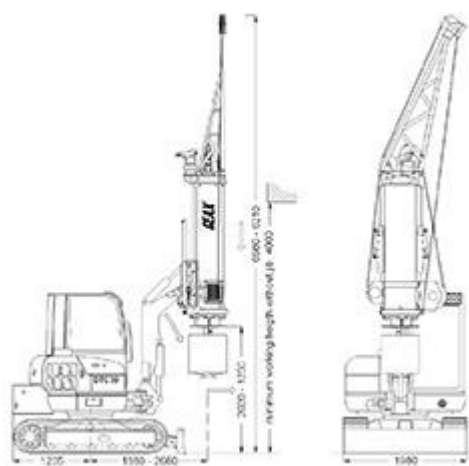
Hazánkban ez a cölöpözési mód a legelterjedtebb. Ennek oka az is, hogy jól gépesíthető, illetve, hogy viszonylag gyors is. A folyamatos spirálú csigás fúrószáron keresztül kerül le a betonszivattyúval a beton. Nem előzheti meg a betonozást a spirál visszaforgatása, illetve, kihúzása. A betonnak nyomás alatt kell elérnie a furattalpat (min. 35 bar nyomással). A vasszerelést közvetlenül a betonozás során vibrálják a cölöpbe. Az armatúra önsúlya miatt tud lejutni a furatba, ha nem elegendő a nehézsége, vagy túl sűrű a beton hozzá, akkor gépi segítséggel tolják le. Munkahézagok, állandó betonkészenlétre figyelni kell, mert nem lehet megszakítani a betonozási folyamatot.

Naponta 15-30 cölöpöt is lehet készíteni egy géppel. Magyarországon nagyon sok helyen alkalmaznak cölöpalapozást, ahol nem is lenne indokolt. Mivel tényleg nagyon jól gépesíthető, ezért választják sokszor ezt a módszert. Egy nagy beruházás során nagyon sok cölöpöt kell elkészíteni. (pl. Etele Pláza alapozásához nagyjából 1400 db CFA cölöpöt alkalmaztak).



1. ábra: CFA technológia [Faur, K., Szabó, I. (2011)]

Volt tapasztalatom több száz ilyen CFA cölöpnek a készítését végignézni, és nagyon izgalmasnak találtam. Nagyon figyelni kell, a cölöpök pontos helyének a kiválasztásában. Az armatúra függőlegessége is igen fontos, illetve vibrálása. Cölöpök helyzetét tekintve figyelni kell, hogy nem lehetnek egymáshoz túlságosan közel, mert kell minimális földmennyiség a cölöpök közé.



3. ábra: Cölöpfúró gép (www.sycons.hu)

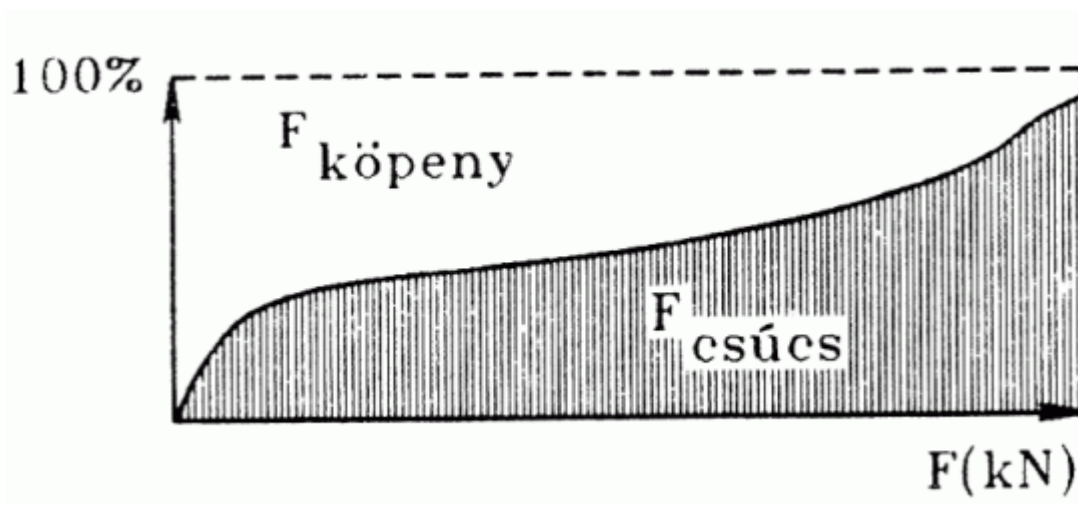
4. A cölöptervezés általános menete és a teherbírás meghatározása

A cölöpökből és a hozzá tartozó fejtömbből álló cölöpalap tervezésének lépései:

- meghatározzuk a cölöp csoport mértékadó terhét
- felvesszük a cölöpök számát, átmérőjét, méretét, helyét
- meghatározzuk az egyes cölöpökre áthárított mértékadó igénybevételeket
- cölöphossz meghatározása
- meghatározzuk a cölöp csoport várható süllyedését és összehasonlítjuk az építmény süllyedéstűréseivel
- szükség esetén módosítjuk a kiindulási adatokat és újra elvégezzük a számításokat. (Farkas, Józsa 2014)

Azok a cölöpök melyeket, fölülről függőlegesen nyomunk, úgynevezett egyedi cölöpnek hívják. Ezek a cölöpök a csúcsánál támaszkodva, és a köpenysurlódással és az adhézióval közvetítik a terheket a talajra. Nem nagy terhek, illetve kis süllyedések tartományában a köpenymenti ellenállások a mértékadók, nagyobb terhelésnél fokozatosan nő a talpellenállás.

$$F_t = F_{cs} + F_k$$



4. ábra: Köpenymenti és talpellenállás aránya a terhelés növekedésével. (Farkas, J. 2001)

A teherbírás meghatározható:

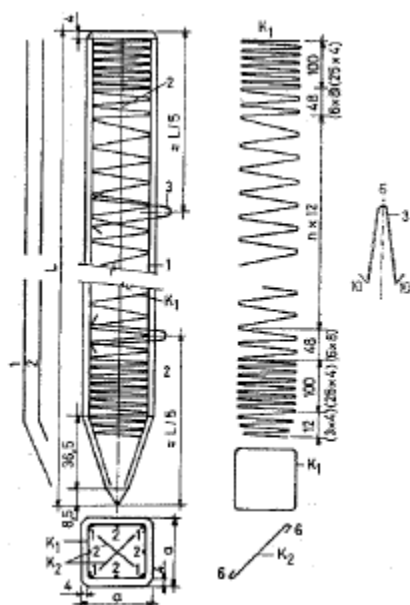
- három fajta **számítással**,
 - verési képlettel
 - statikus képlettel
 - szondázási eredményekből
- illetve **próbatelheléssel**.
 - statikus
 - dinamikus úton

Cölöp várható teherbírásának meghatározási lehetőségei

4.1. Teherbírás meghatározása **számítással**

- Verési képletek

Csak előregyártott vert cölöpöknél alkalmazható. Csak szemcsés talajokban – az egyes cölöpök teherbírásának becslésszerű összehasonlítására használjuk. (Kötött talajban pórusvíznyomás miatt hamis eredmény lesz.) Az elméletük az hogy: a cölöp leverésére fordított munka és a behatolási munka egyenlőtlensége. A verési diagram megadja az egyes rétegek dinamikus verési ellenállását.



5. ábra: Előregyártott négyzetes vasbeton cölöp [Palotás, L. (1984)]

Az egyes cölöpök várható teherbírásának összehasonlítására alkalmas. Csak verés után alkalmazható. A teherbírás becslésére javasolt verési képlet többségében a

- cölöp tömege
- a verőkos tömege
- a kos ejtési magassága
- a cölöp mért behatolása szerepel

- Statikus képletek

Előnyük verési képletekkel szemben az, hogy a szükséges adatok már a tervezés fázisában beszerezhetők, és bármilyen cölöp és talajvariáció értelmezhető. A gyakorlatban ismert és elterjedt képletek alapján kapott eredmények között jelentős számbeli különbségek vannak általában, amelyek levezetések során tett feltételezésekből és elhanyagolásokból következnek. A képletek alapja az, hogy a cölöpök a terheket részben a köpenyfelületükön, részben pedig a talpon adják át a talajnak.

Ennek megfelelően a teherbírás két részből áll:

- talp ellenállásából
- köpenymenti ellenállásból : $F_t = F_{cs} + F_k$

A képlet első tagja a cölöptalp támaszkodó felületétől, valamint a talpsíknál lévő talaj teherbírásától függ:

$$F_{cs} = A_{cs} \cdot \sigma_{cs} \text{ ahol a talaj törőfeszültsége: } \sigma_{cs} = f(l, \gamma, \Phi, c)$$

A tapasztalatok szerint a szemcsés talajokban $\sigma_{cs} = 1000\text{-}5000 \text{ kN/m}^2$, míg kötött talajokban: $\sigma_{cs} = 350\text{-}1500 \text{ kN/m}^2$

A teherbírási képlet második tagja a köpenyfelület méreteitől, az arra ható földnyomástól, a köpeny és a talaj között tapadó- és súrlódó feszültségek nagyságától függ ahol

- U – cölöp kerület
- a – a cölöp és a talaj közötti tapadás (adhézió): $a = 0,3\text{-}0,6c$
- K – földnyomás tényező
- δ - a talaj és a cölöp közötti súrlódási tényező: $\delta = 0,5\text{-}0,8\Phi$
- σ – geosztatikus nyomás
- τ – a fajlagos köpenymenti ellenállás

- Szondázási adatokból való számítás

4.1.1 CPT szonda részletes ismertetése

Ezt a teherbírási meghatározást tartom az egyik legfontosabbnak, mivel a TDK munkámban egy külső cég által kapott szondázási eredményekből számoltam. A számítási részben bővebben ki fogok rá térni, hogy milyen eredményeket kapunk meg a CPT szondából. A CPT azaz Cone Penetration Test (kúpbehatolási vizsgálat). Az első nyomószondát 1932-ben P. Barentsen mérnök készítette Hollandiában.



7.ábra : Holland statikus szondázás az 1940-es években. [Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M. (1997)]

Ebben az időben még a 60 fokos szöget bezáró kúpot kézi erővel nyomták a talajba. A módszer lényege az volt, hogy egy állandó sebességgel a talajba sajtolt szondánál mérte az erőt és a szondacsúcs mélységi helyzetét. A később ezt továbbfejlesztették és abból lett a mai napig használt szonda, amely csúcscellenállást és palástsurlódást is mér. (Schubert, Varga, 2002)

Sok oka van annak, hogy a CPT módszert széles körben használják. Ezek közül az egyik legfontosabb az in-situ (helyszíni) vizsgálat, mivel a talaj tulajdonságait az eredeti környezetében vizsgálja. Talajminta vétele természetesen különböző talajrétegek meghatározása szempontjából, de a talaj más mechanikai tulajdonságai valószínűleg megváltoznak, ha a külső hatások érik, ilyen a nyomásváltozás. A CPT egy viszonylag gyorsnak mondható módszer, ezért költségkímélő. Jól is gépesíthető, ezért nagyon sok cég ezt a módszert választja. (Schubert, Varga, 2002)

A CPT rendszert lehet kábel nélkül is alkalmazni, ezért ez egy korszerű megoldás. Digitális formában eljuttatja az adatokat a szondából a föld felszínére, és ezáltal biztonságos adatátvitelt lehet alkalmazni. A szondában lévő mikroprocesszor a mért adatokat hangulatjelekké változtatja át. Ezeket a jeleket a szonda rudak szállítják a mikrofonhoz, ami a felszínen lévő utolsó rúd és nyomófej között helyezkedik el. Az adatok a mikrofonból egy kábelen keresztül jutnak el a jelátalakítóba. Ugyan ide érkeznek az aktuális szondázási mélység adatai a mélységi jeladóból. A jelátalakító azaz Interface, által visszaalakított jeleket terepi számítógép rögzíti. Az aktuális adatok grafikus és numerikus formában jeleníthetők meg a számítógép képernyőjén, amit egy speciális szoftverrel történik. A mérési adatokat általában 2cm-enként tárolja. A mérés befejezése után lehetőség van a grafikus eredmények helyszíni nyomtatására és kiértékelésére. A későbbiekben csatolva lesz ilyen grafikus próbaterhelési ábra. (Schubert, Varga, 2002)

A CPT szonda által küldött adatok hangjel formájában jutnak el a szonda rudakon keresztül a mikrofonhoz, amely a hidraulikus lesajtoló berendezéshez van rögzítve. A visszaalakított jeleket terepi számítógép rögzíti: A kábelenküli jelátvitelnek sok előnye van. Kiküszöböli a kábel lehetséges sérüléseit és ezáltal az adatok elvesztését. A szondarudak egyszerű használata lehetővé teszi a gyors munkavégzést. Az adatokat valós idejű grafikus megjelenítést tesz lehetővé. Az érzékelő szenzorokat érő hőmérsékletváltozásokat automatikusan kiegyenlít és korrekcióját a szondában lévő mikroprocesszor végzi el. (Schubert, Varga, 2002)

4.1.2 A CPT szonda felépítése

Csúcsellenállás angol nevén tip resistance, melynek a jelölése q_t (q_c). A csúcsellenállás az egy olyan feszültség, amit úgy kapunk meg, ha elosztjuk a csúcra nehezedő teljes axiális erőt a csúcs keresztmetszetének területével. A q_c jelölés a pórusvíznyomás nélküli CPT méréseknél használatos, még a q_t akkor használatos, ha a pórusvíznyomást is mérünk. A csúcs formája miatt a csúcson mért erőt befolyásolja az ingadozó pórusvíznyomás. Olyan esetekben okozhat ez hibákat, ha nagy a pórusvíznyomás. Ilyen esetekben a csúcsellenállás mérése nem mutat olyan adatokat, melyek a teljes csúcsellenállásra vonatkoznak. Olyan méréseknél, ahol a pórusvíznyomást is mérünk, a mért csúcsellenállást korrigálni lehet és a teljes csúcsellenállás a következőképpen alakul. $q_c = (\text{axiális erő kijavítatlan értéke}) / (\text{keresztmetszet területe})$, $q_t = (\text{teljes axiális erő}) / (\text{keresztmetszet területe})$ (Schubert, Varga, 2002)

A palástsúrlódás angol nevén friction, melynek jelölése f_t (f_s). A palástsúrlódás értékét úgy kapjuk meg, ha elosztjuk a palástot érő teljes súrlódási erőt a palást felszínének a területével. A palástsúrlódás mért értékét befolyásolja a palást felszínét érő ingadozó víznyomás. Ezért a mért értékeket korrigálni kell jelentős víznyomás esetén, azért, hogy a teljes palást súrlódás valós értékeit megkapjuk. $F_s = (\text{palástsúrlódás kijavítatlan értéke}) / (\text{palást felszínének területe})$. $F_t = (\text{teljes palástsúrlódás}) / (\text{palást felszínének területe})$ Az F_s , csak durva minőségű talajban alacsony víznyomás mellett valós. Ezeket az értékeket kPa-ban vagy Mpa-ban van megadva. (Schubert, Varga, 2002)

A további egységeket rövidebben fogom bemutatni, mivel a csúcsellenállás és a palástsúrlódás a két legfontosabb.

Súrlódási arányszám. A súrlódási arányszám a palástsúrlódás és a csúcsellenállás közötti hányados a vizsgált mélységben.

Az adott mélységben lévő statikus pórusvíznyomás, melynek jelölése U_0 . Megfelel az uralkodó helyi statikus víznyomásnak a talaj konkrét mélységében, ami visszaáll miután a teljes pórusvíznyomás konszolidálódik a szondázás megszakítása után.

Regisztrált pórusvíznyomás, melynek jelölése u . A fúrás alatt mért pórusvíznyomást jelent. Az u jelölés csak olyan mérésekre vonatkozik, amiket a szűrő normál elhelyezkedésénél mértek, ami a csúcs fölött van.

Létrehozott pórusvíznyomás, melynek jelölése Δu . Az a változás a pórusvíznyomásban, ami a fúráskor történik. A létrehozott pórusvíznyomás pozitív és negatív lehet attól függően, hogy milyen a talajnak a minősége.

Különbözeti pórusvíznyomás hányados, melynek jelölése DPPR. A különözeti pórusvíznyomás egy arányszám, ami a létrehozott pórusvíznyomás és a csúcsellenállás hányados a vizsgált mélységben. (Schubert, Varga, 2002)

A korszerű számítási módszerek a statikus szondázások (CPT) eredményeit használják fel a cölöpteherbírás meghatározására. Ez nagyjából azt jelenti, hogy egy kicsinyített modellű próbaterhelés, ahol a csúcsellenállást és a palástellenállást külön-külön mérik:

$$\sigma_{cs} = q_c \cdot \alpha_{cs}$$

ahol, α_{cs} tényező a vizsgált eredmények szerint 0,07-0,4 között változik.

A fajlagos palástmenti ellenállás pedig a statikus szondázás (CPT) eredményeiből:

$$\tau = q_c \cdot \alpha_k$$

ahol, q_c – a szondaellenállás a cölöp köpenye mentén

α_k – a cölöpkészítés módjáról, a köpenymenti talaj fellazulásának mértékétől függő csökkentő tényező

A külföldi eredmények szerint: $\alpha_k = 1/30 - 1/125$

4.2. Próbaterheléssel

4.2.1 Statikus próbaterheléssel

Segítségével a ténylegesen kivitelezett cölöp teherbírását határozhatjuk meg a munkahelyen.

A próbaterhelés 1:1 modellkísérlet, mely talán a ma ismert teherbírás számítások közül a legpontosabbnak mondható. Hátránya mindössze az ára, ami igen magas és az, hogy a mai nagy átmérőjű-teherbírású cölöpöket szinte lehetetlen törésig terhelni. Sajnos a kötelező előírás is megszűnt a szabványváltozásokkal. (Kaczvinszki-Szabó, V. 2017)

Jelenleg ez a legpontosabb teherbírási meghatározás. Az így kapott eredményekből jól megítélhető a cölöp terhelés alatti viselkedése, teherbírása, süllyedése. Próbaterhelni kell ha:

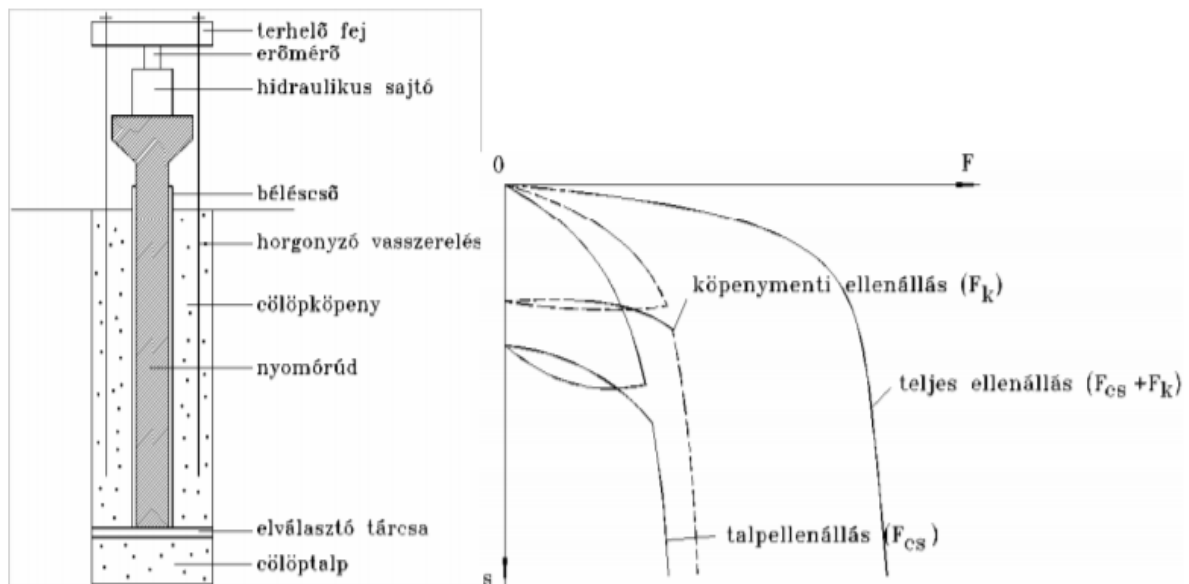
- más módon nem határozható meg megnyugtató módon a terhelés;
- új technológiával készített cölöpöknél
- szükség van a cölöp süllyedési jellemzőire

A próbaterhelést a helyszínen kell végezni, nem laboratóriumba. A próbaterhelésnek két fő eleme van. Egyik eleme a hidraulikus sajtó, másik pedig az ehhez felülről biztosító ellentartás.

Az utóbbi jelent problémát, mert a nagy teherbírási cölöpök próbaterheléséhez szükséges több ezer kN ellentartás létrehozása jelentős műszaki feladat. Az ellentartás két módszerrel oldható meg. Terhelőszekrényvel, és lehorgonyzó cölöpökkel.

Lépcsőzetesen kell növelni a terhelést. Egy-egy lépcső a várható törőteher 10%-át nem haladhatja meg. A következő lépcsőre csak akkor szabad áttérni, ha a süllyedés sebessége maximum 0,02mm/5perc. A konszolidációt minden esetben meg kell várni.

VUIS-féle próbaterhelés:



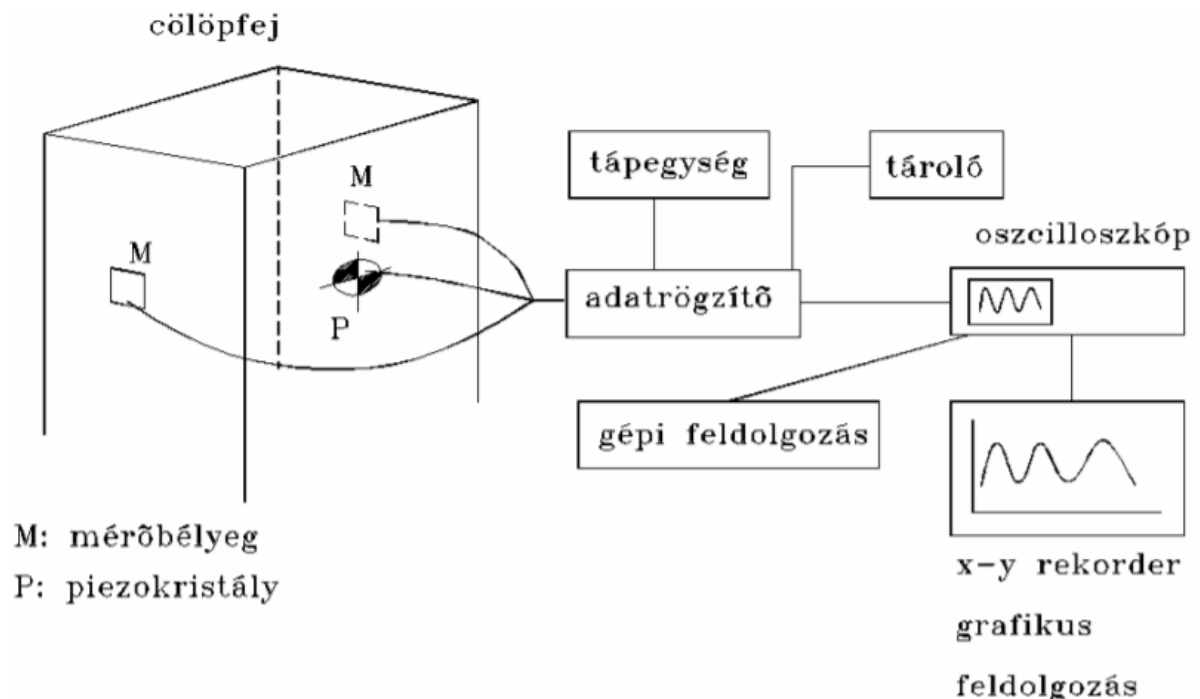
9. ábra: Vuis-féle próbaterhelés elrendezése

A VUIS-féle próbaterhelést általában nagy átmérőjű használják, amelynél a terhelőhid nélkül mód van a köpenymenti- és a talpellenállás elkülönítésére. A cölöptalpra egy elválasztó acéltárcsa kerül, amelyre támaszkodik a béléscső. Azt utána körbe betonozzák, így készül a köpenyelem. A béléscsőbe kerül a nyomó rudazat, amelynek a végére helyezik a hidraulikus sajtót – felette a horgonyzó vasszereléshez kapcsolt terhelő fej van.

4.2.2 Dinamikus próbaterhelés

A mérési módszer a megütött prizmatikus rúdban terjedő lökéshullámok elméletén alapul. A megütött (pl. verőkossal) állandó anyagminőségű cölöpben a lökéshullámok longitudinálisan futnak végig. A lefelé menő lökéshullámot a köpenysúrlódási erő csökkenti. A lökéshullám a cölöp talpáról nyomóhullámként verődik vissza. A cölöpfejbe bemenő és reflektált hullámerőket mérőbéllyegekkel mérjük. A gyorsulást piezokristály méri.

Dinamikus próbaterhelés



10. ábra: Dinamikus próbaterhelés elrendezés

A „sebességerő” diagramjából a köpenymenti lassítás alapján meghatározható a dinamikus köpenymenti erő. A dinamikus csúcserő $\Delta t = (2 \cdot l) / c$ idő múlva mérhető ki, azaz az erőmaximum visszaverődésekor, ahol l a cölöphossz, a c pedig a hullámsebesség. A statikus erőket a dinamikus erőkből kapjuk – statikus próbaterhelések alapján kimunkált – dinamikus csillapítási szorzók alkalmazásával. A dinamikus próbaterhelés az alacsonyabb költségvetése és gyorsasága miatt várhatóan felváltja majd a ma még megbízható statikus próbaterhelést.



11.ábra: Dinamikus cölöp próbaterhelés(Dynatest Group)

5 Anyag és módszer

5.1 Eurocode 7-1

Manapság az alapozási problémák nagy részét cölöpözéssel oldunk meg. Ennek okait már előzőleg kifejtettem, de mindenképpen érdemes ennél a módszernél is megemlíteni. 2011-től a tartó-, s ezen belül geotechnikai szerkezeteket is az Eurocode-ok szerint kell tervezni (Szepesházi, 2008). A cölöptervezések elsősorban azt kell igazolni, hogy nem következnek be sem az egyedi cölöp, sem a cölöp csoport nyomási ellenállásának kimerülésével GEO teherbírási határállapot. (Szepesházi, R. 2008)

Vizsgálni kell továbbá, hogy a cölöpalap elmozdulása - a további igénybevételekkel együtt – nem okoz-e STR teherbírasi vagy használhatósági határállapotot a felszerkezetben. A méretezés legfontosabb egysége az egyedi cölöp nyomási ellenállása, ha ez 2,0:2,5 biztonsággal meghaladja az igénybevételt, és a cölöpök tengelytávolsága eléri az átmérő (2,5-3,0)-szorosát, akkor a többi követelmény általában teljesül, azok vizsgálata persze továbbra sem mellőzhető. A nyomási ellenállás megállapítására az EC7-1 (MSZ EN 1997-1, 2006) három módszert fogad el. (Szepesházi, R. 2008)

Statikus próbaterhelés, talajvizsgálaton alapuló számítás, dinamikus próbaterhelés. A statikus és dinamikus próbaterhelést illetően az kevés új követelményt hoz, a technikai részleteiket szabályozó európai előírások kiadása a közeljövőben várható. A talajvizsgálaton alapuló számítás módját az EC7-1 pontosabban nem definiálja. Szondázások és laboratóriumi nyírószilárdsági vizsgálatok eredményeire épülő számításokat jöhetnek szóba. (Szepesházi, R. 2008)

5.1.1 Alapelvek az EUROCODE-ban

A cölöpök nyomási ellenállását a talpellenállás és a rétegenként megállapítható palástellenállások összegeként a következő képlet írja le.

$$R_c = R_b + R_s = A_b \cdot q_b + \sum A_{s,i} \cdot q_{s,i}$$

- R_c : a cölöp nyomási ellenállása (régén törőerő)
- R_b : a talpellenállás
- R_s : a palástellenállás
- A_b : a cölöptalp keresztmetszeti területe
- $A_{s,i}$: a cölöppalást keresztmetszeti területe rétegenként
- q_b : a fajlagos talpellenállás
- $q_{s,i}$: a fajlagos palástellenállás rétegenkénti értéke

Ezt a módszert manapság használják, eddig az elméleti megközelítés volt a jellemző. Mivel ez nem a legpontosabb módszer volt, nagy különbségek jöttek ki próbaterhelésekkel megállapított és a számított ellenállások között. Ezért a „tisztán” elméleti módszerek visszaszorultak, ma a legfeljebb a teherbírás-számítás kiindulópontját jelentik. Maradandó értékük persze az is, cölöpteherbírás mechanizmusát, a két ellenálláskomponens létrejöttében közreműködő talajjellemzők szerepét tisztázták.

A képletet a próbaterhelési eredményeket s a technológiát is figyelembe véve régóta „alakítgatják”, az így megformáltakat nevezhetjük szemiempirikus azaz elméleti képletnek. Magyarországon egy korábban használt Caquot-Kerisel módszert használtak, míg külföldön inkább az α -és β -módszert. Gyakran használnak gyakorlati módszert. Ilyen például a német DIN 1054 (2005) vagy az osztrák ÖNORM 4420. Manapság pedig mindenütt terjed a CPT q_c csúcs-ellenállására alapozott képletek használata. Ezeknek egy változata- a DIN táblázatai mellett- az EC7-2ben is megjelent, s leginkább ezzel dolgozik ma a hazai gyakorlat is. Az EC7-2 a holland módszert vette át, de bizonyos részleteket elhagytak, illetve nem kellő alaposággal közölték. (Szepesházi, R. 2011)

Az eddigi nemzeti szabványokban megjelent azonban több módszer is (de Cock, Legrand,1997) Fontosak továbbá a próbaterhelési eredményeket a számítottakkal összehasonlító elemzések (Briaud,1991;1997,Titi, Abu Farsakh,1999; Fellenius,2006;Pando et al.;2006)

Az előbb említett módszerek kritikai és összehasonlító elemzése szolgáltatott alapot a bemutatandó új javaslat megfogalmazásához is. Így nagy cölöpözési volument produkáló országok próbaterhelések ezerein alapuló, beválnak gondolható tervezési gyakorlatát tudjuk hasznosítani. Kétfajta csoportba lehet sorolni a CPT-alapú módszereket. Közvetlen és közvetett módszerek. A közvetlen módszereknél a q_b fajlagos talp- és q_s palástellenállást a CPT q_c csúcscellenállásból, valamilyen talajtól és a technológiától függő szorzót alkalmazva adják meg. A közvetett módszereknél pedig a kötött talajok esetében használatos eljárásban a q_c csúcscellenállásából előbb a talaj c_u drénezetlen nyírószilártságát számítják, s aztán abból a cölöpállásokat. (Szepesházi, R. 2011)

A mechanikai paramétereket valójában helyesebb a mért pórusvíznyomással és a számítható hatékony geosztatikai nyomással korrigált csúcscellenállásból számítani. Szemcsés talaj esetén nem olyan nagy ennek a jelentősége, mert az utóbbiak q_c -nek csak néhány %-át teszik ki. Kötött talaj esetén viszont korrekció lényeges lehet. Tapasztalatunk szerint azonban az eddigi haza CPT-vizsgálatok során a pórusvíznyomást ritkán tudták pontosan mérni. Ezért hazánkba inkább a korrigálatlan q_c értékre támaszkodunk. (Szepesházi, R. 2011)

A következőkben néhány olyan eljárásra térek ki, melyet az összehasonlító vizsgálatok és az EC7-2 emeltek ki a többi közül, s azokra a részletekre hívjom fel a figyelmet, melyekre eljárásunk megfogalmazásakor támaszkodtam. A szemcsés talajban ébredő talpellenállás számítására Schertmann, a gyenge rétegek teherbírás-csökkentő hatását markánsan figyelembe vevő módszerét (Fellenius,2006) sokak után most az EC7-2t is ajánlotta. De Ruiten és Beringen (Fellenius,2006) szerint azonban az így kapott talpellenállást indokolt és az előterheltségétől függően csökkentő tényezőket kell alkalmazni. Ők ajánlották egyébként elsőként, hogy a kötött talajokban ébredő talpellenállást Skempton (1959) szerint közvetett módszerrel számítsuk.

Következőkben felsorolok ilyen módszereket. Első ilyen az LCPC-féle módszer, mivel alkalmaztam a cölöpeim számításainál ezt a módszert.

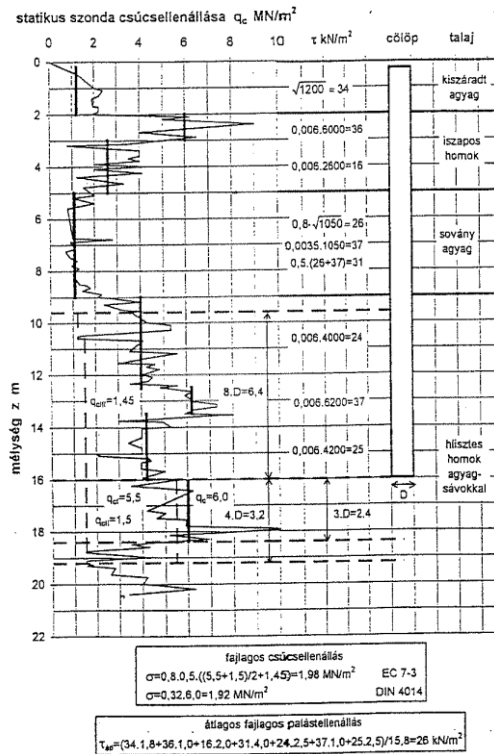
- A francia LCPC-féle módszer 197 próbaterhelés alapján nagyon sokféle cölöp- és talajtípusra ajánl közvetlen eljárást (Bustamante és Gianceselli, 1982). Mind a talp-, mind a palástellenállást a q_c -értékek növekedésével csökkenő szorzóval számolja. Az előbbire különösen óvatosan ad, és ráadásul kiszűri a talp körüli kiugró q_c -értékeket.
- A belga szabvány (de Cock és Legrand, 1997) is közvetlen eljárást kínál, s ebből is a sokféle szorzót lehet hasznosítani, melyek a másokéhoz hasonló trendeket és értékeket képviselnek. Különlegessége még a réteghatáron jellemző mérethatás figyelembevétele.
- A DIN 1054 (2005) szemcsés talajban készült fúrt cölöpökre adott, az EC7-2-be is bekerült közvetlen módszere tapasztalatunk szerint nagyon óvatos. A talpellenállások esetében ez azt hivatott ellensúlyozni, hogy a talp körüli zóna átlagos q_c -értékeit veszi figyelembe. Az EA-pfahle (2007) módosítja a Din ajánlásait, illetve bővíti a talp azokat más cölöpökre. Az átszámító szorzókat a q_c -értékek növekedésével mindkettőt csökkenti. Kötött talajokra csak a palástellenálláshoz közölnek irányszámokat, de saját gyakorlatunk ezeket nem igazolta.
- A holland közvetlen módszer, az EC7-2 alapja a talpellenállást illetően Schmertmann módszerét vette át, s alkalmazza de Ruiter és Beringen redukcióját is, amit viszont az EC7-2 „elfelejtett”. A Palástellenálláshoz a szemcsés talajokra javasolt szorzók arányaikban jónak ítélték. A kötött talajokra csak a palástellenálláshoz közölnek irányszámokat, de ezt semmilyen saját számításom nem igazolta.
- Mahler (2007) közvetlen módszere a pórusvíznyomással csökkentett hatékony q_{ce} -értékből különböző kitevőjű hatványfüggvényekkel számítja a fajlagos cölöpellenállásokat, s ezek az előbbiekhöz hasonló módszereket fejeznek ki.

- Szemcsés talajok fajlagos talpellenállást illetően kétféle megközelítés érzékelhető. Egyik mikor nagy súllyal veszik számításba a talp alatti és feletti kis q_c - értékeket, de elég nagy, 0,6/1,0 szorzót alkalmaznak. A másik módszer amikor a talp körüli zóna átlagos q_c -értékét veszi számításba, de ezt viszonylag kis, 0,2/0,8 szorzóval számítják át.
- Kötétt talajok fajlagos ellenállásainak számítására a legtöbb publikáció és szabvány a már említett Skemptonnak (1959) a c_u drénezetlen nyírószilárdságra épülő módszereit ajánlja. A fajlagos talpellenállást eszerint $q_b = N_c * c_u = 9 * C_u$ képlettel lehet meghatározni. (Szepesházi, R. 2008)

5.1.2 Javaslat a szemcsés talajokba kerülő cölöpök ellenállásainak számítására

A talpellenállást alapvetően az EC7-2 szerinti $q_b = \lambda_b * \alpha_b * 1/2 * ((q_{cIm} + q_{cIIIm})/2 + q_{cIIIIm})$ képlettel lehet számítani ahol:

- λ_b redukciós tényező a de Ruitert és Beringent szerinti redukciót hivatott elvégezni, és Magyarországon készülő CFA-cölöpökre vonatkozóan a 3.fejezetbeli elemzés alapján 0,6 kiindulási értékkel, más cölöpökre a technológia mérlegelése alapján becsült értékkel lehet számolni.
- α_b a cölöp típusát veszi figyelembe
- q_{cIm} a cölöptalp alatti t zóna mért q_c -értékeinek átlaga, mely t mélységet úgy kell, hogy $0,7 * D$ és $4,0 * D$ között felvenni, hogy a számított q_b a legkisebb legyen
- q_{cIIIm} a talp feletti $8,0 * D$ zóna legalacsonyabb q_c -értékeinek az átlaga, mely a „legkisebb” értékeket úgy kell felvenni, hogy a t mélységtől a talpig felfelé haladva az előzőnél mindig csak a kisebbet szabad számításba venni
- q_{cIIIIm} a talp feletti $8,0 * D$ zóna legalacsonyabb q_c -értékeinek az átlaga, mely a „kisebb” értékeket a talptól $8,0 * D$ -ig felfelé haladva az előbbi elv szerint kell felvenni, és a talptól a q_{cII} számításakor kapott utolsó értékből kell kiindulni.



12. ábra: Kiértékelési példa [Szepesházi, R. (2001)]

Az alábbi korlátok, szabályok tartandók még be. Ha kb. 1,0 m-nél rövidebb szakaszokon mutatkoznak kiugróan nagy q_c -értékek, akkor azokat célszerű előzetesen kiszűrni, a mellettük lévő kisebb értékekhez igazítani. A q_b , ha nagyobb mint 5 MPa feletti érték, akkor általában csak összehasonlítható próbaterhelési adatok alapján vegyünk figyelembe. A q_{bmax} esetén mindig 15 Mpa-s felső korlátot kell alkalmaznunk. Különös óvatosság ajánlott a meszes kötésű vagy folyós homokba kerülő CFA- és csavart cölöpök esetén, mert készítésükkor a talp körüli talaj állapota leromolhat.

A szemcsés talajok esetében a 2. ábrán bemutatott összehasonlítás alapján a kPa-ban behelyettesítendő q_c -ből, $q_s = \alpha_{sq} * \sqrt{q_c}$ képlet szerint lehet számítani, amihez az α_{sq} -szorzókat az előző táblázatban adtam meg.

5.1.3 Javaslat a kötött talajokba kerülő cölöpök ellenállásainak számítására

Bár a szabványba nem szerepel, de a szakirodalmi ajánlásokban a c_u drénezetlen nyírószilárdságot kell számítani $c_u = q_c / N_k$ képlettel és 12-18 közötti, a kötöttségtől függő, a helyi tapasztalat alapján pontosítható N_k -tényezővel, de lehet a középértéket közelítő $N_k = 15,5$ -tel számolni. Az én Eurocode számításaimban, is ezzel a 15,5-tel számoltam. Kötött talajként kell számolni a löszöket is.

A talpellenállás meghatározásához a talp alatti kb. $3,0 \cdot D$ és a talp feletti kb. $1,5 \cdot D$ vastagságú zóna egyedi „kissé” megszűrt q_c -értékeiből szabad számítani az egyedi c_u értékeket, azokból a c_u átlagát, s abból a talpellenállást.

A fajlagos talpellenállás Skempton (1959) nyomán a $q_b = \mu_b \cdot N_c \cdot c_u = \mu \cdot 9 \cdot c_u$ képlettel a második táblázatbeli μ_b technológiai szorzókkal és a következő korlátokkal számítható:

- az 1,0 m-nél rövidebb szakaszon mutatkozó kiugró q_c -értékeket célszerű előzetesen megszűrni
- a c_u , ha nagyobb mint 500 kPa drénezetlen nyírószilárdságot csak más, ezt igazoló talajvizsgálat esetén szabad számításba venni
- q_b érték, ha meghaladja a 2,5 Mpa értéket, akkor próbaterheléssel kell igazolni

A kötött talajok esetében az alábbi képlettel számoltam az Eurocode módszerben:

$$q_s = \mu_s \cdot q_{sq} \cdot \sqrt{qc} = \mu_s \cdot 1,2 \cdot \sqrt{qc}$$

5.1.4 Megfelelőség

Az EUROCODE szabványok bevezetése óta markánsan megváltozott a megfelelés vizsgálata. Sokkal nagyobb hangsúlyt kell rá fektetni, mint ez eddigi vizsgálatok előtt. A szabványos méretezések parciális tényezők módszerének alkalmazásával történik. Azt kell mutatni a határállapotok vizsgálatánál, hogy $E_d < R_d$. Aminek a lényege, hogy a tervezési érték nem haladhatja meg az ellenállási tervezési értéket. Ez a tervezési szabályt mindenképpen be kell tartanunk. Mindenképpen bele kell számítani, és tudnunk kell róla tervezőként is, hogy véletlenszerűen méretezési vagy kivitelezési hibák miatt tartalmazni kell teherbírás tartalékot. Ahhoz, hogy ezt megfelelően válasszuk ki a parciális tényezőket, tervezési módszereket írunk elő. (Design Approach= DA) Ezek tartalmazzák a megfelelő parciális tényező kombinációját.

Egy tervezési módszer elemei: A (Action=hatás,igénybevétel) + M (Material=agyag-, talajparaméter) + R (Resistance=ellenállás). (Magyar Mérnöki Kamara, 2012)

A cölöpök tervezésére (ULS) a Magyarországon elfogadott nemzeti melléklet szerint a 2. tervezési módszert írja elő. Ezen belül is a DA-2* változatot, mely A1+M1+R2-es kombinációt tartalmaz (Szepesházi, R. , 2008)

A parciális tényezők magyar nemzeti mellékletben meghatározott értékei

határ- állap- ot	terve- zési mód- szer	hatás v. igénybevétel (A)			talajparaméterek (M)				ellenállás (R)											
		jellemző	átlan- dó	hasz- nos	haté- kony belső sűrű- dési szög ^a	haté- kony kohé- zió	dréne- zelen nyró- szelvé- ség	ter- fogal- mány	sáncalop		cölöp				horgony		támszerkezet			rész- és ált. állé- kony- ság
									talaj- lörés	el- csú- zás	tipus	talp- ellen- állás	palást- ellen- állás	teljes ellen- állás	húzási ellen- állás	ide- igle- nes	tar- tós	talaj- lörés	el- csú- zás	
γ_a	γ_G	γ_Q	γ_c	γ_{cu}	γ_r	γ_{Rv}	γ_{Rh}	γ_b	γ_s	γ_t	γ_{s1}	γ_{s2}	γ_{s3}	γ_{sD}	γ_{Rv}	γ_{Rh}	γ_{Re}	γ_{Rc}		
EGU	kedvezőtlen	1,10	1,50	1,35	1,35	1,50	1,00													
	kedvező	0,90	0																	
GEO STR	2 ^b		1,35	1,50	1,00	1,00	1,00	1,40	1,10	vert	1,10	1,10	1,10	1,25	1,10	1,10	1,40	1,10	1,40	
										fűt	1,25	1,10	1,20	1,25						
											CFA	1,20	1,10	1,15	1,25					
3 ^c	geotechnikai	1,00	1,30	1,35 ^d	1,35 ^d	1,50 ^d	1,00												1,00	
	fűszerkezeti	1,35	1,50																	
UPL	kedvezőtlen	1,00	1,50	1,25	1,25	1,40	1,00							1,40	1,40	1,40				
	kedvező	0,90	0																	
HYD	kedvezőtlen	1,35	1,50	1,25	1,25	1,40	1,00													
	kedvező	0,90	0																	

^a Ez a tényező a tanfő-re alkalmazandó.

^b A 3. tervezési módszer esetében a talajfizikai paraméterekhez a szabványban $\gamma_c = \gamma_q = 1,25$, $\gamma_{cu} = 1,4$ parciális tényezők szerepelnek (a tervezett 1,35 illetve 1,5 helyett), melyet a példatár kidolgozása kapcsán a hazai bevezetést előkészítő munkacsoport felé jeleztünk és azóta a javítást kezdeményezték.

^c Az MSZ EN 1997-1:2006 Nemzeti mellékletének NA9 pontja kimondja, hogy „a sáncalopok, a cölöpök, a támszerkezetek, a talajhorgonyok és bármely más geotechnikai szerkezet tervezésére a 2. tervezési módszert, a parciális tényezőcsoportok A1 + M1 + R2 kombinációját kell alkalmazni”, illetve „a részük és bármely geotechnikai szerkezet általános állékonyságának vizsgálatára a 3. tervezési módszert, a parciális tényezőcsoportok A2+M2+R3 kombinációját kell alkalmazni.

13. ábra: A MSZ EN 1997 szabvány szerinti parciális tényezők, ahol kiemelve szerepel a DA-2* tervezési módszer [Magyar Mérnöki Kamara (2012)]

Az $R_{c;mean}$ és $R_{c;min}$ a kiválasztott cölöpnnyomási ellenállás átlaga és minimuma, melyet a háromféle teherbírás meghatározó módszerrel lehet kiszámolni. A ξ_1 és ξ_2 az átlaghoz és a minimumhoz tartozó korrelációs tényező, melyet a cölöppenállás meghatározásától és a vizsgálat számtól függ. (Szepesházi, R. 2008)

A tervezési érték kiszámításával még nem teljes a módszer, mert az MSZ EN 1997 lehetővé tesz modelltényező használatát is.

$$R_{c;d} = \text{Min}(R_{c;k}/\gamma_t; R_{h;k}/\gamma_b; R_{s;k})/\gamma_{R,d}$$

Mérlegelni kell a helyes tervezési cölöpteherbírás megadásához a korrelációs tényezőt, a parciális, és modelltényezőket.

5.2 Francia módszer (LCPC)

Bustamante és Gianceselli 1981-ben 197 próbaterhelés eredményét analizálva közölték méretezési javaslatukat, melyet gyakran LCPC módszerként idéznek. Ebben mind talp-, mind a palástellenállást a CPT q_c -értékéből számítják, s figyelembe veszik a cölöp- és a talajtípust is. A módszert számos fontos irodalom (Lunne és tsai, 1997; Fellenius, 2006) alapeljárásnak tekint.

Az eljárásról többféle publikációt lehet találni, melyek a lényegüket tekintve azonosak, de az ajánlott számértékekben esetenként némileg különböznek. Bustamante és Frank (1997) tájékoztat a francia szabványban szereplő változatról, elvileg ezt kellene a leginkább autentikusnak tekinteni, ám a CPT-re vonatkozó táblázatok hiányosnak és (talán szerkesztési okok miatt) zavarosnak, hibásnak látszanak. Ezért inkább a CFEM (1992), Lunne és tsai (1997), Fellenius (2006) és Pando és tsai (2006) által közölt számértékeket fogadjuk el.

A számítási mellékletbe található az én LCPC módszer által számolt adataim.

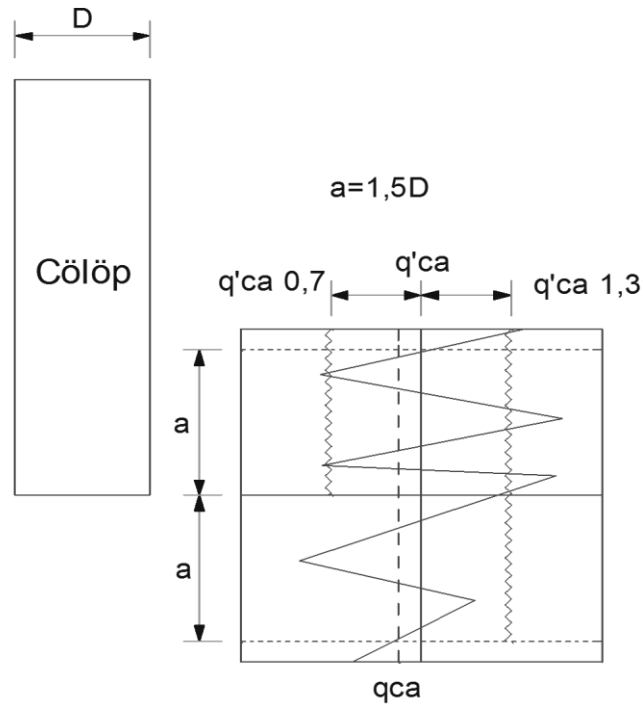
A fajlagos talpellenállást $q_b = \alpha_b \cdot q_{c,eq}$, képlettel számítják, melyben a

- $q_{c,eq}$ a talp alatti és feletti $1,5 \cdot D$ közötti talajzóna CPT-vel mért q_c értékeiből a 3.5. ábra szerint számított equivalens $q_{c,e}$ -érték
- α_b a talajtól és a cölöptípustól függő talpellenállási szorzó a 3.1 táblázat szerint.

A 11. ábra szerinti eljárás a kiugró értékek kiszűrését eredményezezi, s nem tulajdonít akkora súlyt a kisebb ellenállásoknak, mint más hasonló módszerek. Ezt a módszer ellensúlyozza, hogy a α_b szorzók kisebbek, mint máshol. Sajátos az is, hogy a többi módszerben ajánlottnál kisebb talajzóna teherbírását tartja meghatározónak.

Az LCPC módszer menete

1. a talp feletti és alatti $1,5 \cdot D$ zóna átlagos q_{ca} értékének számítása
2. az $1,3 \cdot q_c$ értéknél nagyobb, illetve a $0,7 \cdot q_{ca}$ értéknél kisebb q_c -értékek kiszűrése az ábra szerint
3. a $q_{c,eq}$ equivalens érték számítása a megmaradó q_c -értékek átlagaként a kihagyottak helyett a $1,3 \cdot q_{ca}$ vagy $0,7 \cdot q_{ca}$ értékkel számolva



14.ábra Csúcsellenállás figyelembe vétele (Kaczvinszki-Szabó, V. ; Telekes, G. 2018)

A fajlagos palástellenállást a 1. táblázat segítségével a $q_s = \alpha_b / q_c$ képlettel a talaj- és a cölöptípustól függően számítják és felső korlátot is megadnak.

Talajtípus	q_c (Mpa)	I csoport	II csoport
puha agyag és iszap	<1	0,4	0,5
közepesen tömör agyag	1-5	0,35	0,45
iszap és laza homok	≤ 5	0,4	0,5
tömörtől a sűrű agyagig és tömör iszap	>5	0,45	0,55
puha mállott mészkő	≤ 5	0,2	0,3
közepesen tömör homok és kavics	5-12	0,4	0,5
mállottól a töredezett mészkőig	>5	0,2	0,4
tömörtől a nagyon tömör homokig és kavics	>12	0,3	0,4

1. táblázat: k_c érték a talaj típusától függően [Bustamante, M., Ganeselli, L. (1982)]

Átlagolás után kell a palástellenállást számolni. A kiátlagolt q_c be kell osztani az adott talajhoz tartozó α -val.

Talajtípus	q_c (10^5Pa)	I csoport		II csoport	
		A	B	A	B
puha agyag és iszap	<10	30	30	30	30
közepesen tömör agyag	10-50	40	80	40	80
iszap és laza homok	≤ 50	60	150	60	120
tömörtől a sűrű agyagig és tömör iszap	>50	60	120	60	120
puha mállott mészkő	≤ 50	100	120	100	120
közepesen tömör homok és kavics	50-120	100	200	100	200
mállottól a töredezett mészkőig	>50	60	80	60	80
tömörtől a nagyon tömör homokig és kavics	>120	150	300	150	200

2. táblázat: α érték a talaj típusától függően

A talpellenállást illetően a módszer a számításba vett csekélyebb mélység hatás és a kisebb q_c -értékek kevésbé hangsúlyos kezelése miatt inkább a mélységgel alapvetően javuló talajkörnyezetbe kerülő cölöpök esetében ajánlható. (Bustamante, M., Gianceselli, L. 1982)

5.3 Próbaterhelés

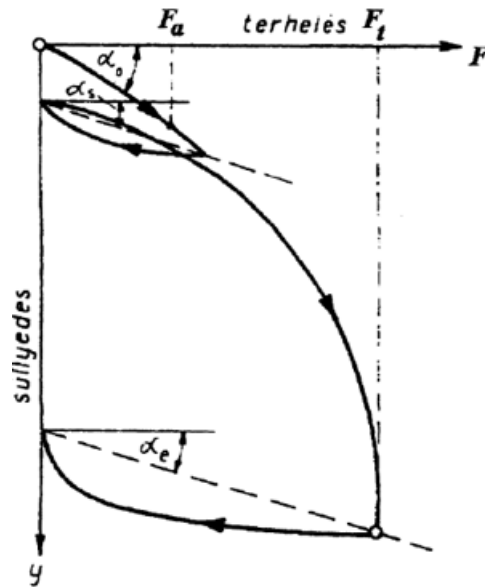
A próbaterhelésből, ahogy említettem nem mindig tudjuk meg rögtön a határ- vagy törőteherbírást, mert sajnos nincs néha elegendő terhelőerő, ahhoz, hogy a mai nagy teherbírási cölöpöket törésig terheljük. Az ilyen görbék kiértékelésére is számtalan módszer létezik. Ezek eredményeként kapom meg a feltételezett törőterhet. Lényegük, hogy a korán véget érő próbaterhelési görbékből törőteherbírási adatokhoz jussunk. (Kaczvinszki-Szabó, V. 2019) Ahhoz, hogy megértsük, hogy miért okozhat problémát a görbék kiértékelése, nézzük meg milyen nehézségek zavarhatják meg a próbaterhelés tervszerű befejezését.

Ilyet, lehet: (Szabó, 1975)

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

A nem törésig végzett próbaterheléseket más módszerekkel is el lehet végezni. Ilyen a hiperbolikus, logaritmikus, numerikus, de a legismertebb mind közül a grafikus interpolációval történő kiértékeléssel egészíthetjük ki.

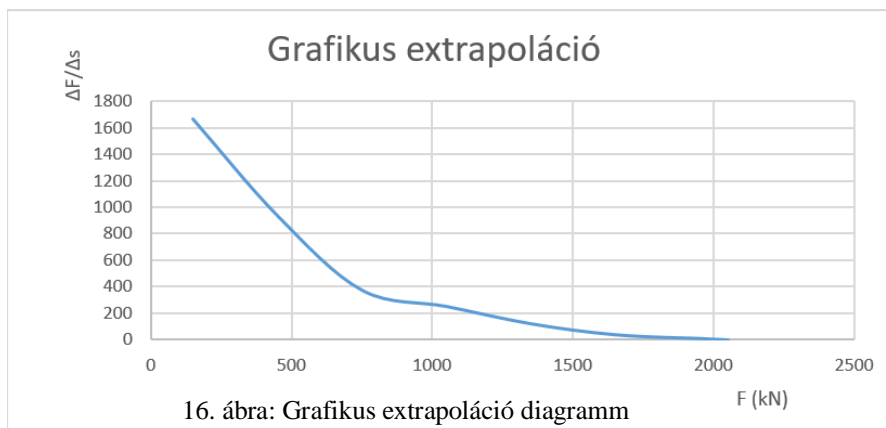
A törőerő az a terhelés (F_t), amelynél az erő növelése nélkül is folyamatos a süllyedés



15. ábra: Terhelés-süllyedés diagramm

5.3.1 Grafikus extrapoláció

Ez a módszer kibővíti a próbaterhelésből kapott eredmények és megmutatja a tönkremenetelnek a pontosabb értékét. A próbaterhelésből kapott eredményekből számoljuk, amihez szükségünk van a terhelt erőre és az ebből bekövetkező süllyedésekre. Anka Magdolna szakvéleményében fedezték fel a konzulensemmelel, de a szakirodalomban nem találtunk utalást.



16. ábra: Grafikus extrapoláció diagramm

Függőleges tengelyen az $(F_2-F_1)/(s_1/s_2)$, vízszintes tengelyen, pedig $(F_2+F_1)/2$ -et ábrázoltam

5.4 Hooke törvény

A törőteher-számítás módszereknek általános hibája az, hogy figyelmen kívül hagyják, azt, hogy palástonál és a csúcsonál is más-más süllyedésnél merül ki a teherbírási. A terhelés hatására a palástsúrlódás és a csúcscellenállás aránya változik. Kézdi szerint, a süllyedéstől a csúcscellenállás lineárisan, a palástsúrlódás, pedig exponenciálisan függ. Azt csak az egyszerűsítés okozza, hogy a palástsúrlódást végül egy hiperbolával közelíti. (Palotás,1984)

$$F_h = a \cdot s + (s / (s + s_h)) \cdot F_{kt}$$

a = csúcscellenállás tényezője, mely függ a cölöp átmérőjétől és a csúcs alatti talaj összenyomódási modulusától (kN/mm)

s_h = a hiperbola görbültségére jellemző érték (mm)

s = süllyedés, melyhez a számított terhelő erőt határozzuk meg (mm)

F_{kt} = a palástsúrlódás törőértéke (kN)

Ehhez a képlethez hasonlít az a módszer is, melyet a számításaim során alkalmaztam.

Hooke törvényből indulok ki a csúcscellenállás számításánál, ami hasonló az előző számításhoz. Viszont a csúcscellenállási tényezőt más módszerrel számolja.

$$a = (A \cdot E_s) / 2D \text{ kN/mm}$$

$\sigma = E \cdot \varepsilon$ alapképletbe behelyettesítem a cölöpre a vonatkoztatott 2D határmélységet, így a csúcscellenállás tényezője az alábbi módon alakul ki.

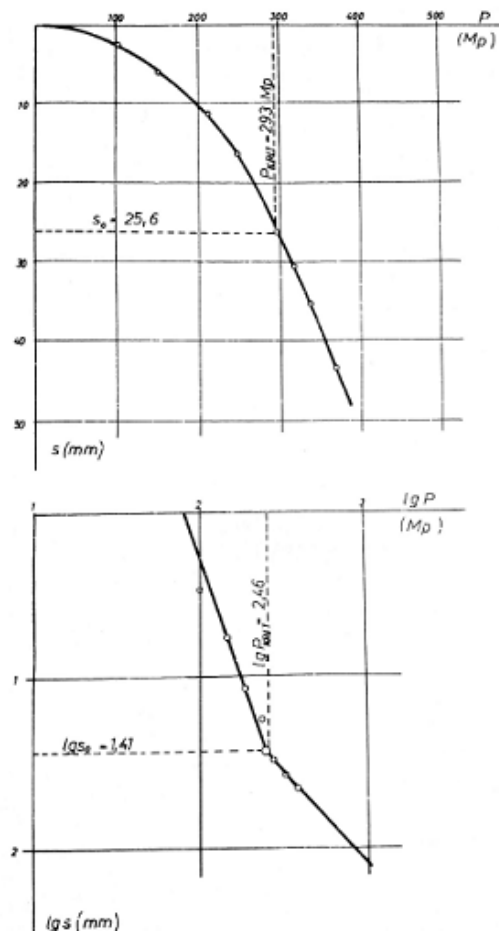
Érdekes, azt látni, hogy a több száz mérési eredményi alapján meghatározott hiperbolikus módszer és a Hooke-törvény, milyen különböző eredményeket hoz.

5.5 Logaritmusos közelítés

A próbaterhelési görbe értékelésénél a szubjektivitás kizárására használható még a görbe logaritmusos léptékben való ábrázolása is. A görbén a kritikus teher egyértelmű kijelölése, amelyen túl a terhelő erők kismértékű növekedéshez már jelentős és egyre növekvő süllyedések tartoznak, elsőrendű feladata a megbízható, helyes kiértékelés.

Abban az esetben, ha logaritmusos léptékben rakjuk fel a konszolidált terhelési-süllyedési értékpárokat, tulajdonképpen logaritmusos transzformációt alkalmazunk. A terhelés-süllyedés mértéke az ábra szerinti görbén fekszenek. Ugyanezen mért értékeket kettős logaritmusos koordináta rendszerben felrakva a pontok két különböző hajlásszögű egyenesen helyezkednek el.

A két egyenes metszéspontja kijelöli a keresett kritikus terhelés (P_{krit}) és a nyírás teljes kialakulásához tartozó süllyedést. A logaritmusos értékeket ($p_{,s}$) visszakeresve, az eredeti ábrán berajzolható a P_{krit} terhelőerő és az s_0 süllyedés. (Szabó, Gy. 1978)



17. ábra: Próbaterhelési görbe metrikus és logaritmusos léptékben (Szabó, Gy. 1978)

6. Összefoglalás, eredmények összehasonlítása

Cölöp 1

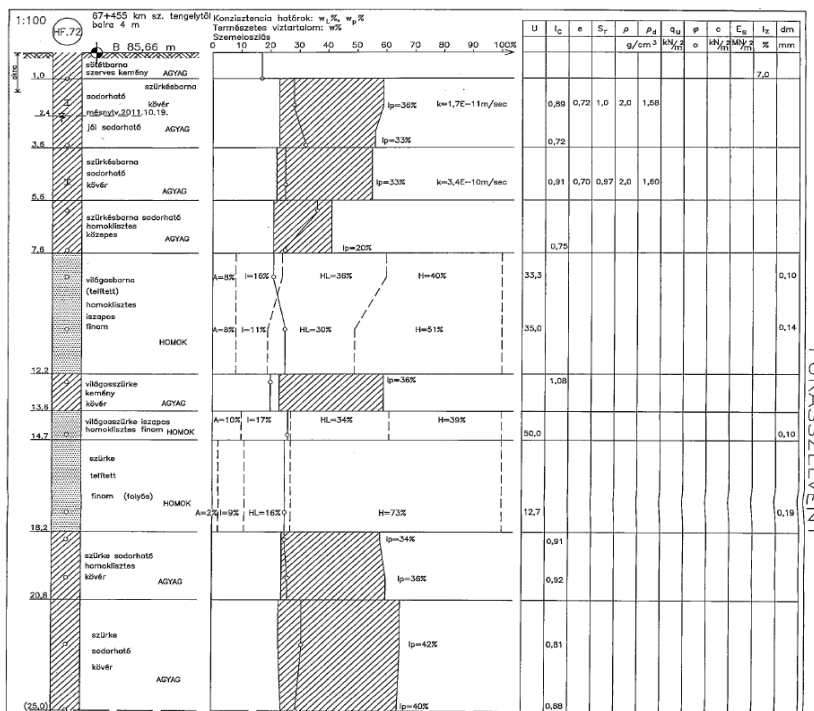
Cölöp típusa Fúrt, CFA
 Cölöp átmérő 800 mm
 Cölöphossz 12 m

Próbacölöp adatai

Cölöp típusa Fúrt, CFA
 Cölöp átmérője 800 mm
 Terepszint 85,9 mBf
 Lavírsík 85,5 mBf
 Fejtőmb alsó síkja 84,7 mBf
 Beton minőség C30/37-XA2-16-F5
 Cölöpcsúcs szintje 73 mBf
 Cölöphossz 12 m
 Hasznos cölöphossz 11,7 m

Talajmechanika:

Kövéragyag 0-5,6 m
 Közepes agyag 5,6-7,6 m
 Iszapos finomhomok 7,6-12,2 m
 Kövér agyag 12,2-13,6 m
 Finomhomok 13,6-18,2 m



18. ábra: Cölöp1 fúrászelvény

Cölöp 1

LCPC módszerre

Talpellénállás 1920,73 kN

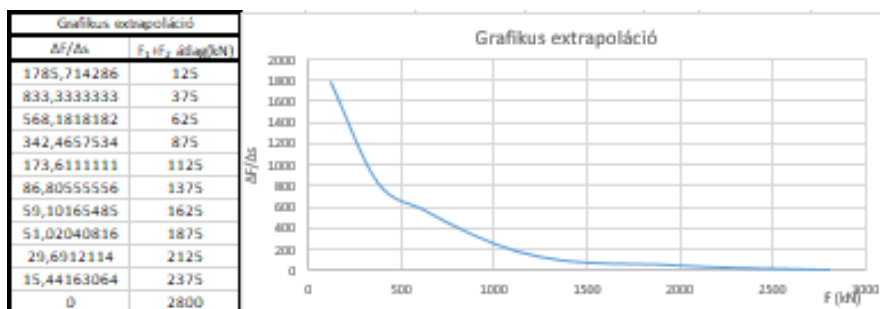
Palástellenállás 823,85 kN

Teljes nyomási ellenállás 2744,58 kN

Lcpc						
1.	1,50	1,2		q'ac	6,61	6,61
2.	4,80				4,628677686	8,596116
3.	4,80					
kc meghat	iszapos és laza homok miatt 0,4 és 0,5 de mivel CFA ezért 0,4			I. csop	0,4	II. csop
						0,5
	$\sigma_{cs} = q_{ca} \cdot k_c$				1920,725907	kN
	talajtípus					
	iszapos laza homok, 60 és 150 de mivel CFA ezért 60					
	átlagolás a teljes palást mentén				4,94	
	$T_{aocs} = q_c / \alpha$				823,8472222	kN
	Rccal				2744,573129	kN

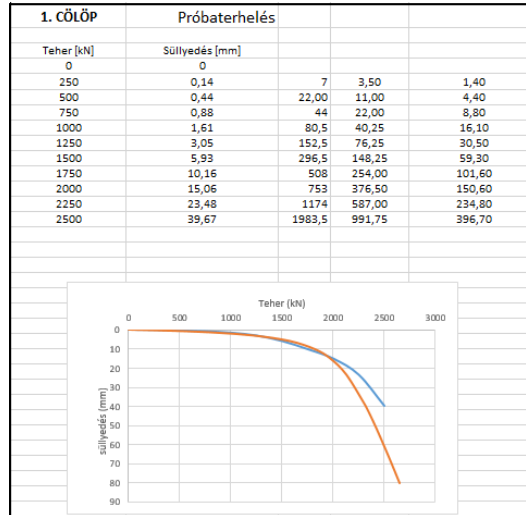
4. táblázat: Cölöp1 LCPC módszerrel Excellel

Grafikus extrapolációval



5. táblázat: Cölöp1 Grafikus extrapoláció módszer Excellel

Próbaterhelési görbe, és a Hooke-törvény által alkalmazott görbeillesztési módszer nagyon nagy szórással dolgozik, feltehetőleg ezeknél az adatoknál, ezeknél a talajoknál ez a módszer nem alkalmazható.



6. táblázat: Cölöp1 próbaterhelés

a	s	kh=wall/2	fks	fs	D	Es	4	A	I	D	D	D	F	s
5,59734	0	2,5000	2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	0,92362824	115,75954	116,683168	250	0,14
5,59734	0,14		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	2,902831612	326,691647	329,594479	500	0,44
5,59734	0,44		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	5,805663224	568,32748	574,133144	750	0,88
5,59734	0,88		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	10,62172476	855,099669	865,721304	1000	1,61
5,59734	1,61		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	20,12190095	1199,60852	1219,73042	1250	3,05
5,59734	3,05		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	39,12225332	1535,53529	1574,65755	1500	5,93
5,59734	5,93		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	67,02902086	1751,83293	1818,86195	1750	10,16
5,59734	10,16		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	99,35600926	1872,11768	1971,47369	2000	15,06
5,59734	15,06		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	154,9056506	1972,83893	2127,74458	2250	23,48
5,59734	23,48		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	261,7166592	2053,48381	2315,20047	2500	39,67
5,59734	39,67		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	263,8937829	2054,48865	2318,38243	40	156914,283
5,59734	41		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	270,4911275	2057,4405	2327,93162	41	
5,59734	42		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	277,088472	2060,25968	2337,34815	42	
5,59734	43		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	283,6858166	2062,95495	2346,64076	43	
5,59734	44		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	290,2831612	2065,53428	2355,81745	44	
5,59734	45		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	296,8805058	2068,00502	2364,88552	45	
5,59734	46		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	303,4778503	2070,37387	2373,85172	46	
5,59734	47		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	310,0751949	2072,64701	2382,7222	47	
5,59734	48		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	316,6725395	2074,83012	2391,50266	48	
5,59734	49		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	323,2698841	2076,92845	2400,19833	49	
5,59734	50		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	329,8672286	2078,94684	2408,81407	50	
5,59734	51		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	336,4645732	2080,89979	2417,35436	51	
5,59734	52		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	343,0619178	2082,76143	2425,82334	52	
5,59734	53		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	349,6592623	2084,56562	2434,22488	53	
5,59734	54		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	356,2566069	2086,30595	2442,56255	54	
5,59734	55		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	362,8539515	2087,98574	2450,83969	55	
5,59734	56		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	369,4512961	2089,60811	2459,05941	56	
5,59734	57		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	376,0486406	2091,17594	2467,22458	57	
5,59734	58		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	382,6459852	2092,69195	2475,33793	58	
5,59734	59		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	389,2433298	2094,15865	2483,40198	59	
5,59734	60		2182,89419	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12000	395,8406744	2095,57842	2491,41909	60	
5,59734	61		2183,07609	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12001	402,4380189	2097,12822	2499,56624	61	
5,59734	62		2183,258	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12002	409,0353635	2098,6356	2507,67096	62	
5,59734	63		2183,43991	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12003	415,6327081	2100,10251	2515,73522	63	
5,59734	64		2183,62182	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12004	422,2300526	2101,53077	2523,76082	64	
5,59734	65		2183,80373	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12005	428,8273972	2102,92211	2531,7495	65	
5,59734	66		2183,98563	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12006	435,4247418	2104,27813	2539,70287	66	
5,59734	67		2184,16754	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12007	442,0220864	2105,60036	2547,62245	67	
5,59734	68		2184,34945	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12008	448,6194309	2106,89025	2555,50968	68	
5,59734	69		2184,53136	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12009	455,2167755	2108,14914	2563,36592	69	
5,59734	70		2184,71326	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12010	461,8141201	2109,37832	2571,19244	70	
5,59734	71		2184,89517	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12011	468,4114647	2110,57901	2578,99047	71	
5,59734	72		2185,07708	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12012	475,0088092	2111,75235	2586,76116	72	
5,59734	73		2185,25899	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12013	481,6061538	2112,89942	2594,50557	73	
5,59734	74		2185,4409	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12014	488,2034984	2114,02126	2602,22476	74	
5,59734	75		2185,6228	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12015	494,8008429	2115,11884	2609,91969	75	
5,59734	76		2185,80471	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12016	501,3981875	2116,1931	2617,59128	76	
5,59734	77		2185,98662	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12017	507,9955321	2117,2449	2625,24043	77	
5,59734	78		2186,16853	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12018	514,5928767	2118,2751	2632,86797	78	
5,59734	79		2186,35044	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12019	521,1902212	2119,28447	2640,47469	79	
5,59734	80		2186,53234	7,237885-05	800	0,021	D	502654,8246	12020	527,7875658	2120,27379	2648,06135	80	

7.táblázat: Cölöp1 próbaterhelés Hooke-törvénnyel

Cölöp 2

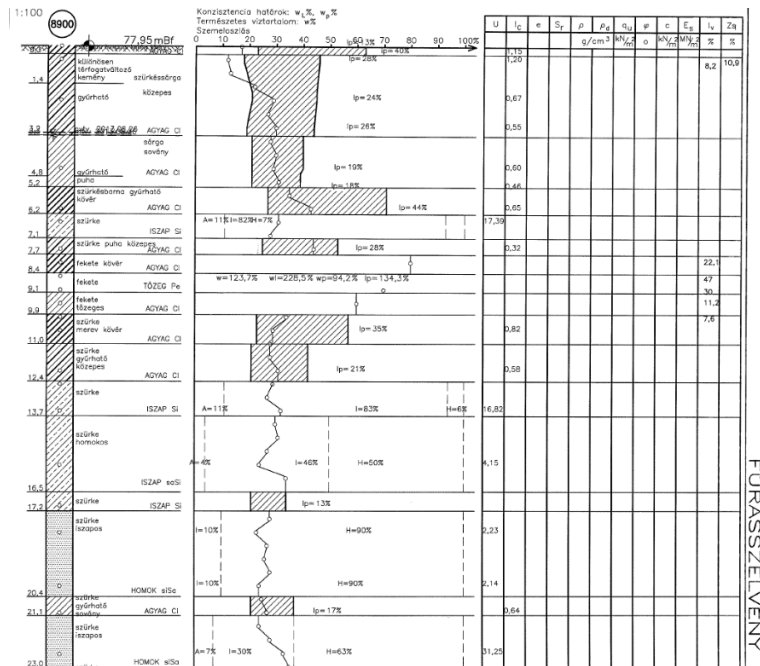
Cölöp típusa	Fúrt, CFA
Cölöp átmérő	800 mm
Cölöphossz	21,79 m

Próbacölöp adatai

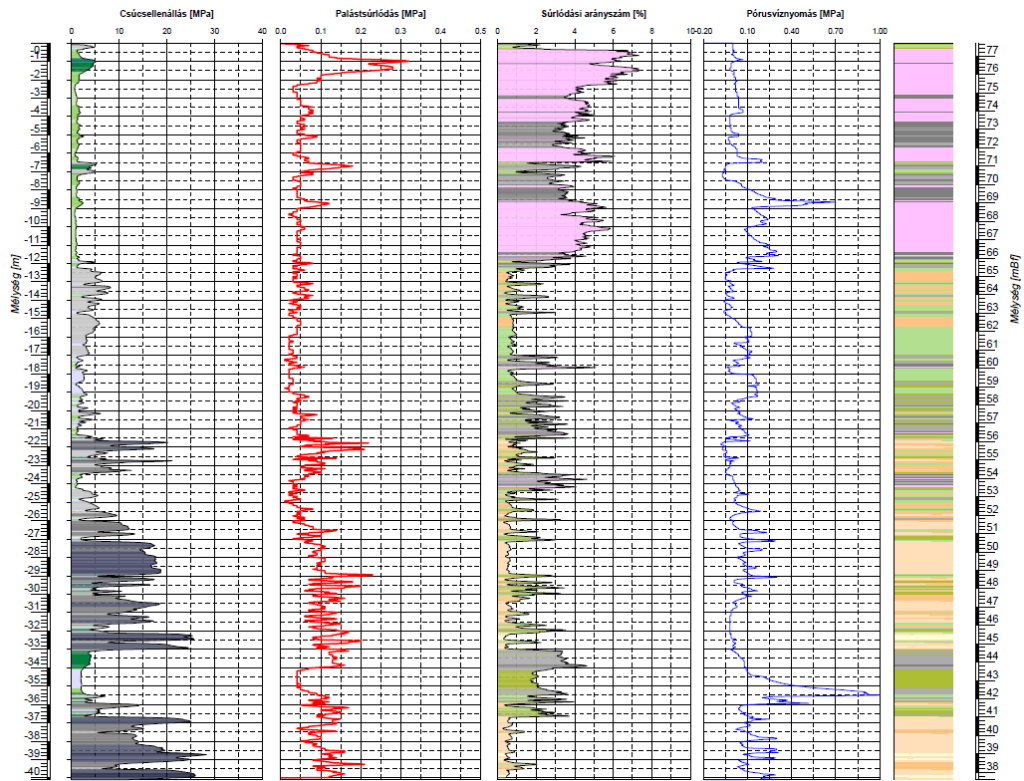
Cölöp típusa	Fúrt, CFA
Cölöp átmérője	800 mm
Terepszint	77,7 mBf
Lavírsík	77,7 mBf
Fejtömb alsó síkja	77 mBf
Beton minőség	C30/37-XA2-16-F5
Cölöpcsúcs szintje	55,91 mBf
Cölöphossz	21,79 m
Hasznos cölöphossz	21,09 m

Talajmechanika

Agyag:	0-6,2	m
Szürke iszap:	6,2-7,1	m
Agyag:	7,1-8,4	m
Tőzeg:	8,4-9,1	m
Agyag:	9,1-12,4	m
Homok	12,4-20,4	m
Agyag:	20,4-21,1	m
Homok:	21,1-23	m



20. ábra: Cölöp2 fúrászelvény



21. ábra: Cölöp2 CPT szonda

Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása EUROCODE alapján

Talpellennállás

Rbcal= 448,293502 kN

Palástellenállás

Rscal= 2540,19 kN

Teljes nyomási ellenállás

Rccal 2988,48 kN

Eurocode	Szemcsés talaj alapján számítva			
Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása				
$R_{ccal} = R_{scal} + R_{bcal} = K \cdot \sum (h_i \cdot q_{scal}) + A_b \cdot q_{bcal}$				
$K \cdot \sum (h_i \cdot q_{scal}) + A_b \cdot q_{bcal}$	2988,48015	kN		
Talpellennállás	$q_{bcal} = \lambda_b \cdot 0,5 \cdot (q_{cIII} + (q_{cII} + q_{cI}) / 2)$		qcl= 3,56 qcII= 2,001741935 qcIII= 1,464541342	
Rbcal=	448,293502	kN	qbcac= 891,851585	kN
Palást ellenállás	Szemcsés $q_{scal} = \alpha_{sg} \cdot V_{qc}$ Kötött $q_{scal} = \mu_{sg} \cdot 1,2 \cdot V_{qc}$		Agyag: 51,41398183 kPa hi= 5,5 Szürke iszap: 64,24303853 kPa hi= 0,9 Agyag: 42,511175 kPa hi= 1,3 Tőzeg: 50,02246353 kPa hi= 0	
Rscal=	2540,186648	kN	Agyag: 46,29023066 kPa hi= 3,3 Homok: 48,21739381 kPa hi= 8 Agyag: 72,08252414 kPa hi= 0,7 Homok: 37,52654013 kPa hi= 0,69	
Teljes nyomási ellenállás				
Rccal	2988,48015	kN		

8. táblázat: Cölöp2 Eurocode módszerrel Excellel

Cölöp 2

LCPC módszerrel

Talpellenállás 1614,09 kN

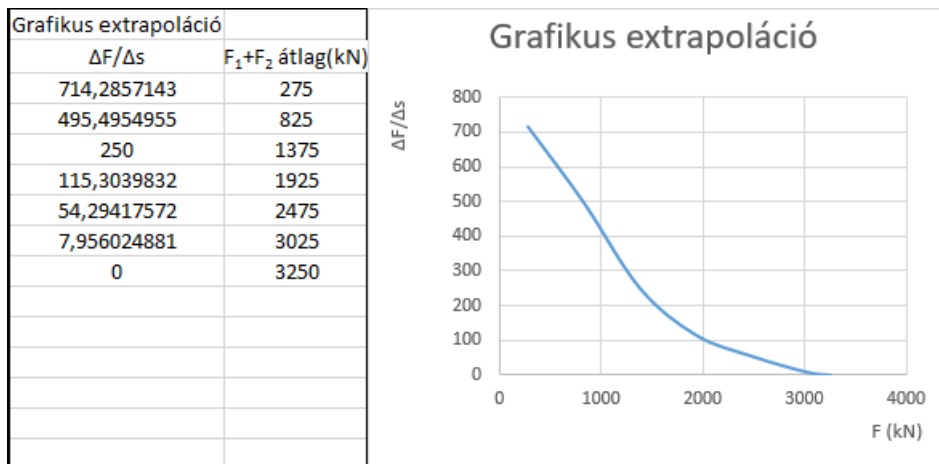
Palástellenállás 1035,18 kN

Teljes nyomási ellenállás 2649,20 kN

LCPC					
1.	1,5D	1,2		q'ac	4,36
2.	eltávolítani az adatokat				3,051619502
3.	4,04		végleges qc az eltávolítások után		5,667293
kc meghat	iszap és laza homok miatt 0,4 és 0,5 de mivel CFA ezért 0,4		I. csop 0,4	II. csop 0,5	
$\sigma_{cs} = q_{ca} \cdot k_c$			1614,09495	kN	
talajtípus a cölöp csúcsánál		szürke,iszapos homok			
iszapos laza homok, 60 és 150 de mivel CFA ezért 60					
átlagolás a teljes palást mentén		agyag	4,14		
$T_{aocs} = q_c / \alpha$			1035,183587	kN	
Rccal			2649,278537	kN	

9. táblázat: Cölöp2 LCPC módszerrel Excellel

Grafikus extrapolációval



10. táblázat: Cölöp2 Grafikus extrapoláció

Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása EUROCODE alapján

Talpellénállás

R_{bcal}= 581,7581 kN

Palástellenállás

R_{scal}= 1502,317 kN

Teljes nyomási ellenállás

R_{ccal} = 2084,075 kN

Eurocode	kötött talaj alapján számítva						
Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása							
Talpellénállás kötött talajban:							
1,157370968							
C _u =	0,142885305	Mpa					
Q _c =	2,21	Mpa					
R _b =	581,7581008	kN					
Palást ellenállás	Szemcsés		Kövérgyag:	52,76399667	kPa	h _i =	1,2
	q _{scal} =α _{sg} *V _{qc}		Közepes agyag:	51,71150742	kPa	h _i =	0,9
	Kötött		Kövérgyag:	43,76826247	kPa	h _i =	2,5
	q _{scal} =μ _{sg} *1,2*V _{qc}		Közepes agyag:	51,08017228	kPa	h _i =	6
R _{scal} =	1502,31675	kN	sovány agyag	51,42428554	kPa	h _i =	1,4
Teljes nyomási ellenállás							
R _{ccal}	2084,074851	kN					

13. táblázat: Cölöp3 Eurocode számolás

Cölöp 3

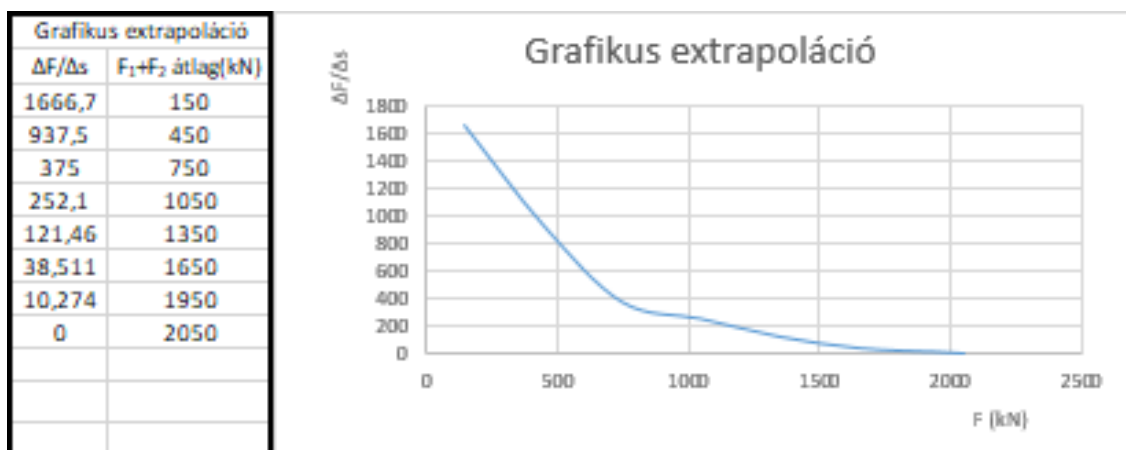
LCPC módszerrel

Talpellállás	821,29 kN
Palástellenállás	476,35 kN
Teljes nyomási ellenállás	1297,64 kN

Lcpc						
1.	1,5D	1,2		q'ac	2,08	2,08
2.	eltávolítani a kijelölt elemeket, de nem változik a q'ac					
3.	2,05				1,455132231	2,702388
kc meghat	közepes agyag de mivel CFA ezért I.csop és 0,35			I. csop 0,4	II. csop 0,45	
	$\sigma_{cs} = q_{ca} * k_c$			821,2863056		kN
	talajtípus					
	iszapos laza homok, 60 és 150 de mivel CFA ezért 60					
	átlagolás a teljes palást mentén			1,91		
	$T_{aocs} = q_c / \alpha$			476,35625		kN
	Rccal			1297,642556		kN

14. táblázat: Cölöp3 LCPC módszerrel számítva

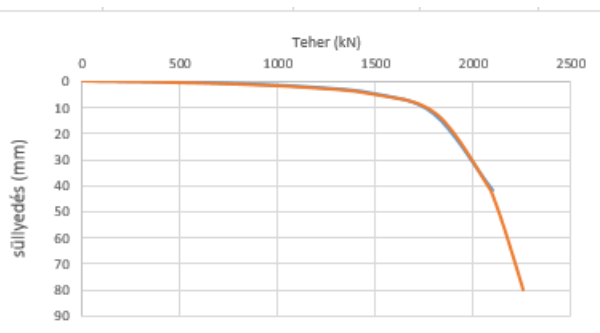
Grafikus extrapolációval



15. táblázat: Cölöp3 Grafikus extrapoláció

Próbaterhelési görbe, és a Hooke-törvény által alkalmazott görbeillesztési módszer nagyon nagy szórással dolgozik, feltehetőleg ezeknél az adatoknál, ezeknél a talajoknál ez a módszer nem alkalmazható.

CÖLÖP 3.		
Próbaterhelés		
Teher [kN]	Süllyedés [mm]	
0	0	0
300	0,18	1,8
600	0,5	5
900	1,3	13
1200	2,49	24,9
1500	4,96	49,6
1800	12,75	127,5
2100	41,95	419,5
6000	Pázsmaék szakadás	



16. táblázat: Cölöp3 próbaterhelés és Hooke-törvény

a	s	sh=változó	Fkt	Fkt	D	Es	4	A	I			F	s	
3,14159265	0	2,0000	2047,926339	6,03588E-05	800	0,01	0	502654,8246	13500	0	0	0	0	0
3,14159265	0,18		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	0,56548668	169,094835	169,66	300	0,18
3,14159265	0,5		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	1,57079633	409,585268	411,156	600	0,5
3,14159265	1,3		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	4,08407045	806,758861	810,843	900	1,3
3,14159265	2,49		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	7,82256571	1135,70971	1143,53	1200	2,49
3,14159265	4,96		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	15,5822996	1459,44176	1475,02	1500	4,96
3,14159265	12,75		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	40,0553063	1770,24141	1810,3	1800	12,75
3,14159265	41,95		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	131,789812	1954,73288	2086,52	2100	41,95
3,14159265	42		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	131,946891	1954,83878	2086,79	42	4354674
3,14159265	43		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	135,088484	1956,90739	2092	43	4376447
3,14159265	44		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	138,230077	1958,88606	2097,12	44	4397896
3,14159265	45		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	141,371669	1960,78054	2102,15	45	1,3E+07
3,14159265	46		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	144,513262	1962,59608	2107,11	46	
3,14159265	47		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	147,654855	1964,33751	2111,99	47	
3,14159265	48		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	150,796447	1966,00929	2116,81	48	
3,14159265	49		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	153,93804	1967,6155	2121,55	49	
3,14159265	50		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	157,079633	1969,15994	2126,24	50	
3,14159265	51		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	160,221225	1970,6461	2130,87	51	
3,14159265	52		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	163,362818	1972,07722	2135,44	52	
3,14159265	53		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	166,504411	1973,45629	2139,96	53	
3,14159265	54		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	169,646003	1974,78611	2144,43	54	
3,14159265	55		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	172,787596	1976,06927	2148,86	55	
3,14159265	56		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	175,929189	1977,30819	2153,24	56	
3,14159265	57		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	179,070781	1978,50511	2157,58	57	
3,14159265	58		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	182,212374	1979,66213	2161,87	58	
3,14159265	59		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	185,353967	1980,78121	2166,14	59	
3,14159265	60		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	188,495559	1981,8642	2170,36	60	
3,14159265	61		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	191,637152	1982,9128	2174,55	61	
3,14159265	62		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	194,778745	1983,92864	2178,71	62	
3,14159265	63		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	197,920337	1984,91322	2182,83	63	
3,14159265	64		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	201,06193	1985,86797	2186,93	64	
3,14159265	65		2047,926339	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13500	204,203522	1986,79421	2191	65	
3,14159265	66		2048,078038	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13501	207,345115	1987,84045	2195,19	66	
3,14159265	67		2048,229736	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13502	210,486708	1988,86076	2199,35	67	
3,14159265	68		2048,381434	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13503	213,6283	1989,85625	2203,48	68	
3,14159265	69		2048,533132	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13504	216,769893	1990,82797	2207,6	69	
3,14159265	70		2048,684831	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13505	219,911486	1991,77692	2211,69	70	
3,14159265	71		2048,836529	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13506	223,053078	1992,70402	2215,76	71	
3,14159265	72		2048,988227	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13507	226,194671	1993,61017	2219,8	72	
3,14159265	73		2049,139925	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13508	229,336264	1994,49619	2223,83	73	
3,14159265	74		2049,291624	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13509	232,477856	1995,3629	2227,84	74	
3,14159265	75		2049,443322	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13510	235,619449	1996,21103	2231,83	75	
3,14159265	76		2049,59502	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13511	238,761042	1997,0413	2235,8	76	
3,14159265	77		2049,746718	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13512	241,902634	1997,8544	2239,76	77	
3,14159265	78		2049,898417	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13513	245,044227	1998,65096	2243,7	78	
3,14159265	79		2050,050115	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13514	248,18582	1999,43159	2247,62	79	
3,14159265	80		2050,201813	6,03588E-05	800	0,01		502654,8246	13515	251,327412	2000,19689	2251,52	80	

17. táblázat: Cölöp3 Hooke-törvény

Cölöp 4

Cölöp típusa	Fúrt, CFA
Cölöp átmérő	800 mm
Cölöphossz	21,6 m

Próbacölöp adatai

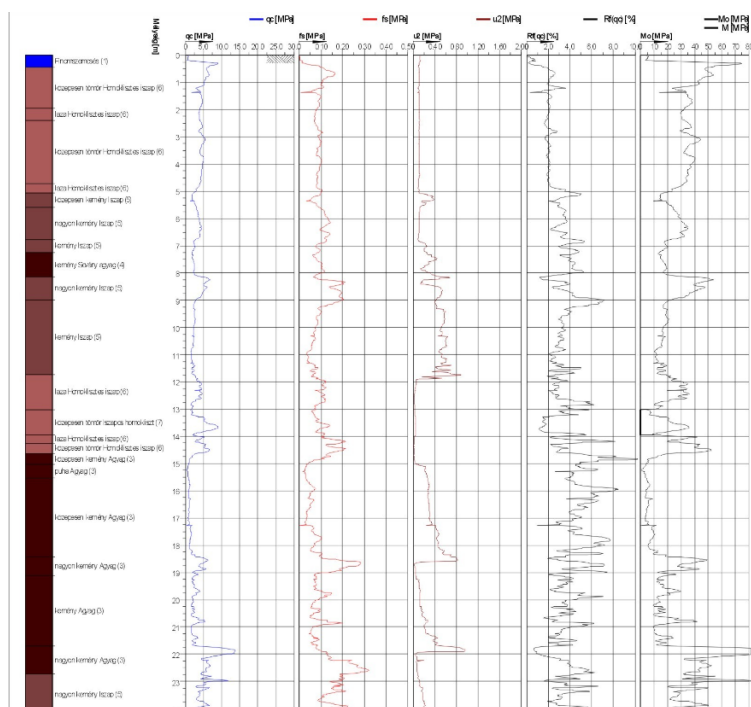
Cölöp típusa	Fúrt, CFA
Cölöp átmérője	800 mm
Terepszint	162,8 mBf
Lavírsík	162,8 mBf
Fejtömb alsó síkja	163,31 mBf
Beton minőség	C30/37-XA2-16-F5
Cölöpcsúcs szintje	141,71 mBf
Cölöphossz	21,6 m
Hasznos cölöphossz	20,9 m
Elméleti beton mennyiség	11,1 m ³

Talajmechanika

sovány agyag	0-1,1	m
iszapos homokliszt	1,1-9,2	m
iszapos homokliszt	9,2-12,4	m
iszapos homokliszt	12,4-30	m

Talajvíz: Dátum: 2004. 09. 21. Mélysege: -12,4 m SQ: [mg/l] Cl: [mg/l]	Vízárterület Sodrásai és folyási határ					Munka száma: GT - 34/03				Feltárás dátuma: 2004. 09. 21.		
	20	40	60	80	100	U (lc)	Hozag- teljesí- tmény [m ³ /s]	Térfojtat szintje [m]	Szűrés- szintje [m]	Konkrét [MPa]	Osztály- modul modulus [MPa]	Építési nyomás [kPa]
EOV Y=500823,8 EOV X=128795,0 2009/222 km az. l.b. 28,1m	%	%	%	%	%	e	l/m ³	lok	kN/m ²	MPa	kPa	
1,1 barna, sötétbarna foltos homokos sovány agyag			3	62	35	25						
4,5 világosbarna, szürkefoltos, iszapos homokliszt												
6,1 barna iszapos homokliszt			6	59	35	11						
9,2 világosbarna iszapos homokliszt			6	61	33	45						
12,4 világosbarna, rozsdá-és szürkefoltos iszapos homokos homokliszt 12,4 NYTV			13	62	25	39						
17,4 szürkésbarna iszapos homokliszt	10,5		5	53	42	23	0,76	0,62	2,04	*26	*10	30
(szürkésbarna, rozsdafoltos, homokizetes iszap)							0,56	2,08	*24	*30	*9	50

23. ábra: Cölöp4 fúrászelvény



24. ábra: Cölöp4 CPT szonda

Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása EUROCODE alapján

Talpellenállás

Rbcal= 987,63 kN

Palástellenállás

Rscal= 3440,97 kN

Teljes nyomási ellenállás

Rccal= 4428,59 kN

Eurocode	kötött talaj alapján számítva				
Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása					
$R_{ccal} = R_{scal} + R_{bcal} = K \cdot \sum(h_i \cdot q_{scal}) + A_b \cdot q_{bcal}$					
$K \cdot \sum(h_i \cdot q_{scal}) + A_b \cdot q_{bcal}$	3440,968672	kN			
Talp ellenállás kötétt talajban:	Qc	3,46 Mpa			
1,964821573					
Cu=	0,242570565				
Rb=	987,6270429	kN			
Palást ellenállás	Szemcsés		sovány agyag	89,71956308 kPa	hi= 0,4
	qscal=αsg·Vq		iszapos homokliszt	65,03561501 kPa	hi= 20,5
	Kötött				
	qscal=μsg·1,2·Vq				
Rscal=	3440,968672	kN			
Teljes nyomási ellenállás					
Rccal	4428,595715	kN			

18. táblázat: Cölöp4 Eurocode számítással

Cölöp 4

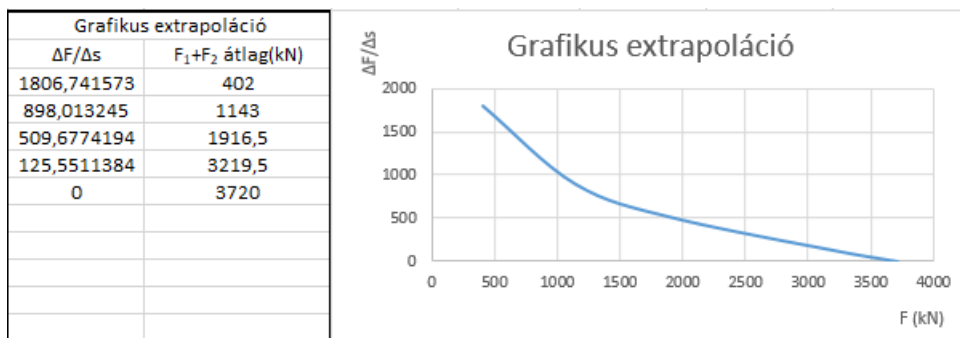
LCPC módszerrel

Talpellállás	821,29 kN
Palástellenállás	476,35 kN
Teljes nyomási ellenállás	1297,64 kN

Lcpc					
1.	1,5D	1,2		q'ac	4,73
2.	eltávolítani a kijelölt elemeket, de nem változik a q'ac				3,3096
3.	4,69				6,1464
kc meghat	iszapos homokliszt, ezért 0,4 és 0,5		I. csop 0,4	II. csop 0,5	
$\sigma_{cs} = qca \cdot kc$			1874,472381	kN	
talajtípus					
homokliszt, 60 és 150 de mivel CFA ezért 60					
átlagolás a teljes palást mentén			3,04		
$Taocs = qc / \alpha$			506,9777266	kN	
Rccal			2381,450108	kN	

19. táblázat: Cölöp4 LCPC módszerrel

Grafikus extrapolációval



20. táblázat: Cölöp4 Grafikus extrapoláció

Cölöp 5

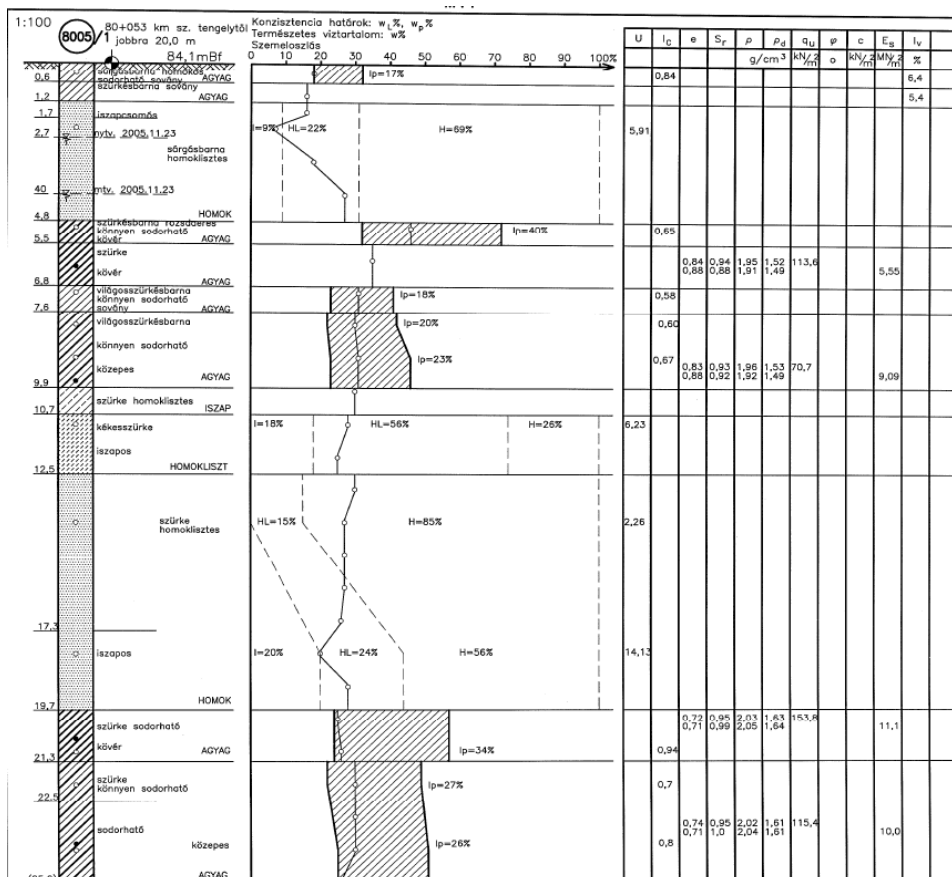
Cölöp típusa Fúrt, CFA
 Cölöp átmérő 800 mm
 Cölöphossz 16,91 m

Próbacölöp adatai

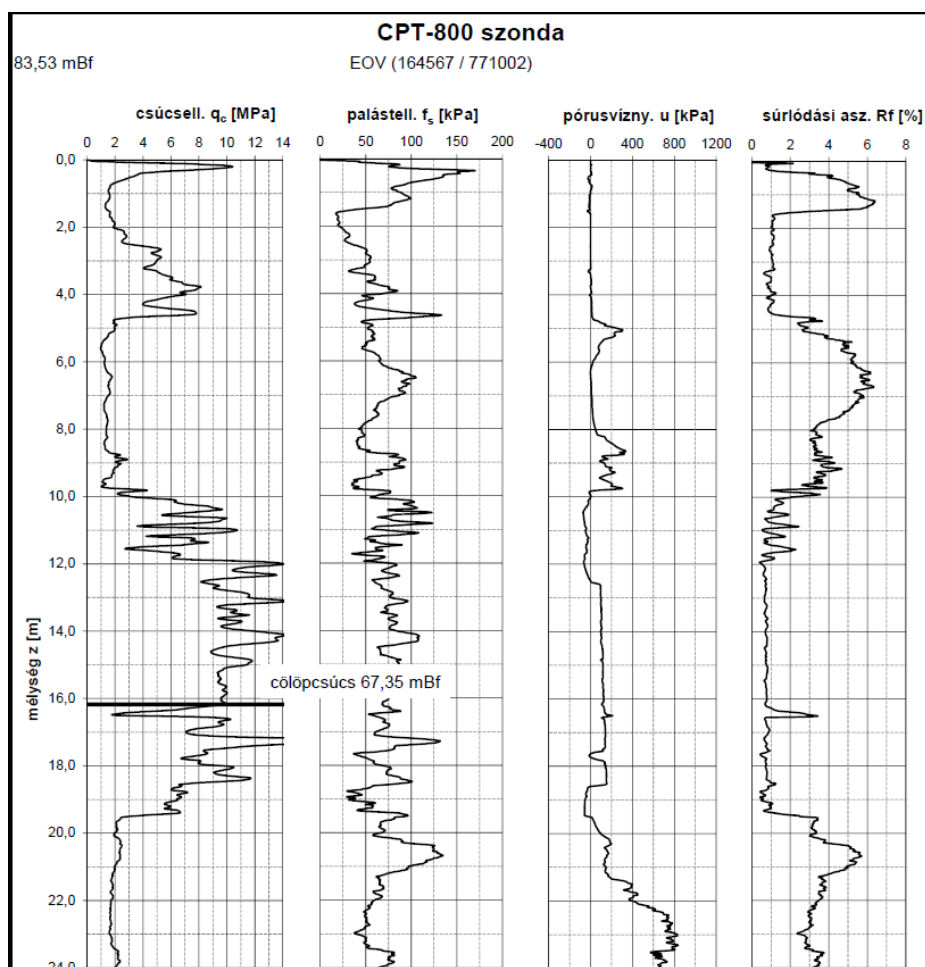
Cölöp típusa	Fúrt, CFA	
Cölöp átmérője	800	mm
Terepszint	88,9	mBf
Lavírsík	83,53	mBf
Fejtömb alsó síkja	83	mBf
Beton minőség	C30/37-XA2-16-F5	
Cölöpcsúcs szintje	67,05	mBf
Cölöphossz	16,91	m
Hasznos cölöphossz	15,95	m
méleti beton mennyisé	6,28	m3

Talajmechanika

Homokos iszap	0-0,5	m
Agyag	0,5-2,2	m
Homokos iszap	2,2-4,8	m
Kövér agyag:	4,8-9,8	m
Izapos homok	9,8-19,6	m
Izapos agyag	19,6-26	m



FÜRASSZELVENY



26. ábra: Cölöp5 CPT szonda

Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása EUROCODE alapján

Talpellenállás

Rbcal= 2142,12 kN

Palástellenállás

Rscal= 2243,89 kN

Teljes nyomási ellenállás

Rccal **4386,01** kN

Eurocode	kötött talaj alapján számítva		
Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása			
Talp ellenállás kötött talajban:	Qc	8,15	Mpa
4,261620569			
Cu=	0,526125996		Mpa
Rb=	2142,12414		Kn
Palást ellenállás			
	Szemcsés		
	qscal=αsg*√q _c	agyag	50,12373262 kPa hi= 1,24
	Kötött	homokos iszap	85,75599732 kPa hi= 2,6
	qscal=μsg*1,2*√q _c	Kövré agyag:	46,71062235 kPa hi= 5
Rscal=	2243,889864	iszapos homok	52,62212034 kPa hi= 7,11
Teljes nyomási ellenállás			
Rccal	4386,014003		kN

23. táblázat: Cölöp5 Eurocode számítással

Cölöp 5

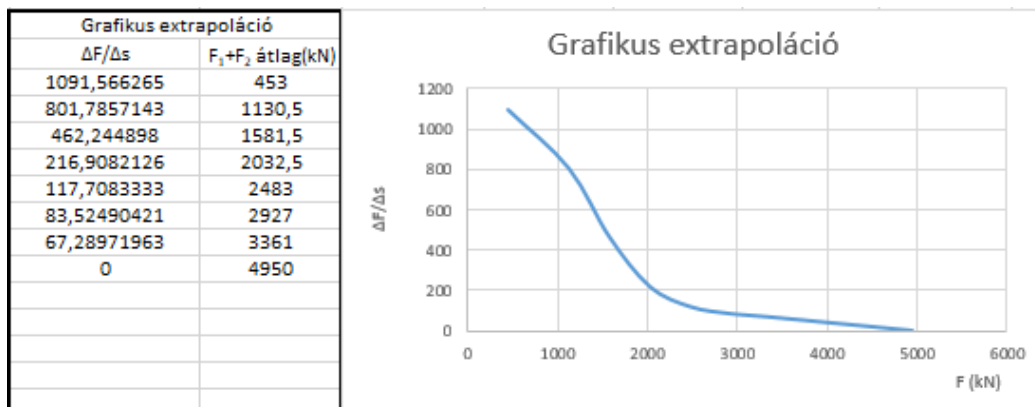
LCPC módszerrel

Talpellállás	3621,86 kN
Palástellenállás	806,54 kN
Teljes nyomási ellenállás	4428,40 kN

Lcpc					
1.	1,5D	1,2		q'ac	9,27
2.	eltávolítani a kijelölt elemeket, de nem változik a q'ac				6,489253333
3.	9,05				12,05147
kc meghat	iszapos homokliszt, ezért 0,4 és 0,5		I. csop 0,4	II. csop 0,5	
$\sigma_{cs} = q_{ca} \cdot k_c$			3621,862165	kN	
talajtípus					
homokliszt, 60 és 150 de mivel CFA ezért 60					
átlagolás a teljes palást mentén			3,23		
$T_{aocs} = q_c / \alpha$			806,5384615	kN	
Rccal			4428,400627	kN	

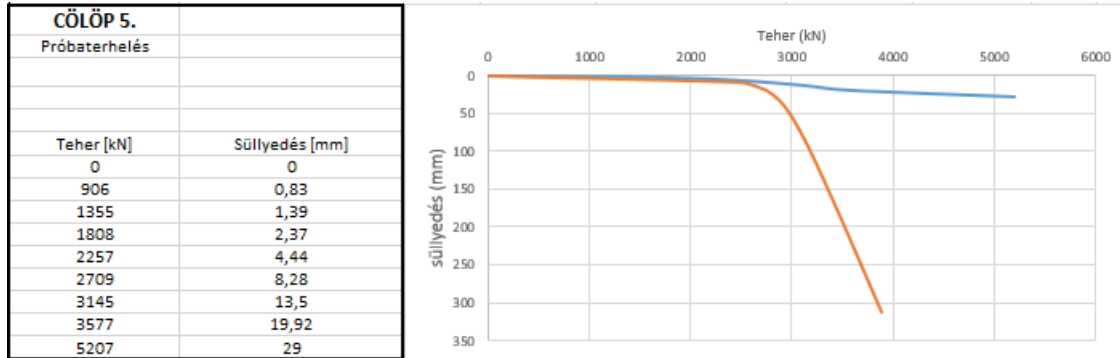
24. táblázat: Cölöp5 LCPC módszerrel

Grafikus extrapolációval



25. táblázat: Cölöp5 Grafikus extrapoláció

Próbaterhelési görbe, és a Hooke-törvény által alkalmazott görbeillesztési módszer nagyon nagy szórással dolgozik, feltehetőleg ezeknél az adatoknál, ezeknél a talajoknál ez a módszer nem alkalmazható.



26. táblázat: Cölöp5 Probaterhelés és Hooke-törvény

a	s	sh=változó	Fkt	fit	D	Es	4	A	I	0	0	F	s
3.141592654	0	1,6500	2916,63	6,86275E-05	800	0,01	0	502654,8246	16910	0	0	0	0
3.141592654	8,3		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	26,075219	2432,96925	2459,04447	906
3.141592654	13,9		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	43,6681379	2607,14998	2650,81812	1355
3.141592654	23,7		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	74,4557459	2726,791871	2801,24762	1808
3.141592654	44,4		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	139,486714	2812,127089	2951,6138	2257
3.141592654	82,8		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	260,123872	2859,64611	3119,76998	2709
3.141592654	135		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	424,115008	2881,414523	3305,52953	3145
3.141592654	199,2		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	625,805257	2892,671431	3518,47669	3577
3.141592654	290		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	911,06187	2900,131066	3811,19294	4010
3.141592654	291		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	914,203462	2900,18745	3814,39091	291
3.141592654	292		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	917,345055	2900,24345	3817,5885	292
3.141592654	293		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	920,486648	2900,29907	3820,78572	293
3.141592654	294		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	923,62824	2900,354313	3823,98255	294
3.141592654	295		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	926,769833	2900,409184	3827,17902	295
3.141592654	296		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	929,911425	2900,463686	3830,37511	296
3.141592654	297		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	933,053018	2900,517824	3833,57084	297
3.141592654	298		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	936,194611	2900,5716	3836,76621	298
3.141592654	299		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	939,336203	2900,625018	3839,96122	299
3.141592654	300		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	942,477796	2900,678082	3843,15588	300
3.141592654	301		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	945,619389	2900,730796	3846,35018	301
3.141592654	302		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	948,760981	2900,783162	3849,54414	302
3.141592654	303		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	951,902574	2900,835185	3852,73776	303
3.141592654	304		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	955,044167	2900,886867	3855,93103	304
3.141592654	305		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	958,185759	2900,938212	3859,12397	305
3.141592654	306		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	961,327352	2900,989223	3862,31657	306
3.141592654	307		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	964,468945	2901,039904	3865,50885	307
3.141592654	308		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	967,610537	2901,090257	3868,70079	308
3.141592654	309		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	970,75213	2901,140286	3871,89242	309
3.141592654	310		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	973,893723	2901,189994	3875,08372	310
3.141592654	311		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	977,035315	2901,239384	3878,2747	311
3.141592654	312		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	980,176908	2901,288459	3881,46537	312
3.141592654	313		2916,63	6,86275E-05	800	0,01		502654,8246	16910	983,318501	2901,337223	3884,65572	313

27. táblázat: Cölöp5 Hooke-törvény

Cölöp 6

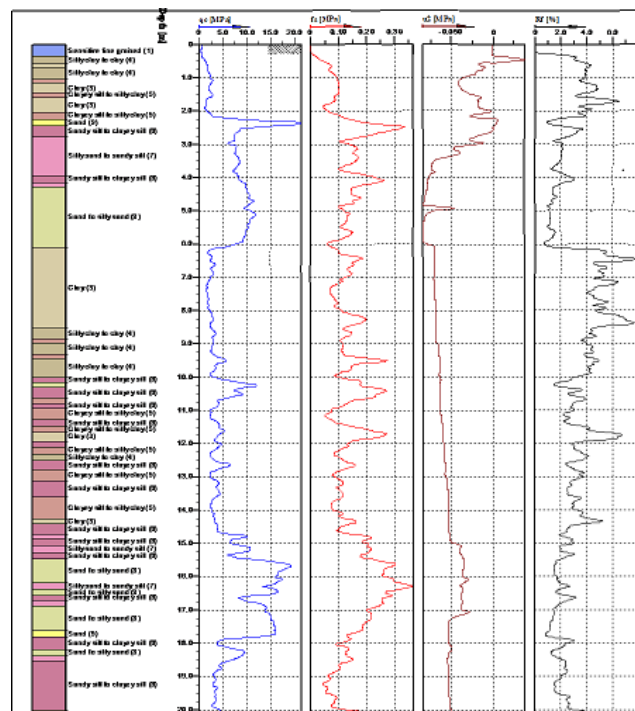
Cölöp típusa	Fúrt, CFA
Cölöp átmérő	600 mm
Cölőphossz	18,00 m

Próbacölöp adatai

Cölöp típusa	Fúrt, CFA	
Cölöp átmérője	600	mm
Terepszint	158	mBf
Lavírsík	157,6	mBf
Fejtőmb alsó síkja	154,82	mBf
Beton minőség	XA2-16-F5	
Cölöpcsúcs szintje	136,82	mBf
Cölőphossz	21,2	m
Hasznos cölőphossz	21,2	m

Talajmechanika

agyag	0-2,1	m
homok	2,1-2,4	m
iszapos homok	2,4-5,9	m
agyag	5,9-10	m
homokos iszap	10-10,6	m
iszapos agyag	10,6-14,6	m
homok	14,6-17,8	m
homokos iszap	17,8-25	m



272. ábra: Cölöp6 CPT szonda

Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása EUROCODE alapján

Talpellenállás

Rbcal= 1315,23 kN

Palástellenállás

Rscal= 2652,17 kN

Teljes nyomási ellenállás

Rccal= 3967,69 kN

Eurocode	kötött talaj alapján számítva						
Egyedi cölöp teherbírásának meghatározása							
Talp ellenállás köttött talajban:							
2,617156251	Qc	5	Mpa				
Cu=	0,32	Mpa					
Rb=	1315,526216	kN					
Palást ellenállás	Szemcsés		agyag	47,54019103	kPa	hi=	2,1
	qscal=αsg*Vqc		homok	57,34102807	kPa	hi=	0,3
	Kötött		iszapos homok	53,08575872	kPa	hi=	3,5
	qscal=μsg*1,2*Vqc		agyag	64,05396447	kPa	hi=	4,1
Rscal=	2652,165561	kN	homokos iszap	108,802022	kPa	hi=	0,6
			iszapos agyag	70,94342253	kPa	hi=	4
Teljes nyomási ellenállás			homok	62,90728688	kPa	hi=	3,2
			homokos iszap	85,64740853	kPa	hi=	3,4
Rccal	3967,691777	kN					

28. táblázat: Cölöp6 Eurocode számítással

Cölöp 6

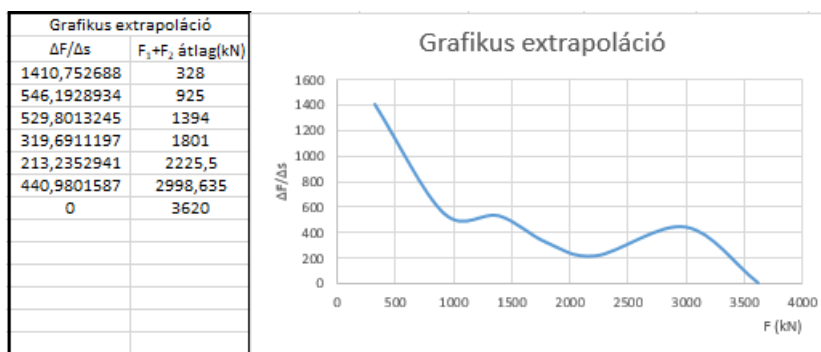
LCPC módszerrel

Talpellénállás	3549,99 kN
Palástellenállás	1044,25 kN
Teljes nyomási ellenállás	4594,25 kN

Lcpc					
1.	1,5D	0,9		q'ac	9,79
2.	eltávolítani a kijelölt elemeket, de nem változik a q'ac				6,853406077
3.	8,87				12,72775
kc meghat	iszapos homokliszt, ezért 0,4 és 0,5		I. csop 0,4	II. csop 0,5	
$\sigma_{cs} = qca \cdot kc$		3549,997931		kN	
talajtípus					
homokliszt, 60 és 150 de mivel CFA ezért 60					
átlagolás a teljes palást mentén					
$Taocs = qc / \alpha$		1044,25273		kN	
$Rccal$		4594,250661		kN	

293. táblázat: Cölöp6 LCPC módszerrel

Grafikus extrapolációval

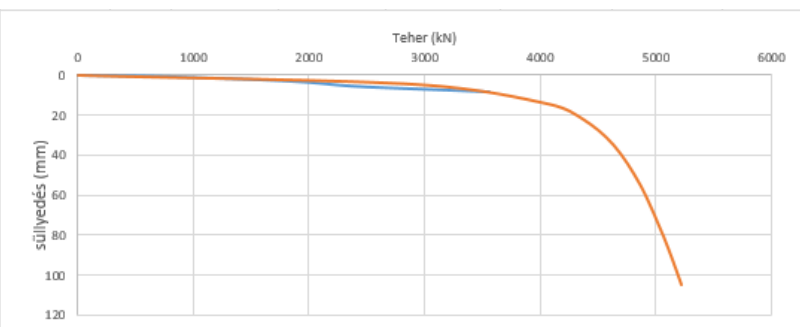


30. táblázat: Cölöp6 Grafikus extrapoláció

Ennél a cölöpnél ez a módszer nem tekinthető mértékadónak. Ilyen értékek nem jöhetnek létre.

Próbaterhelési görbe, és a Hooke-törvény által alkalmazott görbeillesztési módszer nagyon nagy szórással dolgozik, feltehetőleg ezeknél az adatoknál, ezeknél a talajoknál ez a módszer nem alkalmazható.

CÖLÖP 6.		
Próbaterhelés		
Teher [kN]	Süllyedés [mm]	
0	0	0
656	0,465	4,65
1194	1,45	14,5
1594	2,205	22,05
2008	3,5	35
2443	5,54	55,4
3554,27	8,06	80,6



31. táblázat: Cölöp6 Próbaterhelés és Hooke-törvény

a	s	sh=sh(zs)	Fks	Fks	D	Es	4	A	I	F	s
4,71239	0	3,1000	4865,515195	0,000143402	600	0,02	0	282743,3388	18000	0	0
4,71239	4,65		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	21,9126088	2919,31	2941,22
4,71239	14,5		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	68,3296402	4008,52	4076,85
4,71239	22,05		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	103,908177	4265,79	4369,7
4,71239	35		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	164,933614	4469,63	4634,57
4,71239	55,4		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	261,06635	4607,68	4868,75
4,71239	80,6		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	379,818552	4685,31	5065,13
4,71239	81		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	381,703507	4686,17	5067,87
4,71239	82		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	386,415896	4688,28	5074,69
4,71239	83		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	391,128285	4690,33	5081,46
4,71239	84		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	395,840674	4692,35	5088,19
4,71239	85		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	400,553063	4694,31	5094,86
4,71239	86		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	405,265452	4696,23	5101,5
4,71239	87		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	409,977841	4698,11	5108,09
4,71239	88		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	414,690233	4699,95	5114,64
4,71239	89		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	419,402619	4701,75	5121,15
4,71239	90		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	424,115008	4703,51	5127,62
4,71239	91		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	428,827397	4705,23	5134,05
4,71239	92		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	433,539786	4706,91	5140,45
4,71239	93		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	438,252175	4708,56	5146,82
4,71239	94		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	442,964564	4710,18	5153,14
4,71239	95		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	447,676953	4711,76	5159,44
4,71239	96		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	452,389342	4713,31	5165,7
4,71239	97		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	457,101731	4714,83	5171,94
4,71239	98		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	461,81412	4716,33	5178,14
4,71239	99		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	466,526509	4717,79	5184,31
4,71239	100		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	471,238898	4719,22	5190,46
4,71239	101		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	475,951287	4720,62	5196,58
4,71239	102		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	480,663676	4722	5202,67
4,71239	103		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	485,376065	4723,36	5208,73
4,71239	104		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	490,088454	4724,68	5214,77
4,71239	105		4865,515195	0,000143402	600	0,02	282743,3388	18000	494,800843	4725,99	5220,79

32. táblázat: Cölöp6 Hooke-törvény

7. Eredmények kiértékelése

	Végleges érték [kN]			
	EUROCODE [kN]	LCPC [kN]	Grafikus extrapoláció [kN]	Logaritmikus [kN]
CÖLÖP 1	1283	1550	1739	953
CÖLÖP 2	1687	1456	2019	2395
CÖLÖP 3	1177	733	1283	1378
CÖLÖP 4	2501	1344	2310	1992
CÖLÖP 5	2477	2500	3075	1762
CÖLÖP 6	2241	2594	2249	1465

EUROCODE: Ez a módszer statikus szondázás alapján próbálja megbecsülni a törőteherbírását, majd abból a határteherbírást. Bonyolultnak találtam nagyon a módszert, a leírások nem voltak számomra egyértelműek. A szabvány leírása röviden fogalmazott, amelyet az ehhez született magyarázó leírások már teljesen újítva ettől merőben eltérően adtak meg. A legújabb szabvány magyarázó példák már teljesen máshogy értelmezik a különböző tényezőket és azok értékét. A szabványok különbözősége kisebb kavargást okozott a módszer megoldásában.

LCPC: Ez statikus szondázási eredményekből számol ez a módszer is. Nagyon tetszett, hogy egyszerű és könnyen értelmezhető a módszer. A leírás alapján érthető volt számomra. Az eredményeim hektikusan alakultak, talán érdemes lenne drénezetlen nyíró szilárdság figyelembe vételét itt is figyelembe venni. Háttha az eredményeket reálisabbá tennék. A cölöphossza nem befolyásolja a palástellenállás értékét, pedig ennek befolyásoló hatása kellene, hogy legyen.

Grafikus extrapoláció: Itt már a próbaterhelési görbe kiértékelése történik, de anélkül, hogy végig azaz törésig lett terhelve a cölöp, nehéz megmondani hogy mi a törőteherbírás. Ezért szükséges az ilyen típusú görbehosszabbító módszer alkalmazása. Ez egy módosított módszer, amely egy régi szakvéleményben találtunk publikációt hivatkozást nem találtunk rá, de érdekesnek találtuk és ezért végeztem el a számításokat. A szakvélemény példája alapján nagyon reális eredményt adott, ezért bíztam abban, hogy egy értékes felvetést találtam. Nem csalódtam a módszer kiértékelésekor, mert a próbaterhelési görbékhez nézve valónak tűnő teherbírási értékeket kaptam. Jó lenne más hasonló módszerekkel is összevetni a kapott eredményt.

Hiperbolikus Hooke módszer: Ezt a módszer a próbaterhelési görbe meghosszabbítására használtuk fel azért, hogy megoldjuk azt a problémát, hogy a próbaterhelések nincsenek törésig végezve. Ez a módszer a hiperbolikus módszerhez nagyon hasonló változat, de itt a nagyon elfogadott Hooke-törvény van a csúcs becslésénél beágyazva. Feltevés azon alapul, hogy az egyedi cölöpcsúcsa alatti 2D talajzónában fog a süllyedés lezajlani. Mivel példákat is találtam a megoldásom során és elvi háttérrel reálisnak gondoltam ezért sikeres eredményeket vártam. Sajnos nem ez történt, mert vagy a közelítő szoftver, vagy a módszer hibájából nem sikerült csak néhány esetben adott valós képet. De ez annyira kevés helyen történt, hogy nem tudtam kiértékelni az eredményt.

Logaritmikus: Mivel a Hooke-törvényen alapuló hiperbolikus módszer nem volt kiértékelhető, ezért az eredeti próbaterhelési görbéket tudtam csak megvizsgálni a logaritmikus mértékben történő ábrázolásban. Nem is lepődtem meg azon, hogy csak ott kaptam és kaphattam valósan tűnő eredményt ahol a próbaterhelések megfelelő hosszúsággal el lettek végezve.

Összegezve: Ha megnézzük a végleges értékeket azt tapasztalhatjuk, hogy tényleg nagyon szórt mindegyik módszer. Saját véleményem szerint semelyik módszert nem lehet alapul venni, mert mindegyik módszerbe van bizonytalanság. Nagyon érdekes, hogy nem jelenthető ki semelyik módszerről, hogy ez a módszer adja alapvetően a legkisebb értéket, vagy a legnagyobbat. Ami érdekes volt, hogy például az Eurocode féle számítás semelyik cölöp esetében sem volt szélsőérték. A legegyszerűbbnek mondható LCPC hozta a cölöpök között a legalacsonyabb és majdnem a legmagasabb értéket is. Ezzel talán az jelenthető ki, hogy ez a legbizonytalanabb módszer, de ez mégse jelenthető ki mert a Hooke-törvényen alapuló hiperbolikus módszert nem is vettem figyelembe, mert olyan valótlan eredményeket, és görbéket adtak. A szakirodalomban azt találtuk a konzulensemmel mindenhol, hogy a Hooke-törvény féle módszer a legbiztosabb. Lehet, hogy én pont olyan talajok és szondák esetén vizsgáltam a teherbírást, ahol ez a módszer nem valósul elfogadhatónak. A szakirodalom és a véleményem alapján is kijelenthető, hogy nincs két ugyanolyan teherbírási talaj. Minden talajtípus esetén más eredmény várható. Nem mondható ki egyáltalán, hogy van tökéletes teherbírási módszer. Mivel nagyon sok változót tartalmaznak képleteik, ezért mindegyik rejthetnek hibákat.

8. Javaslat

Nagyon érdekes volt számomra látni, ezeknek a módszereknek a rejtelmét, pontos meneteit. Előzetes tanulmányaim során még nem tudatosult bennem, hogy ezeknek a módszereknek az elvégzése, nagyon különleges eredményeket tudnak adni. A talajfeltárásból, talajszondázásból származó pontatlanság egyaránt befolyásolja a bizonytalan számításokat.

Az a tapasztalatom, hogy ezek az nagyrészt elméleti alapokon fekvő megoldási menetek, nem minden esetben adhat valós eredményt. Az eredmények összehasonlítása után, kezdtem el azon tanakodni, vajon melyik megoldási menet lehet a legpontosabb. Nagyon sok időt fektettem arra, hogy mindegyik számítást tökéletesen végezzem el az adott menet alapján. Mégis nagyon különböző eredmények jöttek ki. Ha nem ismertem volna meg a számítás menetét, elég nagy aggodalomra adnak okot, hogy ilyen különbségek jöttek ki. Viszont rálátásom adódott, hogy lássam, hogy milyen nagy biztonsági tényezőket rejtenek a módszerek. Nagyon túltervezett lesz, minden építmény ami ma készül pontosan ezért. Arra a következtetésre jutottam, hogy valami olyasmi rendszert kellene bevezetni, vagyis közkedveltebbé tenni, mint a Geotechnikai Monitoring. Ami tulajdonképpen annyit jelent, hogy építkezés után végez számításokat és jelez számunkra. Mivel a tervezés során, csak „tervezni” tudunk amit soha nem lehet tökéletesen elvégezni, mert minden talaj más, nem lehet tökéletesen kivitelezni a beépítést és még sorolni lehetne az okait. Ebben a Monitoring módszerben, amit manapság már használnak, de ritka sajnos ahol alkalmazzák viszont az elvégzett épületekbe alkalmaznak különféle eszközöket, és ezekből az eszközökből olvasnak le eredményeket. Ezeket az eredményeket később fel lehet használni a következő tervezéseink során. Mivel itt valós eredményeket mutat számunkra, ezért jobban lehet következtetni, hogy miként változnak az értékek.

Cölöpalapozás mellett például használhatunk inklinométert, mely fúrt lyukakban vizsgálják az esetleges deformációkat. Mérhetünk extenzométer segítségével kőzetmozgásokat a felszín alatt, illetve fölötte is. Ezek már valós képet fognak adni, és számítógép vagy manapság már telefonra, táblagépre is letölthető szoftverekben.

FÖLDMOZGÁS MONITORING



27.ábra: Földmozgást, csúszólapok kialakulására is kiváló módszer a Monitoring.[Sixense]

VÁROSI MUNKAGÖDÖR MONITORING



28. ábra: Városi munkagödör építési folyamatait is lehet elemezni. [Sixense]

Nagyon izgalmas és hosszútávon költségkímélő módszerek tartom a Monitoring rendszert. Repedésmérő készülékeket is lehet alkalmazni, ami jól tükrözi, ha például egy építmény alatt nem jó az alapozás. Magyarországon sajnos ez még annyira nem elterjedt, mivel szerintem ennek a Monitoringnak akkor van a legnagyobb haszna, ha a tervező illetve kivitelező cég egy kézben van. Mivel itt a kivitelezők adnak tényleges képet a tervezők számára. Karrierem során ilyen korszerű módszerek elsajátítása esetleg kitalálása lesz a célom a költségkímélőbb, és tökéletesebb élet érdekében. (Sixense-group)

Dolgozatom végéhez értem, de mindenképpen szerettem volna a Monitoring rendszerre is hangsúlyt fektetni, mert nagyon fontosnak tartom a jövő generációjának érdekében. Erről a témáról viszont külön TDK munkát lehetne írni, szóval csak javaslatnak vettem fel.

9. IRODALOMJEGYZÉK

- Bartos, S., Králik, B. (2000): Mélyépítés I. (Építésföldtan - Talajmechanika), Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 128-135
- 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
- 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
- De Ruiter, J., Beringen, F.L. (1979): Pile foundations for large North Sea structures. Marine Geotechnology, 3 (3), 267–314.
- Farkas, J. (2001): Alapozás, Műegyetemi Kiadó, Budapest, 94-124
- Farkas, J., Józsa, V. (2014): Alapozás BSc képzés, HEFOP jegyzet, Budapest, 71-75
- Fellenius, B., H. (2006): Results from long-term measurement in piles of drag load and downdrag, Canadian Geotechnical Journal, Vol. 43, No. 4, pp. 409 - 430
- Imre, E., Szabó, V., Szalay, E., Pusztai, J., Mahler, A., Radványi, L. (2006): A CFA cölöpök próbaterhelési görbéinek statisztikai értékelése CPTU adatok felhasználásával, Geotechnika 2006, Ráckeve
- Kaczvinszki-Szabó, V. (2017): Nagy terhelésű mezőgazdasági és ipari létesítmények cölöpalap teherbírásának számításának módszerei, Szakirodalmi összefoglaló, MTDI
- Kaczvinszki-Szabó, V. ; Telekes, G. (2018): Nagy terhelésű és fesztávolságú agrár-ipari komplexumok cölöpalapozás tervezéséhez használt módszerek összehasonlítása GÉP LXIX. évfolyam : 2018/4. pp. 35-40. Paper: 25 343 , 6 p.
- Kaczvinszki-Szabó, V. (2019): Nagy terhelésű mezőgazdasági és ipari létesítmények cölöpalap teherbírásának számításának módszerei, Kutatási beszámoló, MTDI
- Kondor, J. (1994): Cölöp próbaterhelés. Egy hazai módszer fejlesztési és alkalmazási tapasztalatai, Magyar Építőipar 44. évf. 3. szám, Budapest 86-90

Lunne, T., Robertson, P.K., Powell, J.J.M. (1997): Cone Penetration Testing in Geotechnical Practice, Blackie Academic and Professional, London

Magyar Mérnöki Kamara (2012): Alapozások és földmegtámasztó szerkezetek tervezése az MSZ EN 1997 szerint

Mahler, A. (2003): Use of Cone Penetration Test in pile design, Periodica Polytechnica 47/2, Budapest, 189-197

MSZ EN 1997-1:2006

MSZ EN 1997-2:2008

Pajer, I. (1975): Cölöp és résfal próbaterhelés gyűjtemény eddigi hasznosítható tapasztalatai, Magyar Építőipar 24. évf. 4-5. szám, Budapest 230-232

Palotás, L. (1984): Mérnöki kézikönyv 2., Rév, E., Mélyalapok 2.3., Műszaki Könyvkiadó, Budapest 483-511, ISBN 963 10 5227 3 II. kötet, 483-511.

Rózsa, L. (1977): Az alapozás kézikönyve, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, ISBN 963 10 1795 8, 66-70

Schubert, J., Varga, T. (2002): CPT statikus szondázás mélyépítési alkalmazása, Magyar Építőipar 52. évf. 5-6. szám, Budapest 124-126

Skempton, R. (1951): The bearing capacity of clays. Proceedings Building Research Congress, London, Vol. 1, pp. 180-189

Smolczyk, U. (2003): Geotechnical Engineering Handbook 1-3, Ernst & Sohn Verlag, Berlin, ISBN 3-433-01451-5, 173-192

Szabó, Gy. (1975): Cölöpteherbírásszámítás és cölöpalapozástervezés, Budapesti Műszaki Egyetem Továbbképző Intézet, Budapest

Szabó, V., Imre, E., Mahler, A. (2004): Mélyalapok próbaterhelés és statikus szondázás alapján számolt teherbírássának összehasonlítása, Geotechnika 2004 konferencia, Ráckeve

Kaczvinszki-Szabó, V. (2017): A CFA-cölöpök hazai alkalmazásának módszerei és tapasztalatai, Közúti és Mélyépítési Szemle 51. évf. 5. szám, 171-179

Szepesházi, R. (2008): Geotechnikai Tervezés, Tervezés az Eurocode 7 és a kapcsolódó európai geotechnikai szabványok alapján, Business Media Magyarország Kft., HU-ISBN 963 86129 5 9

<https://www.sixense-group.com/hu/>

http://bmeeokepito-cd.bmeeok.hu/CD/%C3%96ssze_vissza_t%C3%A1rgyak/Alapozasok/C%C3%B6l%C3%B6p_teherbir%C3%A1s.pdf

