



Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozat

**Feladat alapú pályázat 2016.**

**Korszerű cölöpalapozások tervezése  
geotechnikai, tartószerkezeti és technológiai  
szempontok alapján**

Készítették:

Bognár Balázs  
Kanizsár Szilárd  
Dr. Mahler András  
Manninger Marcell  
Meszlényi Zsolt  
Dr. Móczár Balázs  
Scheuring Ferenc  
Schell Péter  
Szepesházi Attila

Lektorálta:

Lazányi István  
Dr. Szepesházi Róbert

Budapest, 2016. szeptember 30.

Dr. Móczár Balázs  
pályázatfelelős

Szilvági László  
tagozati elnök



## Tartalom

1. Bevezetés	4
2. Vonatkozó szabványok	6
2.1 Hatályos szabványok	6
2.2 Az Eurocode 7 várható változásai	7
3. Talajvizsgálatok	8
3.1 Alapelvek	8
3.2 CPT szondázás	10
4. A cölöpök vizsgálata tengelyirányú teherre talajvizsgálat alapján	12
4.1 A cölöppenállás számítása CPT alapján	12
4.2 A méretezési biztonság az Eurocode 7 szerint	15
4.3 A cölöpsüllyedés és a csoportthatás vizsgálata	17
5. Vízszintes terhekkel szembeni ellenállás	19
5.1 Alapelvek	19
5.2 Az ágyazási tényező felvétele	19
5.3 A talajfeszültségek ellenőrzése	21
5.4 Tartószerkezeti méretezés	22
6. Cölöpözési technológiák	23
6.1 CFA cölöpözés	23
6.2 Csavart, helyben betonozott cölöp	28
6.3 Folyadékmegtámasztásos fúrt cölöp	30
6.4 Béléscsőves fúrt, cölöp	32
6.5 Mikrocölöpök	33
7. Cölöpözési technológia megválasztása	34
7.1 Bevezetés	34
7.2 Technológiaválasztás szempontrendszer	35
7.3 Cölöpözési technológiák összehasonlító értékelése	37
8. Cölöppróbaterhelések	39
8.1 Cölöppróbaterhelés célja, szükségessége	39
8.2 Cölöppróbaterhelési módszerek	41



9. Minőség szabályozás	44
9.1 Alapelvek	44
9.2 A CFA cölöpözés minőségirányítási kérdései	46
10. A cölöpösszefogó szerkezetek tervezése	49
10.1 A fejtömb, fejgerenda funkciója	49
10.2 Felhasznált anyagok és minőségük	50
10.3 Geometriai kialakítás	50
10.4 Fejtömbök terhei	51
10.5 Számítási módszerek	52
10.6 A vasalás kialakításának alapelvei	54



### 1. Bevezetés

Az utóbbi évtizedekben – a síkalapok rovására – jelentősen megnövekedett a cölöp-alapozások aránya, aminek több oka is van. Ezek közül a leglényegesebbek az alábbiak:

- egyre nagyobb és változó terhelésű, süllyedésre érzékenyebb építmények alapozását kell megoldani;
- mind gyakrabban kell kedvezőtlen általajú területekre építeni, melyek éppen kedvezőtlen geotechnikai adottságaik miatt nem kerültek eddig beépítésre;
- egyre több régi épület átépítésére, ráépítésére kerül sor, melyek síkalapozása nem képes elviselni a többletterheket;
- magas talajvízállású területeken a síkalapozáshoz szükséges költséges víztelenítés kerülhető el cölöp-alapozással;
- a cölöpözési technológiák – rohamos fejlődésüknek köszönhetően – egyre versenyképesebbek a síkalapozással szemben mind a kivitelezési idő, mind a költségek tekintetében;
- a cölöpök tervezése, méretezése (a helyszíni vizsgálati módszerek fejlődésének is köszönhetően) jelentősen fejlődött, így ma már – ha ismert körülmények és tapasztalatok azt igazolják – akár próbaterhelés nélkül is, „papíron is” lehet megbízhatóan, költséghatékonyan cölöpöket tervezni-méretezni.

Bizonyos szerkezetek (pl. nagyfeszítávú hidak) esetében korábban is a cölöpözés volt az uralkodó, de két-három évtizeddel ezelőtt még, akár a 6-8 szintes épületeket is síkalapozással (lemezalapozással) alapozták, a lakó- és irodaépületek, ipari csarnokok esetében ritka volt a cölöp-alapozás. Tekintettel azonban arra, hogy a mai építési igényeknek megfelelően egyre nagyobb feszítávú, raszter-távolságú építmények (bevásárló központok, ipari csarnokok) alapozását kell megoldani, a koncentrált terhek növekedése egyre több esetben kizárja síkalapozást a süllyedési korlátok miatt.

A cölöpözésen belül is megfigyelhető egy látványos változás. Az 1990-es évek óta a CFA cölöpözési technológia fokozatosan háttérbe szorította a korábban uralkodó előre gyártott vagy helyben betonozott vert cölöpözési technológiákat, illetve a lassúbb és költségesebb folyadékmeztámasztású vagy bélés-csöves fúrt cölöpözést. A folyamatos spirállal készített CFA cölöpökkel ugyanis 40-100 cm-es átmérővel ki lehet elégíteni a leggyakrabban felmerülő teherbírási igényeket, és a nagyobb átmérőjű hagyományos fúrt cölöpökre csak akkor van szükség, ha kb. 5 MN-nál nagyobb teherbírást kell szolgáltatni. Napjainkra az előre gyártott vert és a Franki cölöpözési technológiák is – mondhatni – teljesen a perifériára kerültek, jól lehet a legtöbb országban a korszerű CFA technológiákkal párhuzamosan (elsősorban zöldmezős beruházásoknál) még mindig alkalmazzák ezeket, bizonyos részletekben (üreges körkereszt-metszet, illetve folyós szárbetonozás) megújítva őket.



Fokozatosan felismerték a cölöpalapozással kombinált lemezalapozás (másként: cölöppel gyámolt lemezalap) előnyeit is, és a méretezési eljárások, modellezési lehetőségek (elsősorban a 3D numerikus módszerek) fejlődésével idővel ez lehet a leggazdaságosabb alapozási rendszer.

A CFA cölöp 1990-es, 2000-es éves dominanciája közben megjelentek a talaj-kiszorításos csavart cölöpözési technológiák és sok projekten már „legyőzték” a CFA technológiát. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy velük ugyanolyan gyors kivitelezés mellett a talajkiszorítás révén (a palástellenállásnak a tömörődéssel előálló növekedése által) fajlagosan (a felhasznált betonmennyiségre vonatkoztatva) nagyobb teherbírás érhető el. Másrészt gyakorlatilag nem képződik e technológiákban elszállítandó talaj, ami a költségek csökkentése mellett az egyre fontosabbá váló környezetvédelmi szempontok (és előírások) miatt is lényeges előny. Ezek a technológiák ugyanakkor nem használhatóak minden talajkörnyezetben, vannak lehajthatósági korlátaik. Ez a beruházásoknál a tendereztetés során gyakran ad vitára okot, adott talajviszonyok esetében a tervezők és a kivitelezők nem feltétlenül egyformán ítélik meg az alkalmazhatóságukat.

Az is köztudott, hogy a cölöpök méretezése, azok teherbírása jelentősen függ a cölöpözési technológiától. Így a megjelenő újabb technológiák és a cölöpalapozás részarányának növekedése egyre több feladatot rónak a cölöpöket tervező mérnökökre.

A jelen tervezési-alkalmazási útmutató célja az, hogy ismertesse a cölöpalapozások tervezésének legfontosabb irányelveit. Az Eurocode 7 szabványnak megfelelő általános cölöptervezési szabályrendszer bemutatásán túlmenően összefoglalja a hazai geotechnikai tervezés bevált módszereit, beleértve a próbaterhelést és a vízszintes terhelések felvételét is. Nem tárgyaljuk ugyanakkor teljeskörűen a hatályos szabványok előírásait, vagyis jelen útmutató nem helyettesíti a tervezésre és kivitelezésre vonatkozó szabványokat és egyéb előírásokat.

Az útmutató sorra veszi a hazai kivitelezési gyakorlatban használatos cölöpözési technológiákat, azok alkalmazási lehetőségeit, rámutatva a műszaki és gazdasági szempontokra, valamint a minőségsszabályozásukra. Úgy láttuk ugyanis, hogy a témával korábban foglalkozó hazai szakirodalomban inkább csak a cölöpalapozások szűkebben vett geotechnikai tervezési kérdéseit taglalták a szerzők, és kisebb hangsúlyt fektettek a technológia- és azzal összefüggésben a méretválasztás szempontjaira. Targyalja az anyag – főleg a statikus-geotechnikus együttműködést segítésére gondolva – a cölöpösszefogó szerkezetek konstrukciós elveit és méretezését.

Célunk az volt, hogy a segédlet útmutatást adjon a gyakorló tervező építő- és építészmérnökök és a beruházások előkészítésével foglalkozó szakemberek számára a hagyományos cölöpözési módszerek mellett az újabb talajhelyettesítéses és talajkiszorításos korszerű eljárásokról is. Az útmutató a beruházások lebonyolításában is hasznossá válhat, így az ajánlati kiírások kidolgozásában, az ajánlatok elbírálásában és a



műszaki ellenőrzésben is. Mindezekkel segítheti a gazdaságos, környezettudatos, korszerű cölöpözési módszerek térnyerését.

## 2. Vonatkozó szabványok

### 2.1 Hatályos szabványok

Cölöpalapok tervezése és kivitelezése során (közvetlenül vagy közvetve) a 2.1. táblázatban felsorolt jelenleg hatályos szabványok, kormányrendeletek és műszaki előírások szerint kell eljárni.

MSZ EN 1990-1:2005	Eurocode 0: A tartószerkezetek tervezésnek alapjai
MSZ EN 1991-1-1:2005	Eurocode 1: A tartószerkezeteket érő hatások
MSZ EN 1992-1-1:2010	Eurocode 2: Betonszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
MSZ EN 1993-1-1:2005/A1:2015	Eurocode 3: Acélszerkezetek tervezése. 1-1. rész: Általános és az épületekre vonatkozó szabályok
MSZ EN 1997-1:2006	Eurocode 7: Geotechnikai tervezés. 1. rész: Általános szabályok (7.fejezet: cölöpalapozás)
MSZ EN 1998-1:2008	Eurocode 8: Tartószerkezetek tervezése földrengésre. 1. rész: Általános szabályok, szeizmikus hatások és az épületekre vonatkozó szabályok
MSZ EN 1998-5:2009	Eurocode 8: Tartószerkezetek tervezése földrengésre. 5. rész: Alapozások, megtámasztószerkezetek és geotechnikai szempontok
MSZ EN 1536:2012	Speciális geotechnikai munkák kivitelezése. Fúrt cölöpök
MSZ EN 12699:2015	Speciális geotechnikai munkák kivitelezése. Talajkiszorításos cölöpök
MSZ EN 14199:2015	Speciális geotechnikai munkák kivitelezése. Mikrocölöpök
MSZ EN 13670:2010	Betonszerkezetek kivitelezése
MSZ 206:2014	Beton. Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés
MSZ 4798:2016	Beton. Műszaki követelmények, tulajdonságok, készítés és megfelelés, valamint az EN 206 alkalmazási feltételei Magyarországon
MSZ 4720-2:1980	A beton minőségének ellenőrzése. Általános tulajdonságok ellenőrzése
MSZ EN 12390-3:2009	A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága
MSZ 4714-3:1986	A betonkeverék és a friss beton vizsgálata. A konzisztencia meghatározása
MSZ EN 12350-2:2009	A friss beton vizsgálata 2. rész. Roskadásvizsgálat
MSZ EN 12350-5:2009	A friss beton vizsgálata 5. rész. Terülmérés



MSZ EN 197-1:2011	Cement
MSZ EN 10080:2005	Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények
MSZ 339:1987	Melegen hengerelt betonacél
3/2003 (I.25.)	BM-GKM-KvVM együttes határozata az építési termékek műszaki követelményeinek, megfelelőség igazolásának, valamint forgalomba hozatalának és felhasználásának részletes szabályairól (2013.07.01. előtt gyártott termékek esetén)
191/2009 (IX.15.)	Korm. rendelet az építőipari kivitelezési tevékenységről
275/2013 (VII.16.)	Korm. rendelet az építési termék építménybe történő betervezésének és beépítésének, ennek során a teljesítmény igazolásának részletes szabályairól (2013.07.01. után gyártott termékek esetén)

2.1. táblázat: a cölöpözésre vonatkozó szabványok jegyzéke

## 2.2 Az Eurocode 7 várható változásai

Célszerűnek tartjuk jelezni, hogy e hatályos szabványok közül a legfontosabb, az Eurocode 7 szabvány a közeljövőben jelentős változáson mehet keresztül. A hatályba lépése óta eltelt csaknem 20 év a szabvány rutinszerű alkalmazását vonta maga után. Ezen idő alatt a szabványt részletekben ismerő tapasztalt tervező- és kivitelező kollégák számos észrevételt és változtatási igényt fogalmaztak meg. Ezek mellett a szabvány bevezetése óta eltelt időben megjelent és elterjedt új technológiák is az aktualizálását igényelték.

Az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) felismerte ezeket a folyamatokat, s ennek eredményeképpen az Eurocode 7 szabvány második generációjának kiadását 2020-ra tervezik. A rendelkezésünkre álló munkaközi dokumentumok és információk alapján az alábbiakban röviden ismertetjük a tervezett változásokat.

A most két részre tagolódó szabvány majd három részből fog állni:

- Geotechnikai tervezés 1. rész: Általános szabályok
- Geotechnikai tervezés 2. rész: Geotechnikai vizsgálatok
- Geotechnikai tervezés 3. rész: Geotechnikai szerkezetek

A legfőbb változás, hogy korábban az 1. részben tárgyalt geotechnikai szerkezetek az önálló harmadik részbe kerülnek.

Az Általános szabályok című 1. részben a geotechnikai szerkezetek kiemelésével egyidejűleg részletesebben kifejtésre kerülnek a számítási módszerek (Geotechnical analysis) elvei, követelményei. Külön fejezetet kap a teherbírasi határállapot (ULS) és a használhatósági határállapot (SLS) ismertetése. Önálló fejezetben taglalják majd a kivitelezéssel (Execution), a méréssel (Testing) és a jelentéssel (Reporting) szemben támasztott kötelezettségeket.



A Geotechnikai vizsgálatok című 2. részben a jelenlegi 1. fejezet (Általános elvek) és 2. fejezet (Talajvizsgálatok megtervezése) kivételével teljesen átstrukturálódik és több új tartalom kerül bele. Önálló fejezetben kerül kifejtésre a talajmodell megalkotásának folyamata (Ground model), csakúgy, mint az alapvető talajfizikai paraméterek bemutatása (Basic physical properties). Külön fejezetekben tervezik bemutatni a sűrűséggel, szilárdsággal, alakváltozási paraméterekkel, áteresztőképességgel, talajkémiaiával, illetve a talajdinamikával kapcsolatos követelményeket. Ez alapvető változást hoz a jelenleg hatályos szabvány terepi- illetve laboratóriumi alapú megkülönböztetéséhez képest.

A Geotechnikai szerkezetek című 3. részébe gyakorlatilag a hatályos Eurocode 7 1. részében tárgyalt geotechnikai szerkezetek kerülnek majd át kisebb-nagyobb mértékben átdolgozva, illetve kiegészítve, aktualizálva. Jelentős változást a talajerősítésnek (Reinforced soil structure), illetve a talajjavításnak (Ground improvement) szentelt önálló fejezetei fognak hozni.

A 3. rész cölöpökre vonatkozó fejezetében alapvető változást a ciklikus, dinamikus, illetve a lökészerű hatásokkal szembeni ellenállás részletesebb taglalása jelent majd. Külön tervezik kezelni az egyedi cölöpöt (Single standing pile), a cölöp csoportot (Pile group), illetve a cölöpökkel gyámolított lemezalapot (Piled raft). Részletezik a cölöpök vízszintes teherbírásának vizsgálatát, s külön fejezetben kerül kifejtésre a teherbírási (ULS) és használhatósági (SLS) határállapotra történő méretezés is.

Megjegyezzük, hogy a fentiekben bemutatott, tervezett változások a CEN munkaközi dokumentumain alapulnak, felhívják a figyelmet a szabványi változások nyomán követésére.

### **3. Talajvizsgálatok**

#### **3.1 Alapelvek**

A cölöpalapozások tervezéséhez – más geotechnikai tervezési feladatokhoz hasonlóan – elengedhetetlen a talajkörnyezet lehető legalaposabb megismerése. Ehhez megfelelő minőségű és mennyiségű terepi és laboratóriumi vizsgálatra van szükség. A cölöpalapozások tervezése során fúrásos (labor kísérletekkel együtt) vizsgálat és in situ terepi vizsgálatok egyaránt ajánlatosak.

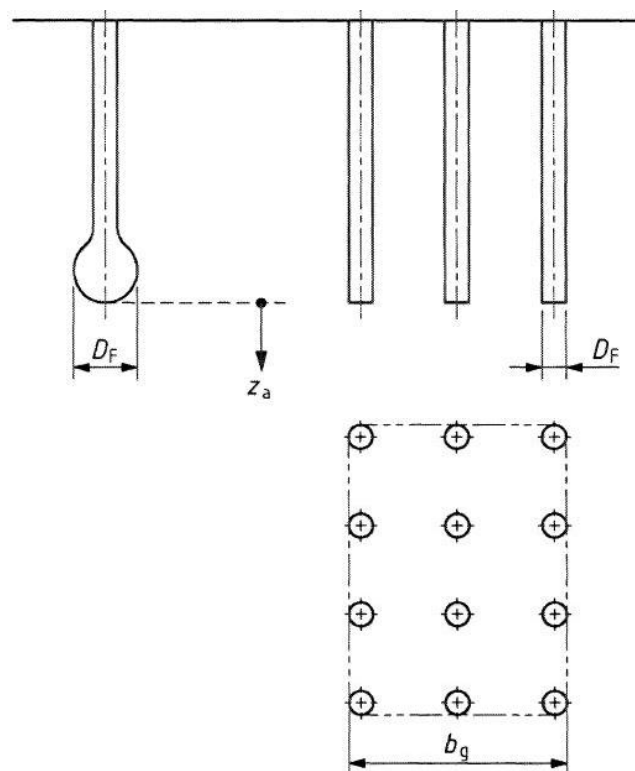
A terepi vizsgálatok ajánlott mennyiségét létesítménytípusonként, a geotechnikai kategória függvényében az MMK Geotechnikai Tagozata által készített „Segédlet az új, EC7 alapú geotechnikai dokumentációk tartalmi követelményeit betartó munkarészekhez, a mérnöki és vizsgálati ráfordítások összeállításához, tervfázisonként” c. dokumentum tartalmazza.

A terepi vizsgálatok mélységére vonatkozó előírásokat a 3.1. ábra mutatja be. Megjegyezzük, hogy a megadott  $z_a$  értékék közül a legnagyobbra adódót kell figyelembe venni. Fontos tudni, hogy szerves réteg vagy feltöltés esetén a terepi vizsgálatot egy



teherbíró réteg elérése előtt befejezni nem szabad, még ha a javasolt  $z_a$  mélységet meg is haladtuk. Az ajánlottnál kisebb feltérési mélység csak geológiai irodalmi adatokkal, korábbi vizsgálati eredményekkel igazolt vastag, összefüggő teherbíró réteg megjelenése esetén fogadható el, de e réteg felső zónáját ekkor is vizsgálni kell.

A vizsgálatok számát és távolságát a tervfázis, a geotechnikai kategória, mindenek előtt a talajrétegződés változékonyságának mérlegelése alapján kell meghatározni. Cölöpalapok kiviteli tervezéséhez általában 60 m-nél közelebb kell lennie a vizsgálati helyeknek, de nagyon változékonny adottságok esetén 35 m-t érdemes előírni. Hidak esetében minden támasznál kell legyen legalább egy feltérás, és valamiképpen kell tájékozódni a keresztirányú változásokról is.



$$z_a \geq 5 \text{ m}, z_a \geq 1,0 \cdot b_g, z_a \geq 3,0 \cdot D_F$$

3.1. ábra: a terepi vizsgálatok ajánlott mélysége cölöpalapozás tervezéséhez

A cölöpalapok tervezéséhez elvégzendő legfontosabb terepi vizsgálat a CPT/CPTu szondázás. A mai tervezési gyakorlatban, mint azt a 4. fejezetben látni fogjuk a cölöpök teherbírásának számítása – kevés kivételtől eltekintve – a nyomószondázások eredményein alapul. (A CPT szondázások eredményeinek leggyakoribb felhasználási területe éppen a cölöpteherbírás számítása.) Ehhez sok tapasztalati összefüggés áll rendelkezésre, s az Eurocode7 2. része is ad ajánlásokat a CPT alapú cölöp-teherbírásszámításra. Ennek a Szepesházi R. által a hazai talajokra 2010-ben kidolgozott változatát ajánljuk e dokumentumban is (lásd a 4. fejezetben).



A CPT szondázások mellett mindenképpen célszerű néhány fúrásos feltárás és laborvizsgálat is, melyekkel a szondázással meghatározott rétegsor ellenőrizhető. A fúrások készülhetnek folyamatos és szakaszos mintavételezéssel egyaránt. A mintavételezésekkel kapcsolatos követelményeket az MSZ EN 22475 részletesen ismerteti. A kivett talajminták minőségét befolyásolják egyrészt a geológiai és a hidrogeológiai adottságok, másrészt a fúrási vagy mintavételi módszer, továbbá a minták kezelése, szállítása és tárolása is. A fúrás után igényes laborvizsgálatok (ödométeres és/vagy triaxiális vizsgálatok) különösen a cölöpökkel gyámoltított lemezalapok tervezéséhez szükségesek. Ezeket a vizsgálatokat az előírányzott modellezés paraméterigényeinek megfelelően kell megtervezni.

Ha a CPT szondázás a talajadottságok miatt nem lehetséges – amire még visszatérünk – a cölöpöket is más talajvizsgálatok (fúrások, szokásos talajazonosítás és nyírószilárdsági vizsgálat) alapján lehet méretezni. A fajlagos palástellenállásokat talajmechanikai számítások vagy tapasztalati adatok alapján lehet megállapítani. (Ilyenkor a számított értékeket próbaterheléssel fokozottabban ellenőrizni kell.)

A cölöpök tervezése során fontos feladat, hogy talajvízmérésekkel információt szerezünk a talajvízviszonyokról, illetve hogy vízmintát is vegyünk, hogy a cölöpök anyagait a kémiai hatásoknak megfelelően választhassuk meg.

### 3.2 CPT szondázás

A CPT szondázás során egy szabványos szondafejet 20 mm/s sebességgel sajtolnak a talajba, miközben folyamatosan mérik a szonda csúcsán ( $q_c$  - csúcsellenállás) és palástján ( $f_s$  – köpenysúrlódás) fellépő ellenállást. A hazánkban leginkább használatos szondafejek a pórusvíznyomás ( $u$ ) mérésére is alkalmasak. A leggyakrabban használt szondafejek 60°-os kúpszögű csúcsban végződnek.

A CPT szondázáshoz szükség van egy hidraulikus nyomóberendezésre, a leggyakrabban egy kifejezetten erre a célra kifejlesztett berendezést alkalmaznak. Ezek egy részénél a lenyomáshoz szükséges ellensúlyt a berendezés önsúlya biztosítja, kisebb nyomógépek esetében a szükséges ellentartást lehorgonyzással oldják meg.

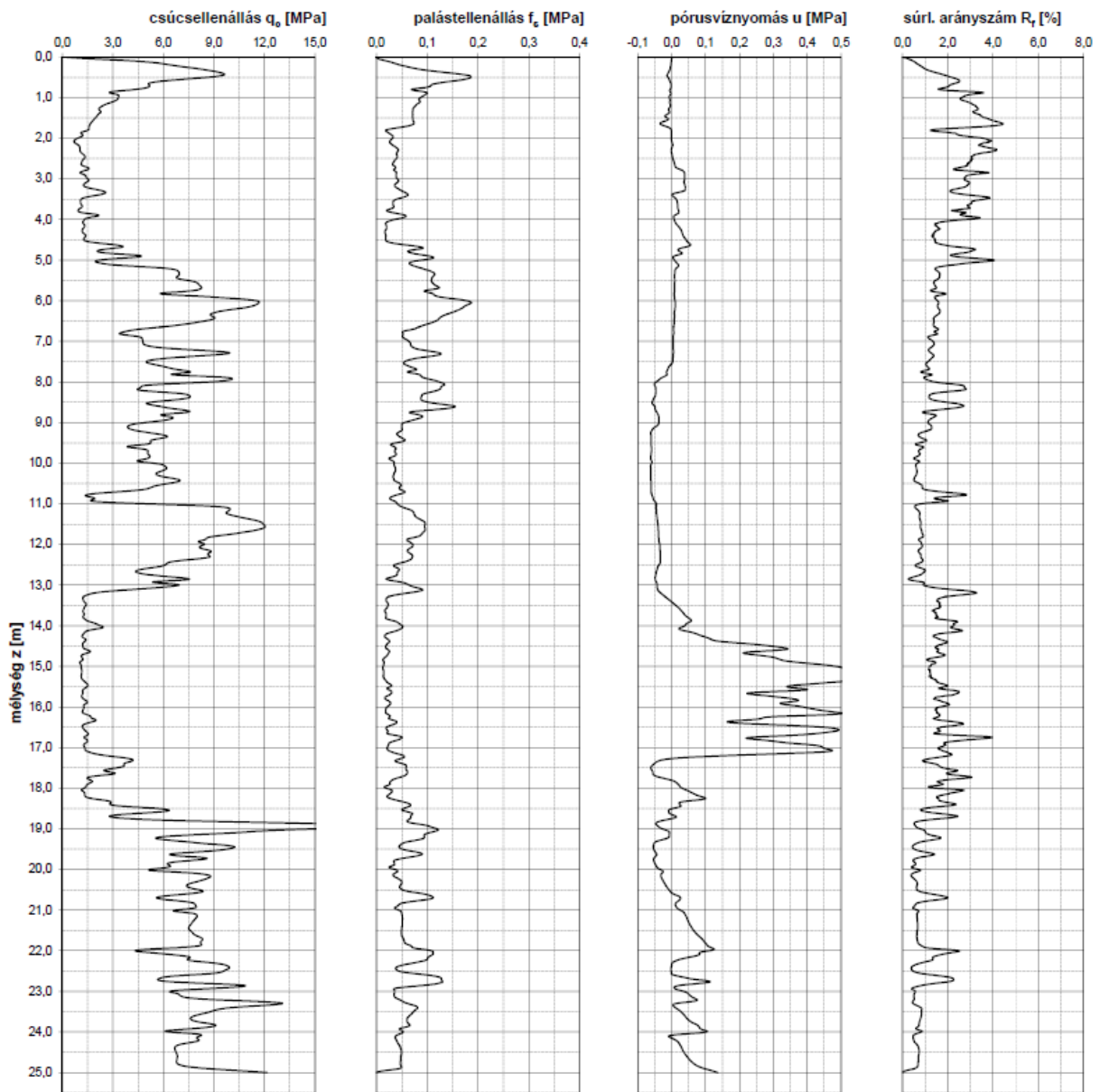
A CPT szondázás a hazánkban jellemző üledékes talajokban használható, de a túlkonzolidált kemény agyagok, a tömör durva kavicsok és a cementálódott talajzónák az eszköz számára áthatolhatatlan akadályt jelentenek. A hazai adottságok azonban többnyire nem gátolják meg a CPT vizsgálatokat, így a cölöptervezés ezekre épülhet.

Egy jellemző CPT szondázási eredményt mutat be a 3.2. ábra. Ezen az első grafikonon a csúcsellenállás, majd a palástellenállás és a pórusvíznyomás látható. Az utolsó oszlop az  $f_s$  és  $q_c$  értékek hányadosaként számított súrlódási arányszámot ( $R_t$ ) ábrázolja.

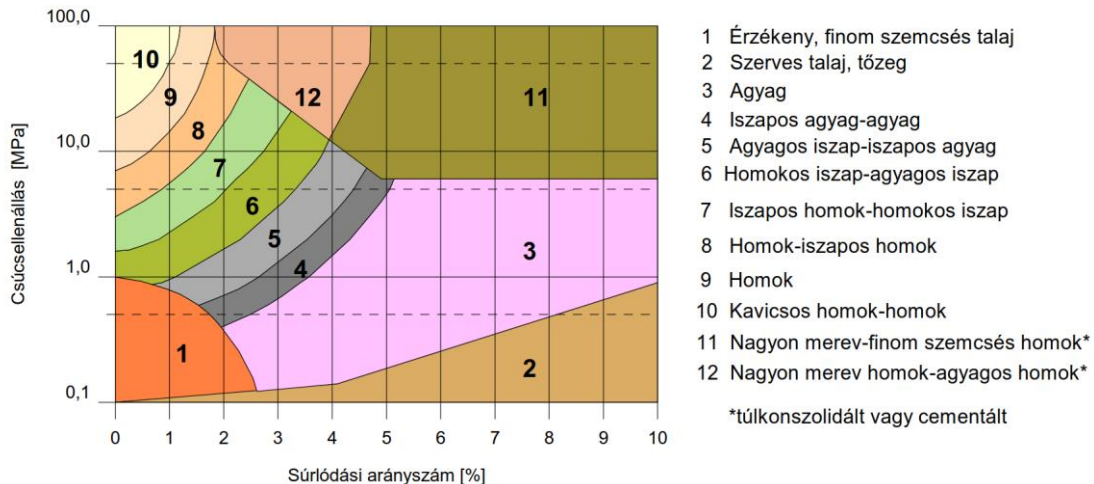
A CPT szondázás alkalmas lehet talajok közvetett azonosítására is, akkor, ha az erre való megfelelőségét direkt tapasztalat, így a talajazonosítás céljából végzett – akár

egyszerű – fúrás vizsgálatával, vagy meglévő fúrás/rétegszelvénytől való összevetés (kalibrálás) támasztja alá. Ez azon alapul, hogy az egyes talajtípusokban mérhető csúcscellenállás, palástcsúrlódás és pórusvíznyomás rendre egy jól körülhatárolható tartományban mozog, s különösen ezek aránya jellemző az egyes talajtípusokra.

A gyakorlatban leginkább használt metodikát Robertson dolgozta ki 1986-ban. Az általa szerkesztett diagramban (3.3. ábra) 12 lehatárolt tartomány van, s az összetartozó  $q_c - R_f$  értékpárok alapján az ezekhez rendelt megnevezésekkel illelhetjük a vizsgált talajt.



3.2. ábra: CPT szondázás eredményei



3.3. ábra: a Robertson-féle talajazonosítás

## 4. A cölöpök vizsgálata tengelyirányú teherre talajvizsgálat alapján

A cölöpöket érő hatások tengely- (nyomás, húzás) és keresztirányúak lehetnek. A tervezéskor az esetek többségében nem kell minden határállapot vizsgálatát részletesen elvégezni, de fontos tudni, hogy cölöpök esetében az MSZ EN 1997-1 előírásai szerint összesen 11, részben teherbírási, részben használhatósági határállapotra vonatkozó vizsgálat válhat szükségessé.

A nyomott cölöpök esetében a tervezés legfontosabb feladata általában annak igazolása, hogy a cölöpre annak nyomási ellenállásánál nagyobb erő nem jut. Ha ezt igazolni lehet, s betartjuk a cölöpökre vonatkozó szerkesztési szabályok, mindenek előtt a  $(2,5-3,0) \cdot D$  tengelytávolságot, az esetek zömében a többi követelmény is teljesül.

### 4.1 A cölöpellenállás számítása CPT alapján

Az egyedi cölöp palást- és talpellenállása az alábbiak szerint határozható meg:

- palástellenállás:  $R_{s;cal} = D \cdot \pi \cdot \sum q_{s;cal;i} \cdot H_i$
- talpellenállás:  $R_{b;cal} = A_b \cdot q_{b;cal}$

ahol:

- $R_{s;cal}$  palástellenállás számított értéke (kN),
- $R_{b;cal}$  talpellenállás számított értéke (kN),
- $D$  cölöp átmérője (m),
- $q_{s;cal;i}$  fajlagos palástellenállás rétegenként (kN/m<sup>2</sup>),
- $H_i$  a palást egyes rétegekre eső hossza (m),
- $A_b$  a cölöptalp keresztmetszeti felülete (m<sup>2</sup>),
- $q_{b;cal}$  fajlagos talpellenállás (kN/m<sup>2</sup>),



A fajlagos palást- és talpellenállásokat – mint említettük – a CPT szondázással nyert csúcsellenállási eredményekből ( $q_c$ ) határozzuk meg. A következőkben Szepesházi R. módszerét ismertetjük, mert annak alkalmasságát hazai talajokban végzett próbaterhelések igazolták, amit az Eurocode 7 megkövetel. A fajlagos palást- és talpellenállási értékek számítási képleteit a 4.1. táblázat tartalmazza.

talajtípus	palástellenállás	talpellenállás
	$q_s$ [kPa]	$q_b$ [kPa]
szemcsés talaj	$\alpha_{sq} \cdot \sqrt{q_c}$	$\lambda_b \cdot \alpha_b \cdot 0,5 \cdot [q_{cIII} + 0,5 \cdot (q_{cII} + q_{cI})]$
kötött talaj	$\mu_s \cdot 1,2 \cdot \sqrt{q_c}$	$\mu_b \cdot 9 \cdot c_u$

4.1. táblázat: a fajlagos palást- és talpellenállások számítása

A szemcsés talajok esetén a 4.1. táblázatbeli jelölések a következők szerint értelmezendők:

- $q_{cI}$  a cölöptalp alatti kritikus mélységtartomány ( $t_{krit}$ ) átlagos csúcsellenállása,
- $q_{cII}$  a cölöpcsúcs alatti kritikus mélységtartomány ( $t_{krit}$ ) „legkisebb”  $q_c$  értékeinek átlaga, melyet úgy kell meghatározni, hogy  $t_{krit}$  mélységben levő értéktől elindulva és a talphoz felfelé haladva mindig csak az addiginál kisebb értéket szabad számításba venni,
- $q_{cIII}$  a cölöpcsúcs feletti  $8,0 \cdot D$  mélységtartomány „legkisebb”  $q_c$  értékeinek átlaga, melyet úgy kell meghatározni, hogy a talp szintjétől a  $q_{cII}$  meghatározásakor kiadódott értéktől felfelé indulva mindig csak az addiginál kisebb értéket szabad számításba venni, és  $q_{cIII}$  maximuma 2.0 MPa lehet,
- $t_{krit}$  a talpellenállást meghatározó kritikus mélység, melyet min.  $0,7 \cdot D$  és max.  $4,0 \cdot D$  között úgy kell megállapítani, hogy  $q_b$  értéke minimális legyen,
- $\lambda_b$  az Eurocode 7-hez képest figyelembe veendő redukciós tényező, mely a hazai próbaterhelési tapasztalatok szerint spirálfúróval készülő cölöpök esetében víz alatti homokokra 0,6, víz alatti kavicsokra 0,8 lehet,
- $\alpha_b$  a talpellenállás technológiai szorzója, mely a 4.2. táblázat szerint vehető fel,
- technológiai szorzója, mely szintén a 4.2. táblázat szerint választható meg,

Cölöptípus	talp-ellenállási szorzó	palást-ellenállási szorzó	palástellenállás maximuma	
	$\alpha_b$	$\alpha_{sq}$	$q_{smax}$	
Talaj-kiszorításos cölöp	vert, előre gyártott vasbeton elem	1,00	0,90	150
	vert, zárt végű bennmaradó acélcső	1,00	0,75	120
	zárt véggel lehajtott és visszahúzott cső helyén betonozott	1,00	1,10	160
	csavart, helyben betonozott	0,80	0,75	160



Talaj-helyettesíté- sítéses cölöp	CFA-cölöp	0,70	0,55	120
	fúrt, támasztófolyadék védelemmel	0,50	0,50	100
	fúrt, béléscső védelemmel	0,50	0,45	80

4.2. táblázat: technológiai szorzók szemcsés talajokra

A kötött talajokra a 4.1. táblázatban adott jelölések az alábbiak szerint értelmezhetők:

- $\mu_b$  a talpellenállás technológiai szorzója, mely a 4.3. táblázat szerint vehető fel,
- $\mu_{sq}$  a palástellenállás technológiai szorzója, mely szintén a 4.3. táblázat szerint választható meg,
- $c_u$  a talp alatti  $2 \cdot D$  és a talp feletti  $1 \cdot D$  közötti mélységtartomány átlagos drénezetlen nyírószilárdsága, melyet az ottani  $q_c$  értékek átlagából a 4.5. táblázat szerinti  $N_{kt}$  értékekkel való osztással is lehet számítani.

Cölöptípus		talp- ellenállási szorzó	palást-el- lenállási szorzó	palást- ellenállás ma- ximuma
		$\mu_b$	$\mu_{sq}$	$Q_{smax}$
Talaj- kiszorításos cölöp	vert, előregyártott vasbeton elem	1,00	1,05	85
	vert, zárt végű bennmaradó acélcső	1,00	0,80	70
	zárt véggel lehajtott s visszahúzott cső helyén betonozott	1,00	1,10	90
	csavart, helyben betonozott	0,90	1,25	100
Talaj-helyette- sítéses cölöp	CFA-cölöp	0,90	1,00	80
	fúrt, támasztófolyadék védelemmel	0,80	1,00	80
	fúrt, béléscső védelemmel	0,80	1,00	80

4.3. táblázat: technológiai szorzók kötött talajokra

talajfajta	$N_{kt}$ értéke
sovány agyag	12-14
közepes agyag	14-16
kövér agyag	16-18

4.4. táblázat –  $N_{kt}$  értéke kötött talajok esetén





#### 4.2 A méretezési biztonság az Eurocode 7 szerint

Az egyedi cölöp nyomási ellenállásának karakterisztikus értékét a szondadiagramonként az előbbiek szerint számított ellenállásból az alábbiak szerint kell meghatározni:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,m})_{mean}}{\xi_{mean}}; \frac{(R_{c,m})_{min}}{\xi_{min}} \right\}$$

$$(R_{c,m})_{mean} = \text{Min} \left\{ (R_{b;cal} + R_{s;cal})_{mean}; (R_{b;cal})_{mean} + (R_{s;cal})_{mean} \right\}$$

$$(R_{c,m})_{min} = (R_{b;cal} + R_{s;cal})_{min}$$

ahol

- $\xi_{mean}$  az átlagos cölöpellenálláshoz tartozó korrelációs tényező a 4.5. táblázat szerint,
- $\xi_{min}$  a minimális cölöpellenállásokhoz tartozó korrelációs tényező a 4.5. táblázat szerint.

Az egyedi cölöp nyomási ellenállásának tervezési értéke

$$R_{c,d} = \frac{\text{Min} \left\{ \frac{R_{c,k}}{\gamma_t}; \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s,k}}{\gamma_s} \right\}}{\gamma_{R,d}}$$

ahol a jelölések értelmezése a következő:

- $\gamma_t$  a teljes ellenálláshoz tartozó parciális tényező a 4.6. táblázat szerint,
- $\gamma_b$  a talpellenálláshoz tartozó parciális tényező a 4.6. táblázat szerint,
- $\gamma_s$  a palástellenálláshoz tartozó parciális tényező a 4.6. táblázat szerint,
- $\gamma_{R,d}$  modelltényező a 4.7. táblázat szerint.

Az egyedi cölöp húzási ellenállásának tervezési értékét ( $R_{t,d}$ ) hasonló módon kell meghatározni, értelemszerűen a talpellenállás figyelmen kívül hagyásával és a palástellenállás bizonyos csökkentésével. Különösen az olyan cölöpök esetében indokolt ez a csökkentés, melyeknek alternáló terhelése lehet: bizonyos teherkombinációban nyomottak, más teherkombinációban pedig húzottá válhatnak. Ezen cölöpöknél fennáll a palást körüli fellazulás veszélye, s emiatt célszerű az ilyen cölöpök húzási ellenállását óvatosabban meghatározni. Más országok (pl. Hollandia) az ilyen váltakozó terhelésű cölöpök húzási ellenállásának meghatározásához bevezetnek egy kiegészítő parciális tényezőt ( $\gamma_{m,var} = 1,0-1,5$ ).

A 4.5. táblázatból látható, hogy a  $\xi_{mean}$ ,  $\xi_{min}$  értékek az elvégzett talajvizsgálatok számának függvényében változnak. Minél több vizsgálatot végzünk ez az érték annál kisebb, ami a számított cölöpmennyiségre is kedvező hatást jelent. A vizsgálatok költségei tehát egy-egy jelentősebb volumenű mélyalapozási feladatnál a cölöpméret megválasztásakor jócskán megtérülhetnek.



## Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozat

A 4.6. táblázatból azt láthatjuk, hogy a parciális tényezők értéke a cölöpözés technológiájától és az ellenállás típusától függő. A modelltényező értékét pedig az szabja meg, hogy az elvégzett számításokat a tervező milyen vizsgálatra alapozta (4.7 táblázat).

<i>talajvizsgálatok száma</i>	$\xi_{\text{mean}}$	$\xi_{\text{min}}$
1	1,40	1,40
2	1,35	1,27
3	1,33	1,23
4	1,31	1,20
5	1,29	1,15
6	1,28	1,13
7	1,27	1,12
8	1,26	1,10
9	1,26	1,09
10	1,25	1,08
11	1,25	1,08
12	1,25	1,08

4.5. táblázat: korrelációs tényezők értékeinek összefoglaló táblázata

<i>cölöptípus</i>	<i>talpellenállás</i>	<i>palástellenállás</i>			<i>teljes ellenállás</i>
		<i>nyomott cölöp</i>	<i>húzott cölöp</i>	<i>felúszás</i>	
	$\gamma_b$	$\gamma_s$	$\gamma_{s,t}$	$\gamma_{s,t}$	$\gamma_t$
vert	1,10	1,10	1,25	1,40	1,10
fúrt	1,25	1,10	1,25	1,40	1,20
CFA	1,20	1,10	1,25	1,40	1,15

4.6. táblázat: parciális tényezők értékeinek összefoglaló táblázata

<i>a számítás alapja</i>	$\gamma_{R,d}$
cölöppróbaterhelés	1,0
CPT vizsgálat	1,1
egyéb talajvizsgálat	1,2
tapasztalat	1,3

4.7. táblázat: modelltényezők értékeinek összefoglaló táblázata





### 4.3 A cölöpsüllyedés és a csoportthatás vizsgálata

A cölöpalapozások esetében jellemzően nem egy, hanem több cölöp van egy függőleges teherviselő szerkezet alatt. Ez a körülmény visszahat az egyedi cölöpök viselkedésére is, ezért cölöpcsoportok esetén ellenőrizni kell azok teherbírását és a csoportthatás miatt kialakuló többletsüllyedéseket is.

A cölöpcsoport nyomási ellenállását a szabvány szerint úgy lehet számítani, mintha a cölöpök és a köztük lévő talaj alkotta tömb egyetlen nagy átmérőjű cölöp lenne. Ennek vizsgálatakor nehézséget jelent, hogy mennyiben vegyük figyelembe a cölöpözési technológiát, hiszen e nagy átmérőjű helyettesítő cölöpnek talajfelületein a cölöpök tömörítő (vagy lazító) hatásai nyilvánvalóan kevésbé érvényesülnek. A talajhelyettesítéssel cölöpök esetén a biztonság javára közelítünk, ha a helyettesítő cölöp fajlagos ellenállását a tényleges cölöpökével azonosra vesszük. A talajkiszorításos cölöpök esetében a technológiai szorzók értékét a helyettesítő cölöpre vonatkozóan valahol a talajhelyettesítéses és a talajkiszorításos cölöpök átlaga körül vesszük fel. E bizonytalanság a gyakorlatban ritkán okoz zavart, mert ha – mint már jeleztük – a cölöpök tengelytávolságát az átmérő 2,5-3,0-szorosára vesszük, a csoport teherbírásában mindig bőséges tartalék mutatható ki.

Cölöpcsoportok esetén egy másik fontos kérdés a cölöpalapozás süllyedése okán felmerülő használhatósági határállapot és/vagy felszerkezet teherbírási határállapotának bekövetkezése.

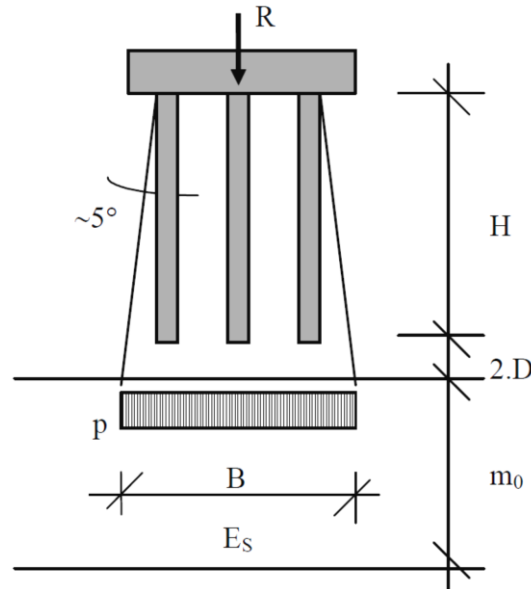
A cölöpcsoportok süllyedésének két komponense van:

- egyedi cölöpök süllyedés
- csoportthatás okozta (többlet) süllyedés.

Az egyedi cölöpök süllyedése, mely kb. a talp alatti  $2 \cdot D$  vastagságú talajzóna kompressziójából származik, a legtöbb esetben minimálisnak tekinthető és jól becsülhető. A lebegő cölöpök esetében domináns palástellenállás kb. 1 cm elmozdulással már mobilizálódik, az álló cölöpöknek pedig éppen az a lényege, hogy a talp teherbíró talajra támaszkodik, ezért ennek süllyedése 1-2 cm-en belül marad. A próbaterhelési tapasztalatok is azt mutatják, hogy az előbbieknél megfelelően tervezett cölöpök esetében az az erő, amelyet „üzemi” teherként megengedünk, 10 mm-nél nagyobb süllyedést nem okoz.

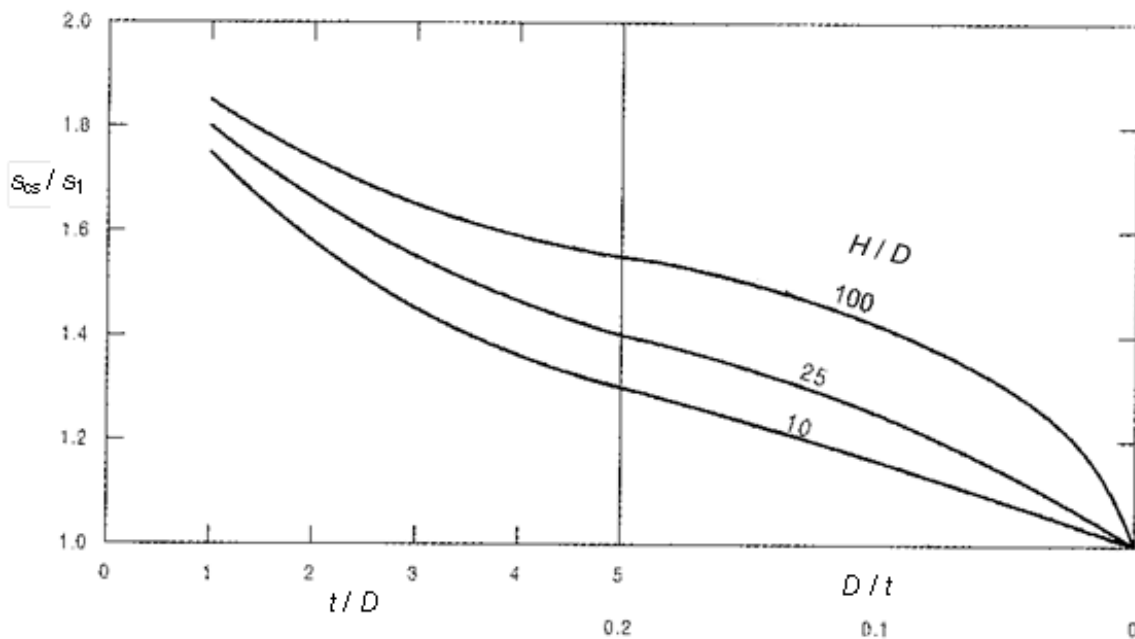
A cölöpcsoport süllyedése már kritikusabb lehet, mert a csúcs alatt szuperponálódó feszültségek nagyobb süllyedést is okozhatnak, különösen, ha esetleg mélyebben, a cölöptalp alatt gyengébb talaj is előfordul. Vizsgálatára egy síkalap-analógia, vagy egy egyszerűsített szorzótényezős eljárás alkalmazható. Az előbbi a cölöptalp alatt  $2 \cdot D$  mélységben lehet a cölöpcsoportra ható eredő erő  $R$  alapértékét egyenletesen megoszló  $p$  terhelésként felvenni, ahol az alapfelület szélességét (és hosszúságát is) a szélső cölöpök felső, külső szélétől indított, kb.  $5^\circ$ -kal kifelé hajló egyenes jelöli ki. Az ez alatti összenyomódó zóna vastagságát, vagyis az  $m_0$  határmélységet a rétegződés

alapján a 20 %-os szabály szerint helyénvaló felvenni, s a talp alatti geosztatikai nyomás nagy értéke miatt ez általában már csak néhány méterre adódik. Ezt követően a süllyedés, a talaj összenyomódási modulusának ismeretében, a síkalapok süllyedés-számításához hasonlóan határozható meg.



4.1. ábra: cölöpcsoport süllyedését befolyásoló adatok Szepesházi (2009) nyomán

Korábbi tapasztalatok alapján a cölöpcsoport süllyedésének ( $s_{cs}$ ) valamint az egyedi cölöp süllyedésének ( $s_1$ ) hányadosa ( $s_{cs}/s_1$ ) a 4.2. ábrán látható grafikon segítségével is becsülhető kisebb cölöpcsoportok esetén, ha a cölöpök talpa alatt a palást mentén levőkhöz hasonló talajok vannak. A  $t$  tengelytávolság, a  $D$  cölöpátmérő és a  $H$  cölöphossz értékekhez a görbékről leolvasható az  $s_{cs}/s_1$  szorzótényező.



4.2. ábra: grafikon a cölöpcsoport süllyedésének becsülésére  
( $t$  = tengelytávolság,  $D$  = cölöpátmérő,  $H$  = cölöphossz)



## 5. Vízszintes terhekkel szembeni ellenállás

### 5.1 Alapelvek

A vízszintes (keresztirányú) terhelésnek kitett cölöpök illetve cölöpcsoportok viselkedése összetett geotechnikai kérdés, melynek pontosabb számítása csak a talaj térbeli kiterjedését és nemlineáris viselkedését is figyelembe vevő modellekkel lehetséges. A gyakorlatban ilyen számításokra általában nincsen lehetőség, ezért a méretezés közelítő számításokon alapulhat. A legelterjedtebb módszer az, hogy a talajt rugalmas megtámasztásként vesszük figyelembe, amihez a nemzetközi és hazai szakirodalomban számos ajánlás található a rugalmas ágyazás modellezésére, melyek alapvetően két csoportra oszthatóak:

- a vízszintes (megtámasztó) feszültség és elmozdulás kapcsolatát nemlineáris függvényként megadó összefüggések (az ún.  $p$ - $y$  görbék),
- a vízszintes elmozdulástól független rugóállandók (a feszültség-elmozdulás összefüggés lineáris).

A hazai gyakorlatban többnyire az utóbbiakat használjuk, így jelen anyagunkban is ezekre koncentrálnak

### 5.2 Az ágyazási tényező felvétele

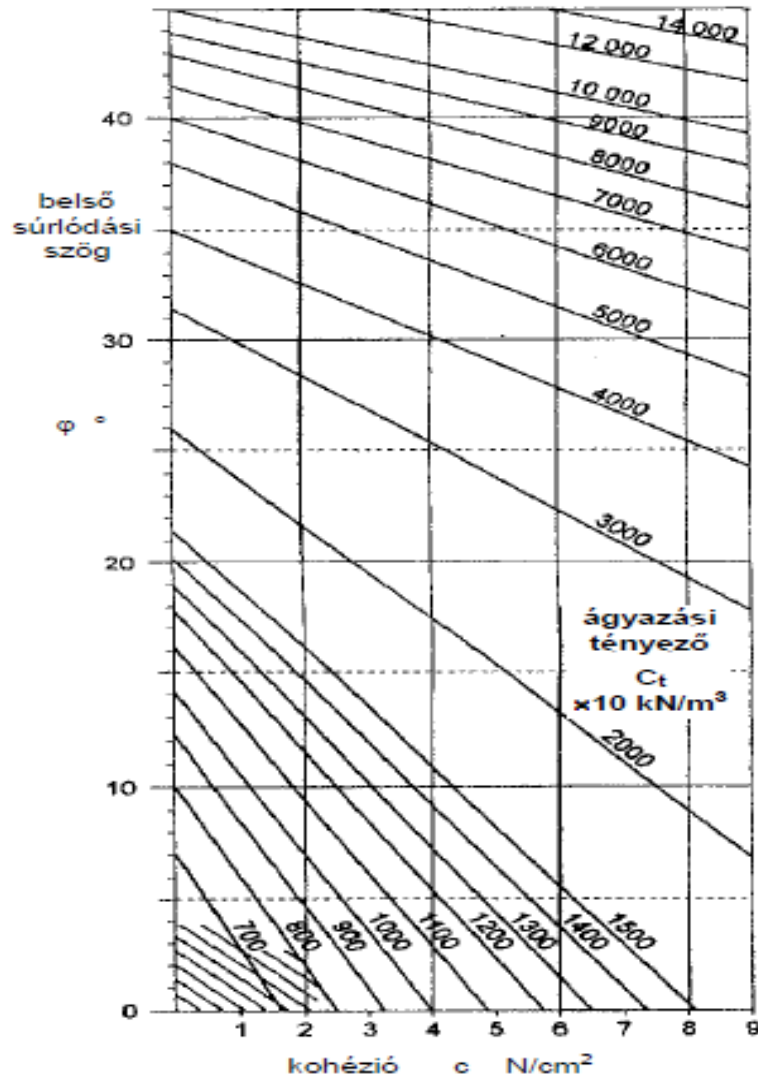
A rugóállandók, ágyazási tényezők felvételére több lehetőség van, ezek közül két lehetőséget mutatunk be. Az egyik az egykori (visszavont) MSZ15005:1989 szabványban található ajánlás, amely a vízszintes irányú (felületi) ágyazási tényező számítására a következő összefüggést javasolja:

$$C = \frac{2 \cdot E_{oed}}{D}$$

ahol:

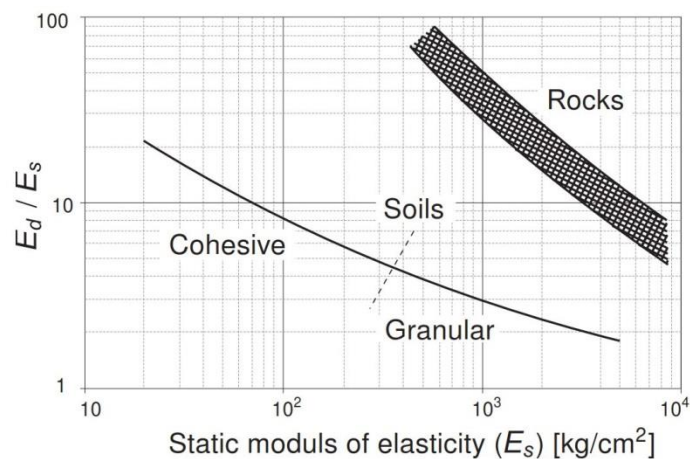
- $C$  az ágyazási tényező [ $\text{kN/m}^3$ ]
- $E_{oed}$  a talaj összenyomódási modulusa [ $\text{kN/m}^2$ ]
- $D$  a cölöpátmérő [ $\text{m}$ ]

Egy másik lehetőség az ún. Monnet (1994) diagram használata (5.1. ábra), melyből az ágyazási tényező a talaj nyírószilárdsági paramétere alapján vehető fel. Paradoxonnak tűnhet, hogy egy alakváltozási paramétert szilárdsági paraméterek alapján határozzunk meg, ami mögött az a gondolat állhat, hogy a nyírószilárdsági paraméterek alkalmasak az „általános talajállapot” leírására, hiszen a kisebb szilárdságú talajok jellemzően puhábbak is, lágyabb megtámasztást jelentenek.



5.1. ábra Monnet (1994) diagram (Szepesházi és társai, 2009 nyomán)

A gyakorlatban mind gyakrabban merül fel a lökészerű terhek figyelembevétele. A talajok ilyen terheléskor nagyobb merevséget mutatnak, melyet a statikus merevség függvényében a talajtípus figyelembevételével az 5.2. ábra alapján vehetjük fel.



5.2. ábra Dinamikus talajmerevség meghatározása, Alpan (1970)



### 5.3 A talajfeszültségek ellenőrzése

Ha a talaj ellenállását rugalmas ágyazásként vesszük figyelembe, tekintettel kell lenni arra, hogy a talajellenállás a vízszintes elmozdulással korlátlanul nem növekedhet. A talajban ébredő vízszintes feszültség nem haladhatja meg a passzív földnyomás értékét. A megengedhető maximális feszültség megadásánál figyelembe kell venni azt a tényt is, hogy a cölöp „túloldalán” a földnyomás nem csökkenhet az aktív földnyomás alá. Mindezek miatt a megengedhető vízszintes földnyomás e két (közös hatásvonalú, de ellentétes irányú) erő különbségeként számítható. A számítás bizonytalan részlete, hogy milyen együttdolgozó földtömeget vegyünk figyelembe. A valóságban a passzív oldalon egy ék alakú földtömeg mozdul el, melynek méretét és alakját a közeli szerkezetek (pl. másik cölöp, alaplemez) is befolyásolják. A maximális földellenállás mindezek figyelembe vételével az alábbi képlettel számítható:

$$q_{h,max} = [(K_p - K_a) \cdot (p + z \cdot \gamma) + 2 \cdot c \cdot (\sqrt{K_p} - \sqrt{K_a})] \cdot \beta \cdot D$$

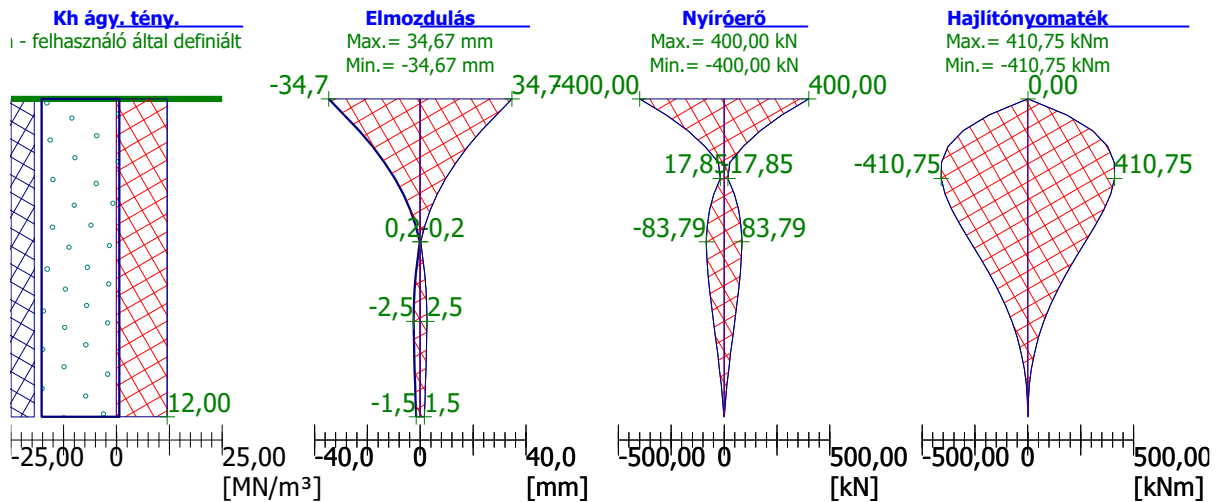
ahol:

- $q_{h,max}$  a maximális földellenállás [kN/m]
- $K_p, K_a$  a passzív és aktív földnyomás tényezői [-]
- $p + z \cdot \gamma$  a hatékony geosztatikus feszültség 'z' mélységben [kPa]
- $c$  a talaj kohéziója [kPa]
- $\beta$  a helyettesítő szélesség figyelembe vételére szolgáló együttható [-]

A fenti képletben a  $\beta=1,0$  síkbeli feszültségállapot ( $2 \cdot D$ ) figyelembe vételét jelenti. Ez meglehetősen konzervatív, de nagyobb érték figyelembevétele csak akkor javasolt, ha érvényességét az adott szerkezet  $3 \cdot D$  számításokkal igazoljuk.

## 5.4 Tartószerkezeti méretezés

Az előbbieken alapján a keresztirányban terhelt cölöpök igénybevételeinek és elmozdulásainak számítása bármilyen, a rugalmas ágyazás figyelembevételére alkalmas szoftverrel elvégezhető. Egy ilyen számítási eredményeire mutat példát az 5.3. ábra.



5.3. ábra Keresztirányban terhelt cölöpök elmozdulásai és igénybevételei (Geo5 – Cölöpök)

A tartószerkezeti számításokban a cölöpök sokszor nem jelennek meg, hanem az alapozás egy rugalmas támaszként szerepel bennük. Az ez esetben megadandó támaszmerevségek az egyedi cölöp (vagy cölöp csoport) erő-elmozdulás karakterisztikájának ismeretében vehetők fel.

Külön érdemes kitérni arra, hogy a cölöpök/cölöp csoport modellezése során a cölöp-fejtőmb kapcsolatát miként vegyük figyelembe. Mivel összevasaljuk a cölöpöt a fejtőmbbel, ott mozgásmentes, nyomatékbíró kapcsolatot hozunk létre. Ennek megfelelően ezt befogott kapcsolatként kell/lehet modellezni. Ha csuklós kapcsolatnak feltételezzük a cölöp-fejtőmb csatlakozást, akkor a cölöpök fejénél nem alakulna ki nyomaték. Ez csak abban az esetben lehetséges, ha elforduláskülönbség jön létre a fejtőmb és a cölöpfej között, vagyis lokális „törés”, következik be, illetve ha a cölöpfej is elfordul a függőleges terhek különbözősége miatt.

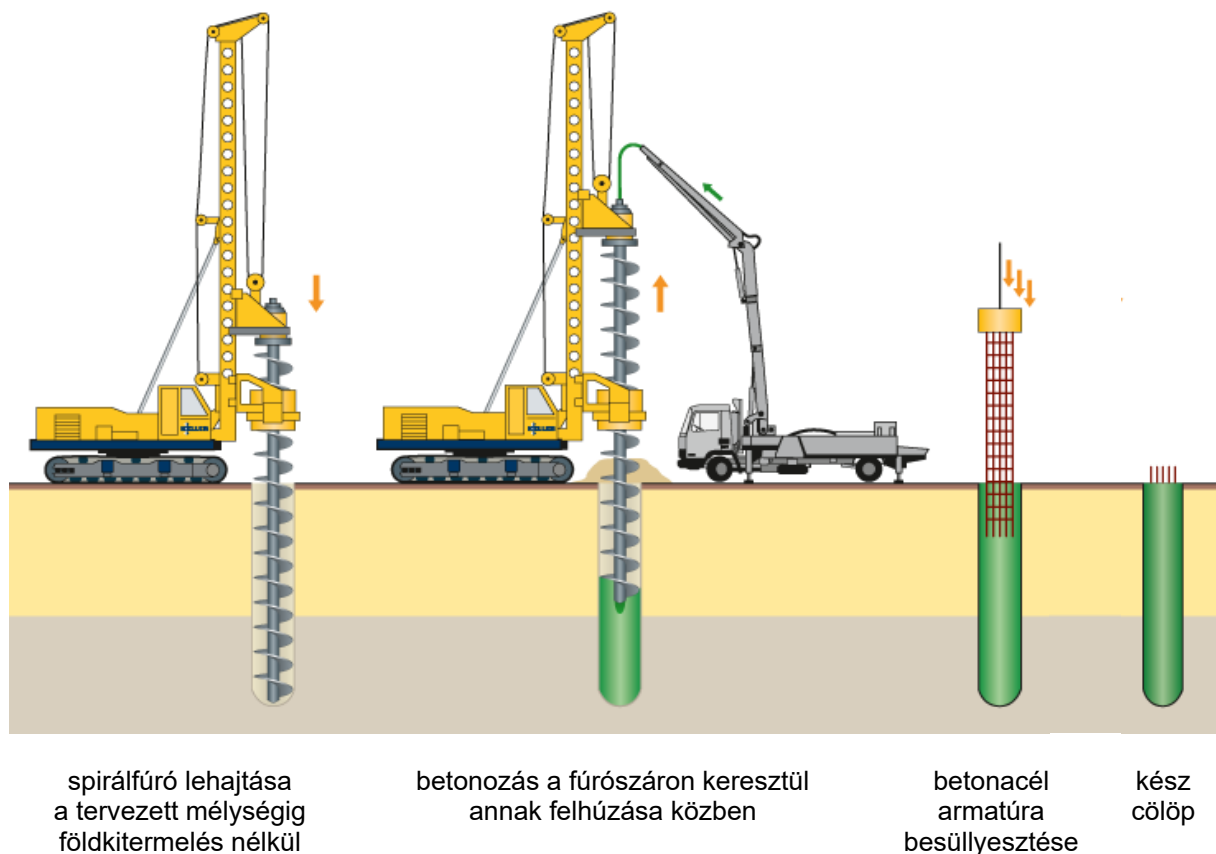
A leírt módon a keresztirányban terhelt cölöpökben ébredő igénybevételek meghatározhatók, s a keresztmetszet ismeretében a teherbírási vonal is megszerkeszthető. Az ellenőrzéskor tekintettel kell lenni arra, hogy a cölöpben ébredő normálerő a mélység növekedésével – a palástellenállás által – csökken. Ennek mértéke némileg bizonytalan, s tekintettel kell arra lenni, hogy a palástellenállás már kis süllyedésekkel is szinte teljesen mobilizálódik. Előfordulhat az is, hogy a valós terhek és a valóban kialakuló palástellenállások hatására a cölöpben ébredő normálerő már viszonylag kis mélységben zérus közeli értékre csökkenhet. Bár konzervatív megoldás, mégis többen azt teszik, hogy a keresztmetszet ellenőrzésekor  $N = 0$  értéket vesznek figyelembe.

## 6. Cölöpözési technológiák

### 6.1 CFA cölöpözés

A CFA cölöp talajhelyettesítéses cölöp, melynek helyét folytonos fúróspirállal készítik, úgy, hogy a lehajtás közben a furat falát a spirálon maradó talajdugó támasztja meg. A spirál felhúzása közben az üreges fúrószáron át folyós betont nyomnak a furatba, s abba süllyesztik a betonacél kosarat.

A folyamat fő fázisait 6.1. ábra mutatja.



6.1. ábra: a CFA technológia fő fázisai

Minthogy ez a leggyakrabban alkalmazott eljárás, munkafázisait részletesebben ismertetjük.

#### a) Kitűzés, pontraállítás

A cölöpök tengelypontjait alsórendű geodéziai méréssel kell meghatározni  $\pm 1$  cm pontossággal. A kitűzést követően a fúrógéppel a cölöp tengelypontjára kell állni, aminek pontossága  $\pm 2$  cm kell legyen. Eközben biztosítani kell a fúróspirál függőlegességét, mely a gép billentésével érhető el, ami a gép monitoring rendszerén keresztül ellenőrizhető. Ügyelni kell a cölöpözési sorrendre, hogy a cölöpözéssel járó rázkódások ne károsítsák az előzőleg frissen betonozott cölöpöket. 4 órán belül nem készülhet a cölöpmérető négyszeresénél, de legalább 2,0 m-nél kisebb tengelytávolságban új cölöp.



### b) Megadott hosszúságú furat készítése

A cölöpfúrást a terv szerinti átmérőjű fúrószerszámmal, merev üreges acélcsőre felhezett folytonos spirállal készítik. A spirálfúró leajtása közben a furadék a furatból csak részben nyomódik ki. A furat falát ily módon folyamatosan megtámasztja a spirálon maradó talajdugó, és a kiemeléskor az ezen működő palástelénállás adja a betonozáshoz szükséges ellennyomást.



6.1. kép: a CFA fúrószár pontra állítása és csapóajtós vége

Az üreges fúrószár a leajtás közben alul le van zárva, hogy talaj vagy talajvíz ne juthasson bele. Ez egy csapóajtóval (6.1. kép) oldható meg, melyet a nekifeszülő föld tart zárt állapotban.

A fúróspirált folyamatosan kell a talajba juttatni. A forgatási sebességet és az előtolást úgy kell összehangolni, hogy a furat fala ne veszítse el stabilitását és a kihordott talaj mennyisége minimális legyen. Alapsémaként nagy előtolásra és kevés forgatásra kell törekedni. A fúrás közben a gépkezelőnek a fúrógép számítógépes monitorja folyamatosan jelzi a forgatónyomatékokot és behatolási sebességet, így tudja a gépkezelő a fúrást optimalizálni .

### c) Betonozás

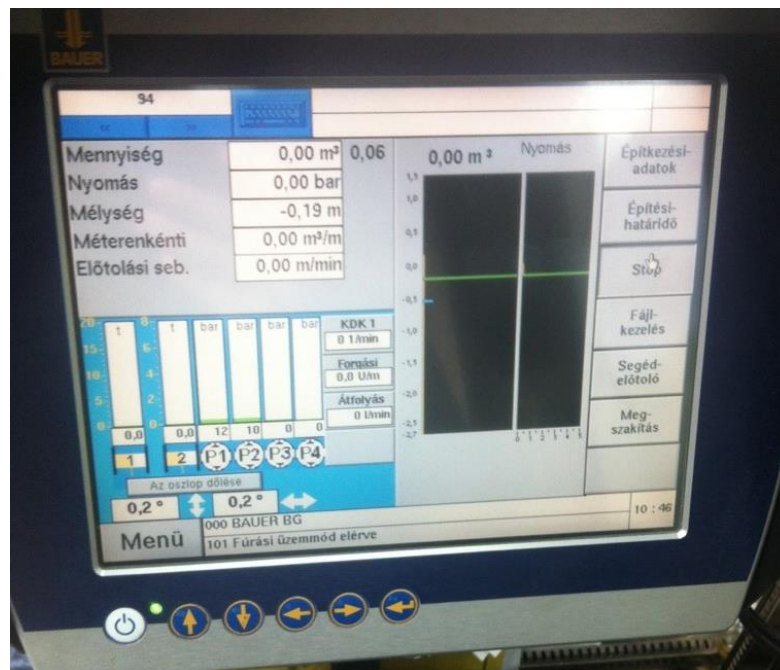
A kívánt mélység elérése után a furatot betonnal kell kitölteni. A fúrószerszámot folyamatosan visszahúzzák, és egyidejűleg a furatot a fúrószár üreges nyomócsövén keresztül nyomás alatti folyós betonnal töltik ki. A betonadagoláshoz az üreges fúrószárhoz betonszivattyút kapcsolnak (6.2. kép).





6.2. kép: CFA cölöp betonozása

A korszerű gépek a fúrószár tetején a betonnyomást folyamatosan mérik és rögzítik a fedélzeti számítógépben. A gépkezelőnek úgy kell megválasztania a kihúzás (betonozás) sebességét, hogy a betonnyomás értéke mindvégig pozitív maradjon, ezzel biztosítva a beton folytonosságát. A gépkezelő a két értéket a fedélzeti számítógépen tudja nyomon követni (6.3. kép).



6.3. kép: cölöpfúrógép számítógépének kezelőfelülete az aktuális paraméterek ellenőrzésére

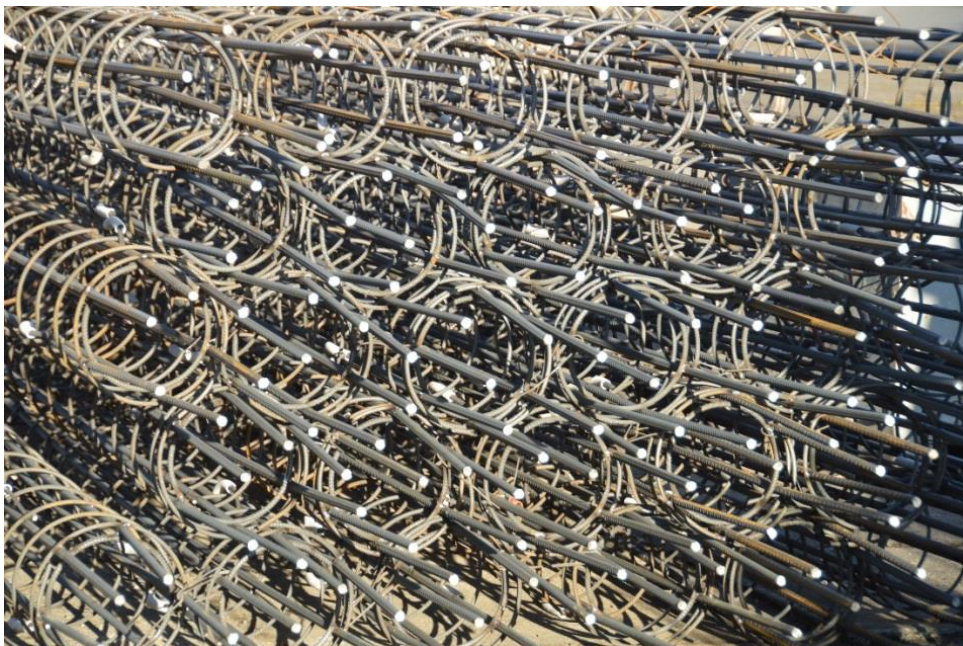


A cölöpöket általában a munkaszintig kell felbetonozni, hogy a betonacél armatúrák behelyezhetőek legyenek. A betont vibrálni nem kell, a folyós konzisztencia és a nyomás alatti bedolgozás biztosítja az öntömörödést.

#### d) A cölöpvasalás elhelyezése

A furat kibetonozása után a furat felső – talajjal keveredett – részét gyorsan le kell tisztítani, hogy az armatúra a lehető legrövidebb időn belül, akadálytalanul behelyezhető legyen, s ne vigyen magával talajdarabokat

Az előre gyártott armatúrát – a méretétől függően – a segítő földmunkagéppel és kézi erővel vagy autódaru segítségével lehet leengedni. Az armatúrának kellően erősnek kell lennie, hogy a behelyezés közben ne deformálódjék.



6.4. kép: cölöparmatúrák

Az armatúra a friss betonba saját súlyánál fogva ereszkedik le, majd kézi vagy gépi erővel és szintezőműszer segítségével a kiviteli tervben szereplő szintre állítandó. Elakadás esetén armatúra-vibrátor segítségével kell folytatni a behelyezését. A szintreállítás minden egyes cölöpnél szintező műszerrel kell irányítani. Az armatúra központosítására és a megfelelő betontakarás biztosítására távtartókat alkalmaznak.

#### e) A cölöpfejek feltárása (földmunka)

A minimális kötési idő (időjárásfüggő, de min. 24 óra) elteltével megkezdhető a cölöpökre kerülő fejtömbök/fejgerendák földmunkája. (Ha több cölöp van egy fejtömbben, akkor az utolsó cölöp elkészítése után következhet ez a munkafázis.) A kialakítandó sík a kiviteli terv szerinti szerelőbeton alsó síkja. Fokozott figyelmet kell fordítani arra, hogy a földmunkát végző munkagép ne okozzon kárt (betonacélok elhajtása/törése, kisebb átmérőjű cölöp eltörése).





### f) Szerelőbetonozás

A visszavésés megkezdése előtt feltétlenül szükséges a szerelőbeton elkészítése a cölöpbeton túlhasadásának elkerülése végett. A szerelőbeton felső síkja a cölöp visszavésési síkjával azonos.

### g) Visszavésés

A cölöp felső, szennyezett részét vissza kell bontani, amit csak akkor szabad megkezdni, ha a beton kellő mértékben megszilárdult, amihez legalább 36 óra kell. A visszavésést addig kell folytatni, míg a beton a cölöp teljes keresztmetszetében el nem éri a kifogástalan (terv szerinti) minőséget, ez általában 20-40 cm. A visszavésést kézi erővel, levegős vagy elektromos vésővel kell végezni, ügyelve az armatúra és a cölöp épségére. A kiviteli terv szerinti visszavésési sík megtartására fokozott figyelmet kell fordítani.

A visszavésés után a cölöpök megvalósult helyzetét be kell mérni, s eredményét az építésvezetőnek ellenőriznie kell. Ha a szabványban előírt mértéket meghaladó eltérés van, akkor a cölöp tervezőjét haladéktalanul értesíteni kell.

A CFA cölöpök hossza a gépkialakítás okán kb. 22 m lehet, ami esetleg 24 m-re növelhető, de Magyarországon 10-15 m hosszú cölöpökkel a feladatok általában megoldhatók. Az átmérő 40-100 cm, de 120 cm is lehetséges, jellemző a 60-80 cm. Az elérhető teherbírás a méretektől függően 2-5 MN, jellemző a 3 MN érték.

Lényegében minden talajban alkalmazható, de laza, víz alatti homokokban nagy figyelmet kell fordítani a fúrési sebességre, mert lassú lehajtás esetén a környezetben nagyon fellazulhat a homok. Hasonló gondosságot kíván a talpkialakítás is, nehogy a talp körüli talajzóna elveszítse a teherbírását.

A technológia legnagyobb előnye, hogy rendkívül gyors, pl. 10-15 m hosszú, 80 cm átmérőjű cölöpből átlagos talajban egy 8 órás műszakban 20 cölöp is elkészíthető.

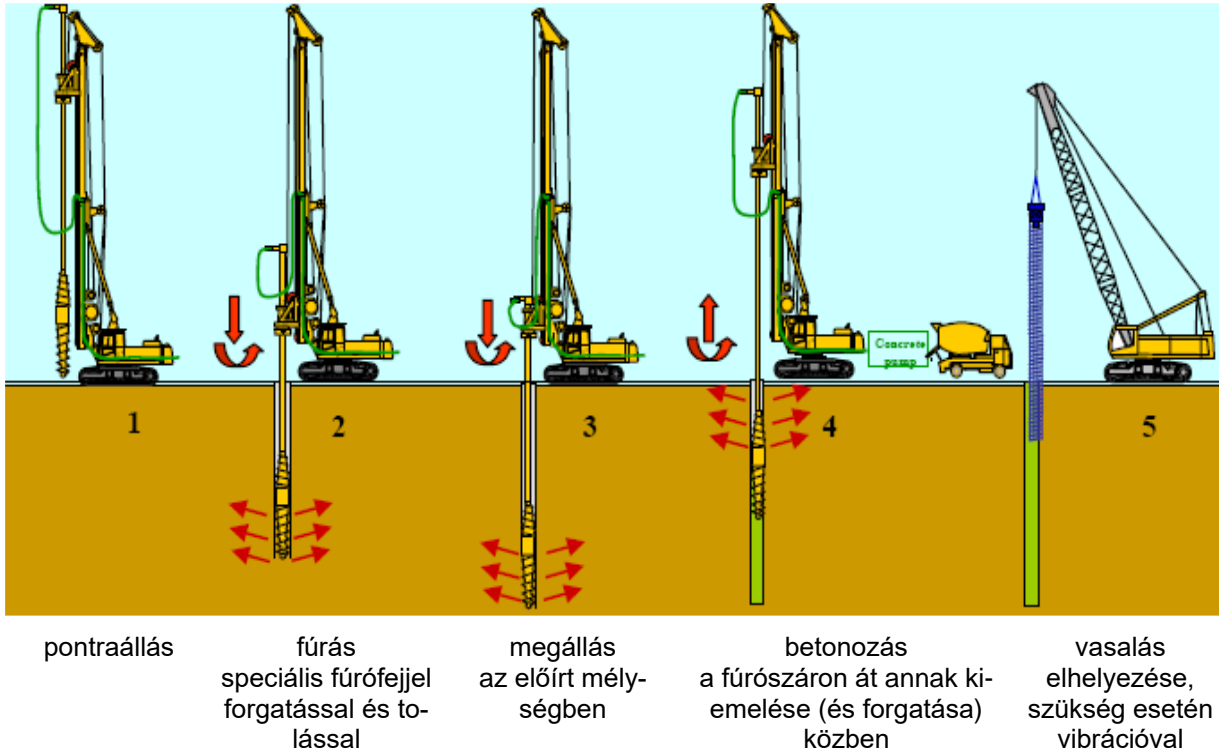
A CFA technológia ismérveit a 6.1. táblázat foglalja össze.

<i>Alkalmazási terület</i>	<i>Főbb jellemzők</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• minden talajban, kivéve a laza, folyós talajokat és finom homokban különös gondosság szükséges</li><li>• sokféle cölöpátmérőt és -hosszat igénylő projekteken</li><li>• változékony teherbírási igény esetén</li><li>• rövid határidős munka esetén</li><li>• zaj- és rezgéskorlátozás esetén</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 40-60-80-100-(120) cm átmérő</li><li>• 6-22 (24) m hossz</li><li>• egyszerű gépészet</li><li>• automata monitorozás</li><li>• gyors fúrési sebesség</li></ul>

6.1. táblázat: A CFA cölöp fő ismérvei

## 6.2 Csavart, helyben betonozott cölöp

E talajkiszorításos cölöpök a talajkiszorítás révén nagyobb fajlagos (betontérfogatra vonatkoztatott) teherbírást nyújtanak, s közben elmarad a hagyományos vert cölöpök környezet-terhelő zaj- és rezgéshatása. A technológia lényegét a 6.2. ábra mutatja.



6.2. ábra: a csavart cölöpözés munkafázisai

Az eljárás sok tekintetben hasonló a CFA technológiához. Az üreges fúrószár végén azonban egy speciális kialakítású fej van, mely a fúrás közben széttolja, tömöríti a talajt, s nem hozza fel. A CFA technológiához képest tehát az a döntő különbség, hogy a lehajtás közben nincs talajlazulás, illetve talajkiemelés.

A kívánt mélység elérése után a CFA eljárással egyező módon megy végbe a nyomás alatti betonozás a fúrószár folyamatos kiemelése és forgatása közben. (Vannak olyan berendezések, melyek a kiemeléskor nem forgatják a szárat, illetve a fúrófejet, amire még kitérünk.) Az armatúrát a betonozás befejezése után süllyeszti be, hasonlóan a CFA eljáráshoz, s szükség esetén ennél is lehet vibrátort alkalmazni.

A járatos átmérők és hosszak elmaradnak a CFA cölöpökétől. Ez amiatt van, hogy a talajkiszorítás nagyobb energiaráfordítást, nagyobb teljesítményű és teherbírású gépet igényel. Ezek azonban megtérülhetnek, hiszen a talajtömörítő hatásnak köszönhetően ugyanazon méretekkel nagyobb teherbírás keletkezik, illetve kisebb hosszak és/vagy átmérők is elegendőek lehetnek. További előny, hogy a felszínre csak csekély mennyiségű furatanyag kerül, így annak elszállítása és deponálása nem jelent különösebb gondot. Ez akkor különös előny, ha az altalaj valamennyire szennyezett, ezért kiemelés esetén (veszélyes) hulladékként kezelendő.

Az eljárást elsősorban laza vagy közepesen tömör szemcsés és átmeneti, puha és gyúrható kötött talajokban érdemes alkalmazni, ahol a tömörítés a teherbírás számottevő növekedését eredményezheti. Közepes terhelésű létesítmények alapozásaként lehet gazdaságos, miközben a CFA cölöphöz hasonlóan gyorsan kivitelezhető. A nemzetközi előrejelzések szerint a közeljövőben szélesebb körű elterjedése várható (pl. kis és közepes méretű hidak alapozásaként), amit legfeljebb a kisebb átmérő miatti alacsonyabb tartószerkezeti teherbírás korlátozhat.

A hazai speciális mélyalapozó cégek különböző gépekkel rendelkeznek, két példát a 6.5. kép mutat. Ezek egymástól általában csak néhány részletben térnek el, mint pl. az átmérő vagy a cölöpköpeny kialakítása (sima vagy spirálmenetes). Ezen részletek azonban lényegesek lehetnek az elérhető teherbírás tekintetében, így a tervezéskor ismerni kell az alkalmazandó technológiát. Általánosságban azonban igaz, hogy ezek is méretezhetőek a CPT eredmények alapján próbaterhelésekkel kalibrált eljárásokkal. A technológiai sajátosságok számításba vétele a 4. fejezetben tárgyalt technológiai szorzókkal lehetséges.



6.5. kép: példák talajkiszorító fúrószerzőmokra

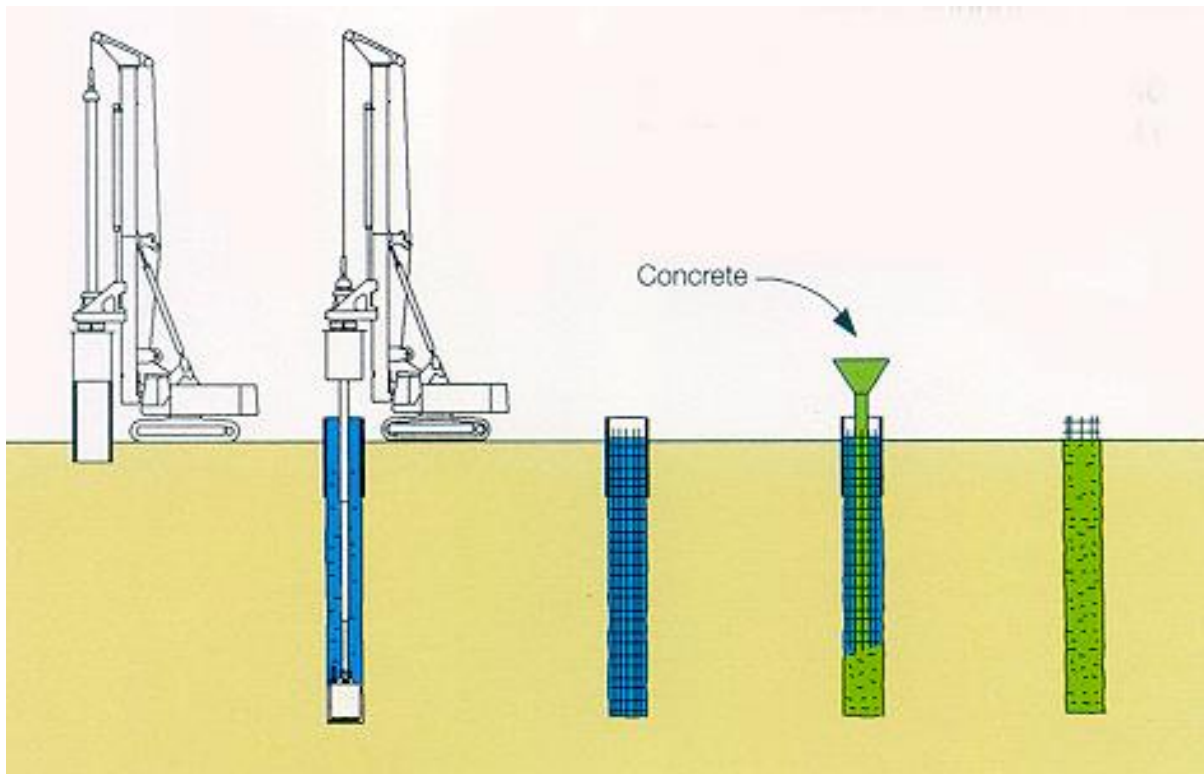
A csavarással készülő talajhelyettesítéses cölöpök főbb ismérveit a 6.2. táblázat összesíti.

<i>Alkalmazási terület</i>	<i>Főbb jellemzők</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• laza szemcsés és puha/gyúrható kötött talajtípusokban</li><li>• kis- és közepes terhelésű épületek esetében</li><li>• talajjavítási célokra</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• járatos átmérő 300-600 mm között (a pontos átmérő cégspecifikus)</li><li>• max. 20 m hossz (talajtípus függvénye)</li><li>• gyors, gazdaságos kivitelezés</li></ul>

6.2. táblázat: a csavart cölöpök fő ismérvei

### 6.3 Folyadékmegtámasztásos fúrt cölöp

A technológia lényegét a 6.3. ábra mutatja.



iránycső bevezetése rotációval/vibrálással  
földkiemelés val támasztó folyadék védelmében  
dobfúró- vasalás behelyezése a furatba  
betonozás a zagy folyamatos kiszorulásával  
elkészült cölöp

6.3. ábra. A folyadékmegtámasztásos cölöpözés fázisai

A cölöpözés első fázisaként célszerű egy acélcsövet lehajtani, ha a felszínközeli talajok laza állapota vagy elégtelen szilárdsága következtében fennáll a furat állékonyságvesztésének veszélye. E cső egyben a fúrás iránytartását is biztosítja. Így a dobfúró szerszámmal (6.6. kép) felszerelt cölöpfúrógép ennek védelmében haladhat lefelé a furadék szakaszos kiemelésével. Az iránycső alsó részéhez közeledve a furatot bentonitos fúróiszappal kell feltölteni, hogy a furat állékony maradjon, s ezután mindig tartani kell a folyadékszintet a furatban.

A fúróiszapot a behulló talaj szennyezi, az zagyosodik, ezért a kívánt mélység elérése után zagycserét kell végrehajtani. A zagytisztítási technológia alapvetően megegyezik a résfalak kivitelezéséhez elterjedten alkalmazott eljárással, de adott munkahelyi beállítása nagy tapasztalatot és gondos minőségellenőrzést igényel. A kívánt mélységet elérve a zagycsere mellett a fúrószerszámmal ki kell tisztítani a talpat is.

Ezután befüggesztik a betonacél armatúrát, s a technológia egyik fontos előnye más fúrási eljárásokkal szemben éppen az, hogy az armatúra tervezett szintre való beállítását technológiai sajátosság nem veszélyezteti. Az armatúra behelyezése után indulhat a cölöp betonozása a talpig letolt betonozócső szakaszos felhúzása közben. A



betonnak folyamatosan emelkednie kell, és ki kell szorítania a furatból a zagyot, melyet a felszínen elszivattyúznak. Az eljárás végén a cölöp felső részét vissza kell vésni, hasonlóan a többi eljáráshoz.



6.6. kép: dobfúró

E technológiának legfeljebb a talaj vagy kőzet keménysége szabhat határt, amire azonban hazai körülmények között alig kell számítani. Így ezzel a technológiával mind az átmérő, mind a hossz tekintetében a többi eljárást nagyban meghaladó méretek érhetőek el.

Az eljárás minőségirányítási szempontjai nagyon hasonlóak a CFA cölöpökéhez. Fontos megjegyezni, hogy a zagykezelés, valamint a víz alatt betonozási technológia szabályrendszerének betartása kiemelt figyelmet igényel, hogy a terv szerinti minőségű és teherbírású cölöp készülhessen.

(Itt érdemel említést a résalapozás vagy más néven barettalapozás is, mely tulajdonképpen csak annyiban tér el a vázoltaktól, hogy a résfalazáshoz alkalmazott kanállal emelik ki a földet, így a végeredmény nem kör, hanem téglalap keresztmetszet.)

A módszer hazánkban, a CFA eljárás megjelenésével a cölöphosszra vetített magasabb költségei és lassabb kivitelezési sebessége miatt, némileg veszített népszerűségéből. Ma elsősorban a különösen nagy terhelésű szerkezetek, így főleg a nagy fesztávú hidak alapozásaként alkalmazzák. Teherbírásuk többszörösen is meghaladhatja az egyéb eljárásokkal elérhetőket, akár 30-40 MN is produkálható velük. A teherbírásukat előzetesen szintén CPT szondázás alapján számítjuk, de gyakran van mód előzetes próbaterhelésükre is, mivel általában olyan projekteken alkalmazzuk, melyek volumene, jelentősége, jellegzetességei erre lehetőséget adnak.

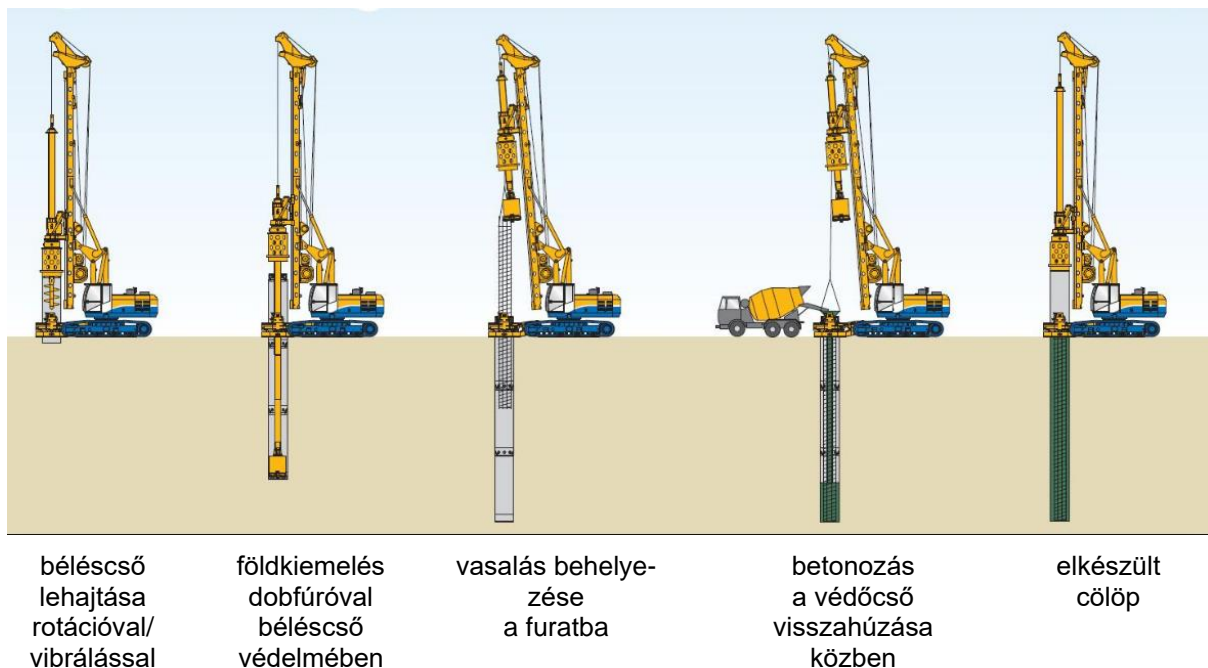
A vázoltakat röviden a 6.3. táblázat foglalja össze.

<i>Alkalmazási terület</i>	<i>Főbb jellemzők</i>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• bármely talajban</li> <li>• nagy (min. 80 cm) átmérő esetén</li> <li>• nagy teherbírásigény esetén</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 80-100-120-150-180 cm átmérő</li> <li>• 15-50 m hossz</li> <li>• összetett gépészet</li> <li>• lassúbb fúrési sebesség</li> </ul>

6.3. táblázat: a csavart cölöpök fő ismérvei

#### 6.4 Béléscsöves fúrt, cölöp

A módszer lényegét a 6.4. ábra foglalja össze.



Béléscső védelmében szakaszosan emelik ki dob- vagy spirálfúróval esetleg markolóval a talajt. A béléscsőnek általában, szemcsés talajban feltétlenül a földkiemelés előtt kell járnia. A furat lemélyítése közben, ha víz alá jutnak, a furatban pótolni kell a talajjal kiemelt vizet, nehogy a furat talpán betörjön a magasabb külső szint miatt a talajvíz, megbontva a talajt.

A béléscső megfelelő ütemű visszahúzása közben betonozó csővel betonozzuk fel a cölöpöt. A furat falának megtámasztását a felbetonozásig a védőcső biztosítja, ezáltal magas víztartalmú, iszapos talajokban is biztonsággal alkalmazható.

Fő alkalmazási területe éppen az ilyen szélsőséges talajviszonyok közti cölöpözés, ahol más technológiával nem érhető el a szükséges nagy mélység és átmérő, a magas teherbírás. Maximális fúrési mélysége kb. 100 m, idehaza a 30-40 m-es mélység eddig elegendőnek bizonyult. Az átmérő itthon 80-150 cm közt szokott lenni, külföldön készült már 300 cm-es cölöp is. A ismérveket a 6.4. táblázat foglalja össze





<i>Alkalmazási terület</i>	<i>Főbb jellemzők</i>
<ul style="list-style-type: none"><li>• különösen kedvezőtlen talajokban (is)</li><li>• nagy (min. 80 cm) átmérő esetén</li><li>• nagy teherbírásigény esetén</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 80-100-120-150-180 cm-es átmérő</li><li>• 15-50 (100) m-es hossz</li><li>• összetett gépészet</li><li>• lassabb fúrési sebesség</li></ul>

6.4. táblázat: a csavart cölöpök fő ismérvei

### 6.5 Mikrocölöpök

Mikrocölöpnek nevezzük a 300 mm-nél nem nagyobb törzsátmérőjű fúrt és azon vert cölöpöket, melyek törzsátmérője vagy legnagyobb keresztmetszeti mérete nem nagyobb 150 mm-nél. A mikrocölöp hosszát ajánlatos az átmérő 40-60-szorosánál kisebbre választani.

A fúrt mikrocölöpök folyamatos spirállal vagy öblítéses fúrással készülnek. Kialakíthatók állandó keresztmetszettel (egyenletes törzzsel) vagy teleszkópikusan változó törzsmérettel. Bővíthető a törzsük és a talpuk is, és a palást- és talpellenállásuk növelhető habarcsinjektálással is.

A mikrocölöpök anyaga lehet acélcső, merev acélelem vagy cement- és betonhabarcs, vagy beton, illetve ezek kombinációja. A cementalapú elemeket betonacél kosárral, teljes hosszukban el kell látni. A mikrocölöpökbe való erőbevezetéshez a fejrésznél általában méretezett saru szükséges. A mikrocölöpök kihajlással szembeni ellenállását külön vizsgálni kell, ha olyan talajrétegekbe kerülnek, melyek drénezetlen nyírószi-lárdsága kisebb 10 kPa-nál.

A hazai gyakorlatban leginkább alkalmazott fúrt mikrocölöpök készítésekor a következő szabályokat kell betartani:

- gondoskodni kell a furat elhajlásának, elgörbülésének megakadályozásáról,
- a furat átmérő tegye lehetővé a beépítendő merevbetét vagy betonacél kosár zavartalanul lejutását és a szükséges betontakarást,
- a furatfalat öblítéses technológia esetén a cement anyagú fúróiszap, folyamatos spirálfúráskor maga a fúrószár támasztja meg,
- a furatot a furatanyagtól meg kell tisztítani és ágyazóhabarccsal kell kitölteni,
- a betételemeket a lehető leghamarabb be kell vezetni,
- ha a behelyezést valami akadályozza, a furatot újra kell fúrni,
- a mikrocölöpök felső, szennyezett részét is vissza kell bontani, miután a cementhabarcs kellő mértékben megszilárdult,
- a merevbetét közvetlenül kössön bele a cölöpöket összefogó vb. fejtömbbe/fejgerendába.



A mikrocölöpök alkalmazhatók:

- nehezen megközelíthető és/vagy korlátozott magasságú munkahelyeken;
- új szerkezetek alapozására (ha nagyon heterogének a talajviszonyok);
- meglévő szerkezetek megerősítésére, így téve lehetővé, hogy a terheket mélyebben fekvő, kielégítő rétegre hárítsák át;
- süllyedések és/vagy elmozdulások mérséklésére;
- megtámasztó fal kialakítására;
- talajerősítésre valamilyen teherviselő és/vagy megtámasztószerkezet kialakítása céljából;
- rézsűk állékonyságának javítására;
- felúszással szembeni védekezés céljára.

A mikrocölöpök teherbírásának számításakor a talpellenállást figyelmen kívül kell hagyni. A palástellenállások tekintetében a szakirodalomban lehet találni ajánlásokat, de mivel meghatározó a készítés módja, indokolt próbaterhelést végezni.

## 7. Cölöpözési technológia megválasztása

### 7.1 Bevezetés

A 3. – 5. fejezetek rövid összefoglalást adtak a cölöpök méretezéséhez szükséges talajvizsgálatokról és a cölöpök teherbírásának számításáról. A 4. fejezetben bemutatott táblázatokban felsorolt ún. technológiai szorzók is érzékeltetik, hogy a cölöpözési technológiának jelentős szerepe van az elérhető teherbírások tekintetében. Ez alapján könnyen belátható, hogy a cölöpalapozások tervezésének meghatározó részlete a műszakilag megfelelő, kivitelezhető, gazdaságos és környezetbarát technológia kiválasztása.

A 6. fejezet áttekintést adott a régiókban alkalmazott technológiákról. Az egyes technológiatípuson (talajkiszorításos, talajhelyettesítéses stb.) belül megjelenő, gyakran márkanevek mögé bújtatott megoldások sok esetben egy mélyalapozó cég gyakran szabadalmi védelem alatt álló eljárásai. A köztük való eligazodást nehezíti, hogy az egyébként alapelveikben megegyező technológiák is kisebb-nagyobb mértékben eltér(het)nek egymástól az elérhető átmérő, hossz és ezzel a cölöpteherbírás tekintetében. Tovább nehezíti a választást a technológiák folyamatos fejlesztése és az elérhető technológiák bővülése, melyek különösen, a kb. 15 éve a hazai piacon még ismeretlen, talajkiszorításos, fúrt (csavart) cölöpök térnyerésében érzékelhető.

A folyamatos spirállal fúrt, leggyakrabban alkalmazott CFA cölöpöket a legtöbb mélyalapozó vállalat képes hasonló hosszban és átmérőben, illetve minőségben elkészíteni. (A legtöbbször egymással egyenértékűnek tekinthetők a béléscsőves és támasztófolyadékfúrt cölöpözési módok, de ezek egyébként is szinte csak a hídalapozások



esetében jelennek meg.) A CFA cölöpök kiviteli tervei az előbbieket miatt szakkivitelező bevonása nélkül is elkészíthetők. Vélhetően ennek is tulajdonítható, hogy a közbeszerzési eljárással lebonyolított projekteken ez szerepel a tendertervekben, mert ezzel a szabad, egyenlő verseny feltétele teljesíthető. A CFA cölöp ugyanakkor nem feltétlenül jelenti mindenütt az optimumot.

Elsősorban nagyobb volumenű magánpiaci beruházásokon gyakori, hogy a lebonyolító szakkivitelezői hatáskörbe utalja a technológiaválasztás és az alapozástervezés feladatát. Bízunk abban, hogy az így megnyitott piaci verseny segíti az optimális megoldás megtalálását. Ilyen esetekben viszont a társtervezőknek, elsősorban a fel-szerkezet statikus tervezőjének, fel kell készülnie arra, hogy az alapozáshoz kapcsolódó szerkezeteket a végleges alapozási megoldáshoz kell illeszteni. Sokszor az alapozás optimalizálásával hozzáadott érték elveszhet a felszerkezeti konstrukció szükséges módosításán.

A jelen fejezet célja, hogy a feladat eme „adottságait” is figyelembe véve, áttekintést adjon a cölöpözési technológia kiválasztási folyamatának szempontrendszeréről, az egyes eljárások járatos méreteiről, valamint előnyeiről és hátrányairól.

### **7.2 Technológiaválasztás szempontrendszere**

Az MSZ EN 1997-1 7.4.2 fejezet az alábbi szempontok mérlegelését javasolja a cölöptípus kiválasztásához. A lista érzékelteti, hogy az optimális eljárás kiválasztásához a tartószerkezeti és geotechnikai elvárások mellett figyelmet kell fordítani a technológiáknak a természetes és az épített környezetre gyakorolt hatásaira, kockázataik értékelésére is:

- a helyszíni talaj- és talajvízviszonyok, beleértve a talajban előforduló ismert vagy lehetséges akadályokat is;
- a cölöpözéskor keletkező feszültségek;
- a készítendő cölöp épségének megőrzésére, ellenőrzésére szolgáló lehetőségek;
- a cölöpözési módszer és sorrend hatása a már elkészült cölöpökre, a szomszédos tartószerkezetekre és közművezetésekre;
- a cölöpözéskor megbízhatóan betartható tűrészhatárok;
- a talajban előforduló vegyi anyagok káros hatásai;
- a különböző talajvizek összekapcsolódásának lehetősége;
- a cölöpök kezelése és szállítása;
- a cölöpözés hatásai a környező építményekre;
- a cölöpök távolsága a cölöp csoportban;
- a cölöpözéssel a szomszéd szerkezetekben keltett elmozdulások vagy rezgések;
- az alkalmazandó verőberendezés vagy vibrátor típusa;
- a cölöpökben a verés által keltett dinamikus feszültségek;



- fúróiszappal készülő cölöpök esetében a folyadéknomás szinten tartásának szükségessége, megakadályozandó a furatfal beomlását és a furattalp hidraulikus talajtörését;
- a cölöptalp és – egyes esetekben, különösen bentonit alkalmazásakor – a palást megtisztítása a fellazult törmelék eltávolítása végett;
- a furatfal betonozás közbeni beomlása, mely földzárványt okozhat a kész cölöpszárban;
- talaj vagy talajvíz behatolása a helyben betonozott cölöptestbe és az átáramló víz zavaró hatásai a még nedves betonban;
- a cölöpöt körülvevő telítetlen homokrétegeknek a beton vizét elszívó hatása;
- a talajban előforduló vegyi anyagok kötőgátló hatása;
- a talajkiszorító cölöpök talajtömörítő hatása;
- a talajnak a cölöpfúrás által okozott megzavarása.

E műszaki szempontokat kiegészítve, rendszerezve az alábbiakat kell mérlegelni:

### a) Tervezhetőség, kivitelezhetőség, ellenőrizhetőség

Általában a következő kérdéseket kell megválaszolni:

- Van-e összehasonlítható tapasztalat az adott technológia, adott talajkörnyezetben való alkalmazására?
- Az elérhető cölöpfúrógépek elegendő teherbírással rendelkeznek-e ahhoz, hogy az adott talajkörnyezetben a szükséges méretű és teherbírási cölöpöt a kivitelezési szabványok előírásait betartva el tudják készíteni?
- Biztosított/biztosítható-e a megfelelő méretű, állékonyságú, minőségű munkaterület, hogy a géplánc azt meg tudja közelíteni, illetve a kivitelezést üzembiztosan el tudja végezni?
- A fenti listát sorvezetőként használva az egyes technológiák sajátosságai milyen műszaki kockázatokat rejtenek?
- Az egyes technológiák műszaki megfelelősége milyen módon ellenőrizhető a kivitelezés folyamán?

### b) Munkavédelem, biztonság

Mind hatósági, mind megrendelői, mind szakkivitelezői oldalon egyre inkább előtérbe kerül ez a szempont, amelynek értékeléséhez a mélyépítési munkák vonatkozásában ajánlható dr. Deli Á.: Speciális mélyépítési – mélyalapozási munkavédelmi ABC (HBM Kft. Budapest, 2012) című munkája.

### c) Költségigény és termelékenység

Ezekről elég pontosan csak a vállalkozói ajánlatok tájékoztatnak, ugyanakkor azok becslésszerűen megállapíthatók már az előkészítési-tervezési fázisban is, amivel leg-



alább néhány megoldás kizárható az opciók közül. A másik oldalról ugyanakkor tudnivaló, hogy az ajánlatokban szereplő árakat és ütemterveket az ajánlatadók aktuális szempontjai, lehetőségei is befolyásolják, azok nem feltétlenül a technológiák jellemzői.

### d) Környezetvédelmi szempontok

A környezetvédelmi okok miatti többletköltségek jellemzően egy-egy technológia árban automatikusan megjelennek, ami ugyanakkor nem feltétlenül ad helyes képet az adott technológiáról. Bízható, hogy egyes megrendelők értékelési szempontjai között már meg-megjelennek a környezetvédelmi szempontok, melyeket különböző mérőszámokkal (ökológiai lábnyom, hulladékmennyiség stb.) igyekeznek értékelni.

### e) A technológia járulékos hatásai, feladatai

Vizsgálni kell, hogy az adott technológiával járó egyéb feladatok elvégezhető-e, okoznak-e olyan hátrányt, hogy az önmagában kedvezőbb technológia mégsem jelent kedvező megoldást. Ilyen járulékos feladatot jelenthet pl. a helyben betonozott cölöpök felső részének visszavésése, a vésési törmelék kezelése vagy a talajhelyettesítéses cölöpök esetén keletkező furadék kezelése, melyek a lerakóhelyi díjak és az egyéb költségek növekedésével egyre inkább előtérbe kerülnek, de említendő az alapozás és a felszerkezet kapcsolatának a technológia miatti kedvezőtlen átalakulására is.

A fenti szempontrendszer áttekintve el kell fogadnunk, hogy teljes körű elemzés minden esetben nem lehetséges. Amiként a geotechnikai tervezés legtöbb feladatára, úgy a technológiaválasztásra is elmondható, hogy a hasonló építmények hasonló talajkörnyezetben, hasonló természetes és épített környezetben megvalósított mélyalapozási munkáinak tapasztalatai jelentik a legjobb támpontot. Ezek alapján esetenként azonnal felismerhető az optimális megoldás, és inkább csak annak vizsgálata célszerű, hogy van-e olyan szempont, mely szerint mégsem alkalmazható a kiválasztott megoldás.

## 7.3 Cölöpözési technológiák összehasonlító értékelése

A következő oldalon lévő 7.1 táblázatban rövid összefoglalás látható az egyes cölöpözési technológiák előnyeiről-hátrányairól a teljesség igénye nélkül követve a fenti szempontrendszer.



## Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozat

Cölöptípus	talajkiszorításos		talajhelyettesítéses			mikrocölöp
	vert	fúrt	fúrt			fúrt
Lehajtás módja	előregyártott vasbeton / acél cső	monolit vasbeton	monolit vasbeton			vasalt cementhabarcs
Anyaga	előregyártott vasbeton / acél cső	monolit vasbeton	monolit vasbeton			vasalt cementhabarcs
Furatmegtámasztás módja	cölöp anyaga	fúróspirál	acél köpenycső	bentonitzagy	fúróspirál	acél köpenycső / -
Tipikus megnevezés / Márkanév	<b>előregyártott vert vasbeton / acél cölöp</b>	<b>Atlas, Fundex, Omega, FDP, Screwsol</b>	<b>köpenycsöves/ bélés csöves fúrt</b>	<b>fúrt zagymegtámasztású / zagyas</b>	<b>CFA (SOB)</b>	<b>mikrocölöp</b>
Járatos cölöphossz [m]	max. 15m	max. 14m (18m)	max. 50-60m	max. 50-60m	max. 22m	max 10-15m
Járatos cölöpátmérő [m]	max. 0,5-0,6m	0,4-0,7m	0,8-1,8m	0,8-1,8m	0,4-0,6-0,8-1,0m	0,15-0,3m
Jellemző teherbírás [kN]	1000-4000kN	500-2500kN	3000-15000kN	3000-15000kN	500-5000kN	100-1000kN
Teherbírás / költség aránya	+	++	-	-	+	-
Kivitelezési idő	0	++	-	-	+	-
Organizációs/mobilizációs igény	0	0	-	-	-	+
Környezetterhelés (zaj, rezgés) kivitelezés során	--	0	-	0	0	0
Járatásos munkák (kiszorulót föld kezelése, vésés, zagyszerelés, stb.)	+	+	0	-	0	+
Munkavédelem, egészségvédelem	-	+	-	-	0	0
Környezetvédelem	+	+	0	-	0	0
Hazai alkalmazási gyakoriság	ritka	gyakori, bővülő	ritka	ritka	gyakori	átlagos
Jellemző alkalmazás	lakott területen kívül	puha és közepesen tömör talajkörnyezetben	nagy átmérőjű és nagy hosszúságú cölöpök	nagy átmérőjű és nagy hosszúságú cölöpök	hídalapozás	kis terhelésű cölöpök szűk/korlátozott belmagasságú helyszínen
	hídalapozás	ipari és mezőgazdasági létesítmények	hídalapozás	hídalapozás	ipari és mezőgazdasági létesítmények	szerkezet átépítések
	ipari létesítmények alapozása	lakó és irodaépületek	speciális, nagy terhelésű létesítmények	speciális, nagy terhelésű létesítmények	lakó és irodaépületek	kis terhelésű létesítmények kedvezőtlen talajkörnyezetben
Megjegyzések	<p>Járatos hosszak a talajtípus függvényében változhatnak</p> <p>Járatos átmérők az előregyártott elem, a cég-specifikusan elérhető fúrószerszámok függvényében változhatnak.</p> <p>Jellemző teherbírás értékek a hazai viszonyok között szokásos tartományok melyek az átmérő és a cölöphossz függvényében változhatnak</p> <p>Munkavédelmi értékelés nem jelenti azt, hogy megfelelő óvintézkedésekkel az hátrányos/átlagos minősítés ne lenne javítható</p>					
Jelmagyarázat	-	kedvezőtlen/nem megfelelő	0	átlagos	+	kedvező/megfelelő

7.1. táblázat: cölöpözési technológiák összehasonlító értékelése



## 8. Cölöppróbaterhelések

### 8.1 Cölöppróbaterhelés célja, szükségessége

A próbaterhelés célja az Eurocode 7 szerint a következők lehetnek:

- egy konkrét cölöp számított teherbírásának utólagos ellenőrzése,
- a cölöpteherbírás meghatározására alkalmazott számítási módszer helyességének igazolása / kalibrálása az adott talajkörnyezetre és cölöptípusra,
- a próbaterhelési eredmények felhasználása már a tervezéshez,
- újonnan bevezetésre kerülő cölöpözési technológia viselkedésének és teherbírásának megismerése.

A szabvány szerint cölöppróbaterhelést kötelező jelleggel kell végezni a következő esetekben:

- nagyhidak komplex cölöpalapozási rendszerének tervezéséhez,
- ha olyan cölöptípust vagy készítési módszert alkalmaznak, melyre nincs összehasonlítható tapasztalat,
- ha a tervezett cölöpöt hasonló talaj- és terhelési viszonyok közt próbaterheléssel még nem vizsgálták,
- ha a cölöp terhelése olyan lesz, hogy sem az elmélet, sem a tapasztalat nem ad kellően megbízható támpontot a tervezéshez,
- ha a cölöpalapozás készítése közbeni megfigyelések azt jelzik, hogy a cölöpök viselkedése erősen és kedvezőtlenül tér el a helyszíni vizsgálata és a tapasztalatok alapján várttól, és a kiegészítő talajvizsgálatok sem tisztázzák az eltérés okát.

Az eddigi követelményeket a hazai gyakorlat többé-kevésbé betartja, bár a magánberuházások esetében sokszor meg kell küzdeni értük. A közbeszerzés keretében megvalósuló projektek esetében viszont – az építetők óvatossága miatt – általában ellenkező a helyzet, akkor is van próbaterhelés, ha az nem feltétlenül szükséges.

A szabvány szerint célszerű cölöppróbaterhelést végezni a következő esetekben:

- a választott építési eljárás, technológia alkalmazásának megítélésére,
- a tervezett cölöp és a környező talaj terhelés alatti viselkedésének meghatározására, mind a süllyedés, mind a törőerő tekintetében,
- egy cölöpalap egészének megítélésére,
- cölöpmennyiség optimalizálására.

Ezek a célok inkább a magánberuházások vállalkozói körében jelentkeznek, a fővállalkozók és az alapozási vállalkozók érdeke lehet a felmérésük és/vagy az igazolásuk.





Idehaza gyakran olyankor kerülnek sorra ilyen célú próbaterhelések, ha külföldi beruházók szakemberei nem ismerik eléggé a cölöptervezési szokásainkat és tapasztalatainkat.

A próbaterhelések számát egy projekten belül több tényező határozza meg:

- a terület altalajának, geotechnikai viszonyainak feltártsága,
- az épület nagysága, terhelési viszonyai, fontossági besorolása,
- a cölöpök technológiája, száma, hossza, átmérője,
- a cölöpalapozási projekt megvalósításának várható átfutási ideje,
- a geotechnikai kategória,
- gazdasági szempontok.

Megjegyezzük, hogy a magyarországi projekten viszonylag ritkán kerül sor több próbaterhelésre, legfeljebb folyami és völgyhidak, nagy gyártelepek építésekor van mód több vizsgálatra. A próbaterhelések számának növelését is díjazza egyébként az Eurocode 7, akárcsak a talajvizsgálatokét, mert – amint a 8.1. táblázatban látható – a próbaterhelések számának növekedésével egyre kisebb korrelációs tényezőket kell számításba venni a cölöpellenállás karakterisztikus értékének meghatározásakor. Ki kell emelni még az Eurocode 7 azon előírását, miszerint ha egy projekten egyetlen próbaterhelésre van mód, akkor az a geotechnikailag legkedvezőtlenebb helyen legyen, ha kettőre, akkor a második egy átlagos helyre kerüljön.

<i>próbaterhelések száma</i>	$\xi_{mean}$	$\xi_{min}$
1	1,40	1,40
2	1,30	1,20
3	1,20	1,05
4	1,10	1,00
$\geq 5$	1,00	1,00

8.1. táblázat: korrelációs tényezők próbaterhelés esetén

A próbaterheléseknek jelentős költségvonzata, illetve hely- és időigénye van. Számukat, helyüket és időpontjukat projektszinten lehet ésszerűen meghatározni. Célszerű, ha a projektek kezdeti stádiumában az illetékesek megegyeznek ezekről, hogy a lehető legnagyobb mértékben hasznosuljanak a próbaterhelések eredményei, ha megállapodnak a szükségességükben.

A próbaterhelésekkel kapcsolatos döntéseknél figyelembe kell venni a következőket:

- A próbacölöp (és a lehorgonyzó cölöpök) elkészültét követően a próbaterhelés elvégzése 21-28 napos korban lehetséges.





- A cölöppróbaterhelés nem csak a cölöpteherbírás próbája lehet, hanem az alkalmazni kívánt technológia és a választott cölöpöző gép teljesítménypróbája is.
- A próbaterhelést megelőzően célszerű a próbacölöp szerkezeti folytonosságát ellenőrizni.

A próbaterheléseket elvileg végezhetjük

- próbacölöpön, a nyomási ellenállás és az erő-süllyedés kapcsolat megállapítása céljából a tervezési teher kb. 2,0-szeresére, illetve a számított ellenállás kb. 1,5-szeresére tervezve a terhelést,
- szerkezeti cölöpön a minőségük, illetve a számított süllyedések ellenőrzése végett kb. a használhatósági határállapot vizsgálatához megállapított teher 1,5-szeresével.

Magyarországon az utóbbira nagyon ritkán kerül sor.

A próbaterhelés helyének talajviszonyait alaposan meg kell vizsgálni, hogy eredményeit ki lehessen terjeszteni projekt egészére vagy egy részére. A vizsgálatok mélysége feltétlenül legyen elégséges ahhoz, hogy a cölöp körüli és a talp alatti talajok jellemzőit meg lehessen ismerni.

### 8.2 Cölöppróbaterhelési módszerek

A cölöp próbaterheléseknek két fő típusa van: statikus és dinamikus eljárások. A hazai gyakorlatban az esetek döntő többségében statikus próbaterhelést végzünk, de ritkán és/vagy speciális esetekben dinamikus próbaterhelésre is sor kerül.

A statikus próbaterhelési során a hidraulikus sajtó által a próbacölöpre működtetett nyomó- vagy húzóerőt lehorgonyzó cölöpökkel (ritkán ellensúllyal) vesszük fel. Nyomott próbacölöp esetén jellemzően 4 (néha csak 2) lehorgonyzó cölöppel dolgozunk. Húzott próbacölöp esetén alkalmazhatunk lehorgonyzó cölöpöket vagy betonlapokat a lefelé irányuló ellenőrző felvételére. A ritkább vízszintes próbaterheléskor 2 cölöp szolgáltathatja az ellentartást.

A próbaterhelés lehet

- terhelésvezérelt, melynek során állandó növekményekkel növeljük a próbacölöp terhet egy előre meghatározott minimális időtartamig (általában 60 min) és/vagy egy előre meghatározott süllyedési kritérium (általában 0,25mm/5min) eléréséig,
- elmozdulásvezérelt, melynek során a cölöpre ható teher úgy változik, ahogy a cölöp, illetve a talaj ellenáll az állandó, a cölöp és talaj típusától függően megválasztandó sebességű mozgással (behatolással vagy kihúzódadással) szemben.

A magyarországi statikus próbaterhelések döntő többségében az első eljárást követjük. Szerkezeti cölöpök ellenőrzésekor előfordul a második is, melynek során a cölöpöt a rugalmasnak tekinthető elmozdulási tartományban vizsgáljuk, elkerülve az irreverzibilis mozgásokat.

A 8.1. és 8.2. kép jellegzetes próbaterhelő rendszereket mutat be.

Érdeemes említeni, hogy a próbaterhelésekből információkat nyerhetünk a palástellenállás változásáról is, ha a mérjük a cölöpben ébredő erőket, amire ma már több eszköz is van.



8.1. kép: 4 lehorgonyzó cölöpös nyomóterheléses statikus próbaterhelés



8.2. kép: húzóterheléses statikus próbaterhelés betonlapokkal alátámasztott híddal

Az elmúlt években volt néhány vízszintes irányú próbaterhelés is. Ezekre speciális esetekben lehet szükség, előkészítése és értékelése különös szakértelmet kíván.

Szükséges megemlíteni azokat a speciális statikus próbaterhelési eljárásokat, melyek lehorgonyzó szerkezet nélkül valósulnak meg, ilyenek a VUIS típusú és az Osterberg-cellás próbaterhelés. Működési elvük alapvetően különbözik a hagyományos próbaterheléstől, mindkettőnél két tagra osztjuk a próbacölöpöt s a tagok szolgáltatják a



másik ellentartását. A lefelé nyomott alsó tag talpellenállását és általában rövid szakaszán ébredő palástellenállását és a felső tag palástellenállását lehet így külön megállapítani. Alkalmazásuk speciális körülményekre, pl. rendkívüli ellenállás ( $>15$  MN), nagyon nagy cölöpátmérő esetén lehet gazdaságos és célszerű. Ezek tervezése, végrehajtása és értékelése is speciális szakértelmet kíván.

A dinamikus próbaterhelésre sor kerülhet önállóan is, de jellemzően statikus próbaterhelésekkel együtt, azok kiegészítéseként költség- és időoptimalizálás céljából végezzük. Hátránya, hogy speciális műszerezettséget és szaktudást igényel mind a mérés, mind az értékelése. Előnye, hogy nem szükséges hozzá ellentartó szerkezet, s egy nap alatt akár több mérés is elvégezhető. Ezeknek köszönhetően lényegesen olcsóbbak a statikus próbaterheléshez képest. A nemzetközi gyakorlatban a dinamikus cölöppróbaterhelést elsősorban a vert cölöpök esetében alkalmazzák oly módon, hogy a leverésük közben mérik őket. Magyarországon ritkán alkalmaznak vert cölöpöket, így dinamikus próbaterhelést jellemzően a fúrt cölöpök utóellenőrzéseként használjuk.

A dinamikus próbaterhelés során a próba- vagy szerkezeti cölöpre megfelelő magasságból egy jól megválasztott (elég nagy) tömeget ejtünk. Ez lökéshullámot indukál a cölöpben, melyet a cölöptestre rögzített erő-, elmozdulás- és gyorsulásmérővel regisztrálunk. Az értékelés során ezeket a jeleket használjuk fel, s végeredményként a cölöp statikus nyomási ellenállását állapíthatjuk meg.



8.3. kép: dinamikus próbaterhelés eszközei

Az így nyert statikus nyomási ellenállást az Eurocode 7 szerint szabad használni a tervezésben, feltéve hogy a helyszín vizsgálata megfelelő volt, és az értékelési módszer összehasonlítható talajkörnyezetű, hasonló hosszúságú és keresztmetszetű,



azonos technológiájú cölöpökön végzett statikus próbaterhelésekkel kalibrálták. A karakterisztikus ellenállást ezekből ugyanúgy lehet megállapítani, mint azt a talajvizsgálatok és a statikus próbaterhelés alapján tehetjük, a korrelációs tényezők azonban ezekre nagyobbak.

Ha többféle dinamikus vizsgálatot végeznek, akkor a különböző típusú dinamikus vizsgálatok eredményeit egymással is össze kell hasonlítani. A gyors és viszonylag olcsó dinamikus próbaterhelések a cölöpök egyöntetűségének kimutatására, illetve a gyenge cölöpök felderítésére is használhatók.

A korszerű műszerezettségnek és szoftveres háttérnek köszönhetően már idehaza is rendelkezésre állnak azok az ún. jelillesztésen (signal matching) alapuló értékelési eljárások (CAPWAP, iCAP), melyek a dinamikus próbaterhelésből is kellően megbízható eredményt szolgáltatnak. Az értékeléshez használhatók a hullámegyenleten, illetve a korábbi verési képletekhez hasonló számításra alapuló módszerek is, de megbízhatóságuk okán inkább a jelillesztéses rendszer ajánlható, amit az Eurocode 7 is preferál.

## 9. Minőségsszabályozás

### 9.1 Alapelvek

A cölöpök eltakart, szemrevételezéssel nem ellenőrizhető szerkezetek, ugyanakkor szakszerű kivitelezésük elengedhetetlen a tervezési követelmények kielégítéséhez. Ezért a kivitelezés megkezdése előtt technológiai utasítást és minősítési és mintavételi tervet (TU és MMT) kell készíteni, melyek rögzítik a kivitelezés és az ellenőrzés azon részleteit, melyek meghatározóak a cölöpök teljesítő képességében. Az alábbiakban ismertetjük az ezzel a témakörrel is foglalkozó legfontosabb geotechnikai és mélyépítési szabványok főbb általános előírásait, majd valamivel részletesebben tárgyaljuk a CFA cölöpözési technológiával kapcsolatos műszaki elvárásokat, s csatoljuk ezekhez a bevált hazai módszereket és a tapasztalatainkat is.

Az Eurocode 7: Geotechnikai tervezés szabvány 1. része két fejezetben érinti a témakörünket: 4. fejezetében az általános mélyépítési műszaki felügyelet, majd 7.9. fejezetében a cölöpalapozások műszaki felügyeletének fő elveit ismerteti. Ezek közül a legfontosabb előírások a következők:

- A cölöpözési munka alapja egy cölöpözési terv kell legyen, melynek információt kell adnia a következőkről:
  - a cölöp típusa, anyaga,
  - a cölöpök helye, helyzete, méretei, darabszáma,
  - a megkövetelt teherviselő képesség,
  - a kivitelezés sorrendje,
  - az esetleges akadályok,
  - a cölöpözést befolyásoló bármilyen egyéb tényezők.



- Elő kell írni a cölöpkészítés folyamatának megfigyelését és jegyzőkönyvezését, s a jegyzőkönyvek tartalmával kapcsolatosan a következők rögzítését írja elő:
  - cölöpöző gép típusa,
  - cölöp méretei,
  - cölöp készítés helye és ideje,
  - bedolgozott anyag (jellemzően beton) típusa, összetétele és bedolgozás módja,
  - az adott technológiára jellemző sajátosságok (pl. betonozási nyomás),
  - a tervezett kialakítástól való bármilyen eltérések.
- A jegyzőkönyveket célszerű az építési dokumentáció részeként kezelni és min. 5 évig megőrizni.
- Ha a helyszíni észlelések, jegyzőkönyvek a cölöpök minőségét illetően bizonytalanságokat tárnak fel, vizsgálatokat kell végezni állapotuk meghatározása céljából.
- Ha a cölöp minősége érzékeny a készítés módjára és a cölöpkészítési folyamat nem figyelhető meg kellő megbízhatósággal, a cölöp integritását vizsgálni kell.

Cölöpözési munkákkal kapcsolatos részletesebb előírások a speciális geotechnikai munkákra vonatkozó sorozatnak, a cölöpözésre vonatkozó, a 2.1. táblázatban felsorolt 3 szabványában olvashatók. Ezek felépítése alapvetően egységes, a minőségirányítási kérdéseit is taglaló legfontosabb fejezeteik az alábbiak:

- a beépíteni, felhasználni kívánt agyagokkal, termékekkel (pl. víz, bentonit, polimerrek, beton, habarcs, betonacél) szembeni követelmények,
- tervezési szempontok (különös tekintettel a cölöpök tartószerkezeti tervezésére),
- kivitelezési előírások, ajánlások (mérettűrések, cölöpözés közbeni földkiemelés, vasalás beépítése, betonozási folyamat, cölöpverés folyamata, visszavetés),
- műszaki felügyelet (építés közbeni ellenőrzés, kész cölöp vizsgálata, próbaterhelése, minta jegyzőkönyvek).

Az első három pont a műszakilag szükséges és az adott technológiától elvárható követelményeket taglalja. A műszaki felügyelet témaköre pedig, alapvetően összhangban van az Eurocode 7 említett javaslataival, a követelmények betartásának ellenőrzésével és dokumentálásával kapcsolatos előírásokkal.

A következőkben bemutatjuk az idehaza legerjedtebb CFA cölöpözési technológiával szemben támasztható követelményeket, illetve azok betartásának ellenőrzési lehetőségeit. A többi technológia esetében is nagyon hasonló előírásokkal találkozhatunk a vonatkozó szabványokban, így reményeink szerint az alábbi ismertetés ezekre vonatkozóan is segítheti az eligazodást, az előírások értelmezését.



### 9.2 A CFA cölöpözés minőségirányítási kérdései

A fejezetet az *MSZ EN 1536:2012 Speciális geotechnikai munkák kivitelezése. Fúrt cölöpök* elnevezésű szabvány alapján állítottuk össze, a leggyakrabban előforduló esetekre érvényes információkat közölve. A szabvány néhány kérdésben részletesebb előírásokat is ad,

A CFA technológia szakszerű alkalmazásának első feltétele a megfelelő teherbírású és tömörségű munkasík kialakítása, melyen a cölöpöző géplánc mindegyik tagja biztonságosan képes közlekedni, s a cölöpfúró gép képes pontosan és stabilan a kítűzött pont felett letámaszkodni. Elsősorban nagy volumenű beruházásokon fordul elő, hogy a teljes munkaterületet valamilyen kötőanyaggal stabilizálják, a felszíni anyagokat esetleg geotextília és kőszórás segítségével javítják. Sajnálatos módon gyakoribb, hogy a munkasík kialakítása a humuszréteg eltávolítására korlátozódik, ami legfeljebb teherbíró, száraz, durvaszemcsés felszíni rétegek esetén lehet elegendő. A sík munkaterület tömörségét és teherbírását akkor tekinthetjük megfelelőnek, ha a háromtengelyes teherautók teljesen megrakottan gond nélkül végig tudnak haladni rajta, akár csapadékos időjárás esetén is. Általánosan igaz, hogy a jó munkasík költségei, a projektek egészét tekintve, megtérülnek, hiszen gyorsabb közlekedést, pontosabb kivitelezést, s ami a legfontosabb, nagyobb munkabiztonságot szolgáltatnak.

A megfelelő minőségű munkaterületen a cölöpök geometriai jellemzői a szabvány által előírt építési mérettűrésekben belül tartható. CFA cölöpök esetében a szabvány által elvárt alaprajzi értelmű pontosság 10 cm, de legalább az átmérő 10%-a. A cölöptengely tervezett és megvalósult helyének ezt meghaladó eltérése esetén az alapozás és kapcsolódó szerkezetek tervezői értékelhetik a cölöp megfelelőségét vagy dönthetnek a szükséges beavatkozásról. Az elvárt pontosság eléréséhez a cölöp geodéziai kítűzését célszerű  $\pm 1\text{-}2\text{cm}$ , a fúrógéppel történő pontraállást pedig  $\pm 2\text{cm}$  pontossággal előírni.

A cölöp előírt magassági adatainak betartását az segíti, hogy a korszerű gépek a műszerfalukon automatikusan jelzik a fúrás mélységét, az armatúra beépítését pedig szintező műszerrel irányítják. Az előbbit illetően a szabvány nem rendelkezik, azt az érintett felek megállapodására bízva, mely tekintetben  $\pm 10\text{cm}$ -es beépítési pontosság várható el. Az armatúra elhelyezését a szabvány a cölöp felső síkján  $\pm 15\text{cm}$ -es pontossággal várja el, de geometriai és statikai okokból ritkán fogadható el ekkora eltérés. Így gyakori, hogy az armatúra tetejét utólag le kell vágni vagy toldani kell, amiről szintén a felelős tervező nyilatkozhat. A cölöp függőlegességének biztosítása a hazai talajokban ritkán jelent problémát, a szabvány által általános esetre elvárt követelmény, a függőlegestől való eltérés 2%-os korlátozása, általában teljesíthető.

A cölöpfúrás közben a fúrószár, illetve annak spiráljain maradó talaj biztosítja a furatfal állékonyságát. Ahogy az MSZ EN 1536-2012 8.2.5.2. pontjában olvasható, a fúrást célszerű a lehető leggyorsabban és legkisebb fordulatszámmal végezni, hogy a fúrás minél kisebb hatással legyen a környező talajra. Hazai talajokban a forgatási sebesség





és az előtölés megfelelő összehangolásával ez általában teljesíthető. Elsősorban kemény agyagokban fordulhat elő, hogy a behatolás lassulása és a fordulatszám növekedése csökkenti a palástellenállást. Tökéletes munka azonban minden cölöp esetében más nehézségek miatt sem valósítható meg, ha a talajadottságok kedvezőtlenek, célszerű már a tervezéskor óvatosabb teherbírással számolni.

A betonozási folyamat különösen kritikus a CFA cölöpök esetében, hiszen meg kell gátolni a fúrószer dugulását, s biztosítani kell, hogy a betonozás befejezése után a cölöparmatúra beépíthető legyen. A betonreceptúrát a kivitelezés megkezdése előtti próbakeverésével, valamint a konzisztenciának a munkaterületen végzendő szúrópróbaszerű vizsgálatával kell ellenőrizni. A betonszilárdságot szabványos próbakocka-törésekkel kell igazolni. A beton bedolgozásakor mindig tartani kell a hidrosztatikus nyomást meghaladó betonnyomást, amit a gépkezelő a betonozó csöként szolgáló fúrószer kellően lassú felhúzásával ér el. A betonnyomást a korszerű gépek fedélzeti számítógépe kijelzi, így segítve a gépkezelőt. A beton tervezése, keverése, szállítása és minősítése a vonatkozó „betonszabványok” alapján valósul meg, mindezekkel területi okokból nem foglalkozunk.

A cölöpök fúrása és betonozása során a korszerű fúrógépek fedélzeti számítógépe képes kijelezni és rögzíteni a következő paramétereket:

- a cölöpkészítés idejének kezdete és vége,
- a cölöpfúrás sebessége,
- a fúrófej fordulatszáma a fúrás közben,
- a cölöpöző gép által kifejtett előtölési erő és forgatónyomaték,
- a betonozási nyomás,
- a bedolgozott betonmennyiség a mélység függvényében.

Egyre gyakoribb, hogy a megrendelő elvárja e paraméterek dokumentálását (9.1. ábra). Fontos tudni, hogy a fedélzeti számítógép által rögzített technológiai paraméterekkel szembeni követelmények egyelőre nincsenek szabványosítva. A szakirodalomban is alig található erre irányadó adatok, s a fúrógépek mérés technikája, hitelesítése sem szabályozott. Szabványosított és pontos követelményrendszer hiányában a mért adatokat csak tájékoztató jelleggel lehet értelmezni, de a hozzáértő szakemberek sok mindent ki tudnak olvasni az adatokból a cölöpözés minőségével kapcsolatban.

A cölöpökbe kerülő armatúrát minősített, hegesztett kapcsolatokkal kell készíteni. Az üzemben előregyártott armatúrákat a beépítésük előtt gyakran napokig a munkaterületen kell tárolni, célszerűen fa alátéteken, hogy megvédjük őket a szennyeződéstől. Az armatúra terv szerinti kialakítását a betonozás előtt kell ellenőrizni.

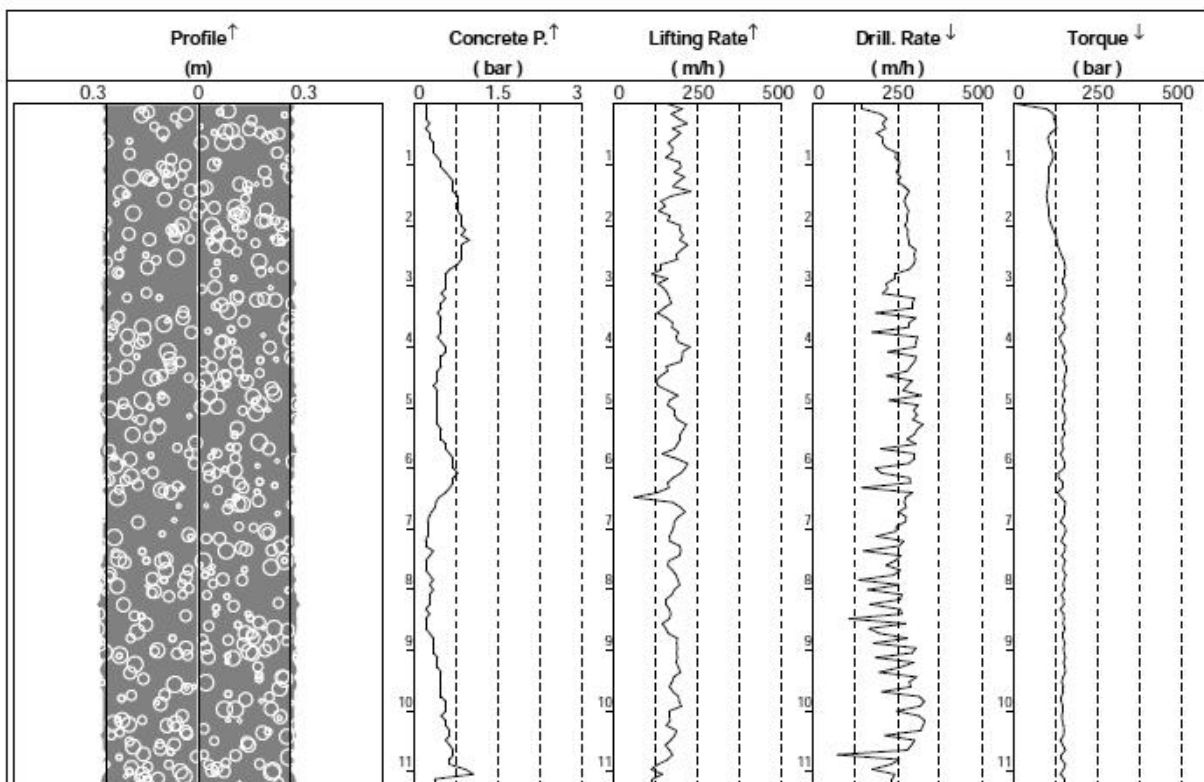
A cölöp visszavésése és a beton megfelelő szilárdságának elérése után hajtható végre a cölöpök szónikus integritásvizsgálata (9.2 ábra). Ez azt igazolja, hogy a technológiát az adott talajkörnyezetre „beállították”, s a cölöptestek folytonosak, épek. Érvényes



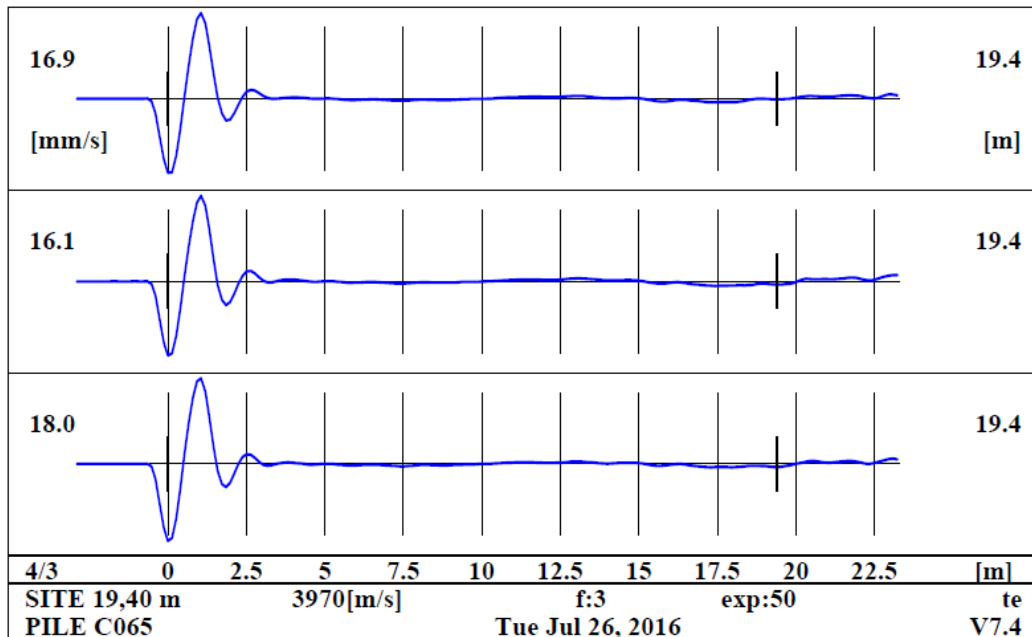
szabályozás híján a CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) „Integrity Testing in Piling Practice” című kiadványa ajánlható a mérési sűrűség meghatározásához. Idehaza a hidak alapozásakor gyakori tervezői elvárás a cölöpök 100%-nak integritásvizsgálata. Alacsonyabb kockázatú, de nagyobb darabszámú cölöpmennyiséget igénylő ipari létesítményeknél az a szokásos megrendelői elvárás, hogy a cölöpök 5-20%-át ellenőrizzük.

Continuous Flight Auger Piling			
Date :	Diameter :	0,60 m	
Begin :	Pile Length :	11,21 m	
Concrete :	Volume :		
End :	Overconsumption :		
Rig :	Inclination X;Y :		

Pile :



9.1 ábra: példa a cölöpfúró gép fedélzeti számítógépe által készített jegyzőkönyvre



9.2. ábra: Példa cölöpintegritás vizsgálat eredményeként adódó diagramra

## 10. A cölöpösszefogó szerkezetek tervezése

### 10.1 A fejtömb, fejgerenda funkciója

Az alapozási célokat szolgáló cölöpök és az alapozandó felszerkezet közötti szerkezeti kapcsolatot egy sorban elhelyezkedő cölöpök esetén a fejgerenda, több sorban levő cölöpök esetén a cölöpösszefogó fejtömb hivatott megteremteni. A jelen fejezet ezekkel foglalkozik.

A fejgerendának, illetve a fejtömbnek az alépléítmény és felépléítmény közötti fizikai kapcsolat megteremtésén túl az alábbi funkciói vannak:

- a felszerkezet támaszelemeiről (falak, pillérek) lejáró erőket bevezeti a talajban, mint ágyazó közegben kialakított cölöpökbe,
- helyesen megválasztott szerkezeti vastagsága esetén merevtestszerű viselkedésével biztosítja az összefogott cölöpök közötti, az igénybevétel jellegétől függő teherelosztást, nem csak vertikális, de horizontális értelemben is,
- keresztirányú megtámasztást ad az egyes cölöpöknek azok felső síkján,
- a cölöpök acélbetéteinek lehorgonyzásával biztosítja, hogy szükség esetén a cölöpök húzóerőt is fel tudjanak venni,
- biztosítja az alapozás felső síkjáról induló vasbeton felszerkezeti elemek csatlakozó vasalásainak, acélszerkezetű felépléítmény esetén a lekötő, illetve rögzítő elemeknek az elhelyezését, és azok szükséges mértékű lehorgonyzását,



- méretpontosan zsaluzható szerkezetként korrigálja az alapozás kivitelezési pontatlanságaiból származó esetleges geometriai eltéréseket, hogy azok a felszerkezetre ne jussanak tovább

### 10.2 Felhasznált anyagok és minőségük

A fejszerkezetek szinte kizárólag helyszínen betonozott, vasalással ellátott monolit szerkezetek. A beton szilárdsági osztályát két kritérium határozza meg, akárcsak más mélyépítési szerkezetek esetében:

- a statikai igénybevételek alapján szükséges szilárdság,
- a beton környezeti osztálya által megszabott legkisebb szükséges nyomószilárdság.

A két kritérium közül előbb a környezeti osztály által meghatározottat kell vizsgálni, melyet az MSZ 4798:2016 szabvány F1 jelű táblázata ír elő. Eszerint a vízzel hosszú időn át érintkező betonfelületek, vagyis a legtöbb alapozási szerkezet, az XC2 környezeti osztályba sorolandó az acélbetétek karbonátosodás következtében bekövetkező korróziós kockázata miatt. Az XC2 jelű környezeti osztály minimálisan C25/30 nyomószilárdsági osztályt követel meg a betonra. Ezt a természetes talaj vagy talajvíz kémiai kockázata miatt gyakran kell magasabb szilárdsági kategóriába (C30/37, esetleg C35/45) átsorolni.

Az említett nyomószilárdsági osztály betonjai a tervezési gyakorlatban, a legtöbb esetben elegendőnek bizonyulnak a statikai igénybevételekből származó erőtani kritériumoknak is, illetve gazdaságosan bevasalhatók. A vasalás általában lágyvasalást jelent, s jellemzően 500 N/mm<sup>2</sup> folyáshatárú és B duktilitási osztályú betonacélt használunk az erőtani számítás alapján meghatározott átmérővel és kiosztással.

### 10.3 Geometriai kialakítás

Az alaprajzi kialakítást alapvetően a cölöpkép határozza meg. Vonalas cölöpkép esetén a fejgerenda alaprajzi geometriája egyértelműen meghatározott, míg több sorban elhelyezett cölöpök esetén a fejtömb alaprajzilag egy a cölöpcsoportot magában foglaló sokszög, melynek kontúrját az alábbi megfontolások alapján célszerű felvenni:

- A fejtömb határoló élei alaprajzilag kövessék a szélső cölöpök helyzetét, úgy, hogy – a megfelelő vastagsággal együtt – valóban tömbszerű merevtestként viselkedő szerkezetet nyerjünk, irányonként közel azonos merevségi jellemzőkkel.
- A fejtömb alaprajzilag nyúljon túl a szélső cölöpökön, úgy, hogy meglegyen a húzott acélbetétek szükséges lehorgonyzási hossza, és a cölöp kivitelezésének a méret-tűréseken belül feltételezhető pontatlanságai kezelhetők legyenek.

A fejgerendák és fejtömbök szerkezeti vastagságának tervezésekor figyelemmel kell lenni arra, hogy a megfelelő merevség a teherelosztó funkcióhoz meglegyen. A közel



merevtestszerű viselkedéshez a cölöptávolságokhoz képest viszonylag nagy vastagság szükséges, ezzel tudja a cölöpösszefogó szerkezet jelentős deformációk nélkül közvetíteni a felszerkezetről érkező erőket a cölöpökre.

A vastagságot a következők befolyásolhatják:

- a cölöpvasalás fejtömbön (fejgerendán) belül szükséges lehorgonyzási hossza,
- a felmenő szerkezetek csatlakozó vasalásának, illetve lekötő szerelvényeinek tömbön belüli lehorgonyzási hossza,
- a visszavésett cölöpök benyúlása az MSZ EN 1992-1-1:2010 9.8.1. pontja szerinti min. 5 cm-rel (ez biztosítja a fejtömb alsó vasalásának betonfedését is).

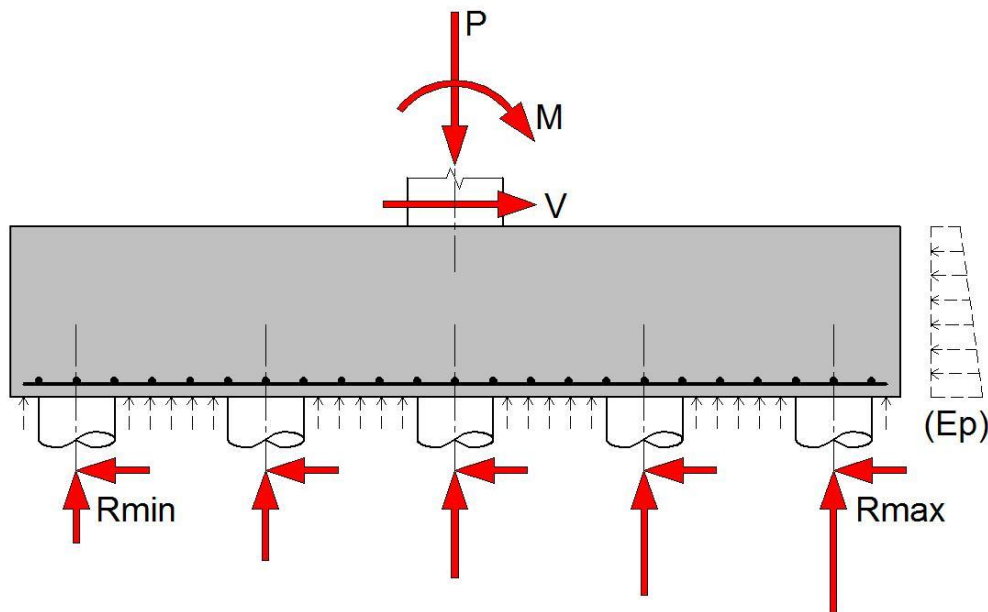
A fejszerkezet alsó síkjának szintjét a csatlakozó épületszerkezetek szintjeinek figyelembevételével célszerű meghatározni, de lehetőleg úgy, hogy a cölöpök visszavésése után a szerkezet a talajvíz építéskori szintje felett megépíthető legyen. A szerkezet alá szerelőbeton készül, a földkiemelés és tükör szintjét ehhez kell igazítani.

### 10.4 Fejtömbök terhei

A 10.1 ábrán egy jellegzetes fejtömb terhei láthatók. Ezek természetesen az ábra síkjára merőleges irányban is hathatnak, ennek következtében a két irányból származó hatások szuperponálódnak.

A terhek felvételénél a következő feltételezéseket indokolt tenni:

- a fejtömb kellő merevséggel rendelkezik  $P$  erő cölöpökre történő egyenletes elosztására, vagyis egy cölöpre  $P/n$  erő jut, ha  $n$  a cölöpök darabszáma,
- a fejtömb az  $M$  nyomaték hatására merevtestszerű elfordulást végez, a nyomatékból a cölöpökre függőleges erők jutnak,
- a fejtömb saját síkjában olyan merevséggel rendelkezik, hogy a  $V$  vízszintes erőt a cölöpök között egyenletesen osztja szét, vagyis egy cölöpre  $V/n$  erő jut,
- a cölöpök közötti talajgyazaton képződő reakcióerő különösen nagyobb átmérőjű cölöpök és a szokásos méretű fejtömbök esetén elhanyagolható,
- a  $V$  erővel szemben a fejtömb oldalfelületén kialakuló passzív földnyomással általában nem számolhatunk, mert annak teljes mobilizálásához szükséges jelentős mértékű elmozdulás a cölöpökre igénybevételeként a legtöbbször nincs kalkulálva.



10.1. ábra: fejtömb terhei

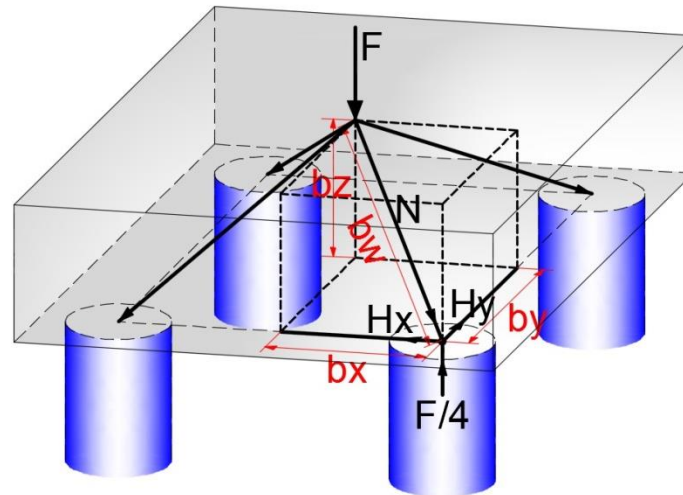
### 10.5 Számítási módszerek

A fejrondák természetesen számíthatók hagyományos módon, hajlított-nyírt gerendaként, célszerűen valamilyen 2D végelem (numerikus) szoftverrel. Fejtömbök esetében leginkább célravezető és egyszerűsége miatt jól használható a „strut and tie” vagy „truss and tie” módszer, ami gyakorlatilag húzott és nyomott rudak erőjátékával, jó közelítéssel modellezi a merevtestszerűen viselkedő tömbszerkezetet.

Az alaprajzi méretéhez képest vastag szerkezetben, annak felső síkját terhelő pillér illetve fal, valamint az alsó síkján elhelyezkedő cölöpök között ferde, nyomott „beton rudak” képződnek, melyeknek, húzott, vízszintes komponensét a tömbben elhelyezendő vasalással lehet felvenni. A szerkezet tulajdonképpen feszítőműként funkcionál és akként számítható, amennyiben a cölöptávolságokhoz képest a szerkezeti magasságot helyesen választjuk meg.

Egy négycölöpös központos nyomóerővel terhelt fejtömb e számítási modell szerinti erőjátékát a 10.2 ábra érzékelteti a húzó- és nyomóerők meghatározásához.





$F$ [kN]	pillérerő tervezési értéke	$N$ [kN]	nyomott „betonrúdban” fellépő normálerő
$b_x$ [m]	pillértávolság fele $x$ -irányban	$H_x$ [kN]	$x$ -irányú vasakban keletkező húzóerő
$b_y$ [m]	pillértávolság fele $y$ -irányban	$H_y$ [kN]	$y$ -irányú vasakban keletkező húzóerő
$b_z$ [m]	hasznos magasság	$A_{sx}$ [mm <sup>2</sup> ]	szükséges vasmenyiség $x$ -irányban
$b_w$ [m]	nyomott „betonrúd” elméleti hossza	$A_{sy}$ [mm <sup>2</sup> ]	szükséges vasmenyiség $y$ -irányban

10.2. ábra: fejtömb erőjátéka

Az ábra alapján felírható vetületi egyenletekből számítható húzóerők:

$$H_x = \frac{F}{4} \cdot \frac{b_x}{b_z}$$

$$H_y = \frac{F}{4} \cdot \frac{b_y}{b_z}$$

A nyomott „beton rúdban” keletkező normálerő:

$$N = -\frac{F}{4} \cdot \frac{b_w}{b_z}$$

A szükséges vasmenyiségek irányonként:

$$A_{sx} = \frac{H_x}{f_{yd}}$$

$$A_{sy} = \frac{H_y}{f_{yd}}$$

Nyírás vizsgálatát illetően abból indulhatunk ki, hogy a fejtömbök esetében a  $(2,5-3,0) \cdot D$  távolságban levő, sűrűnek minősíthető cölöp-alátámasztásoknak és a nagy szerkezeti vastagságból adódó merevségnek köszönhetően a hajlításból származó



nyíróerők, illetve „nyírási húzóerők” a feszítőműben kialakuló húzóerőkhöz képest általában jelentéktelenek. Ezért a tervezési gyakorlatban a nyírásvizsgálat legfeljebb az átszűrődés, mint lokális nyírási probléma vizsgálatára szűkül.

Ennek során megvizsgálandó, hogy a viszonylag nagy hasznos magasság ( $d$ ) miatt jelentős nyírási teherbírással rendelkező betonkeresztmetszet igényel-e átszűrődési vasalást vagy sem. Az átszűrődési teherbírást a terhelő oszlop szélétől  $2 \cdot d$  távolságon belüli átszűrődési kerületekre kell igazolni az *MSZ EN 1992-1-1:2010 szabvány 6.4.4. pontjának (2)* bekezdése szerint. Nagy pillérterhek esetén lehet jelentősége a közvetlenül a pillér alatti betonzóna vizsgálatának is, amikor is a fajlagos nyíróerő felső korlátjának értékével a beton nyomással szembeni tönkremenetelét kell ellenőrizni. Sok esetben azonban az  $u_1$  legkisebb átszűrődési kerület, ami a terhelő pillér szélétől  $2 \cdot d$  távolságban van, kívül esik a fejtömbön, és tulajdonképpen a cölöptávolság és a hasznos magasság aránya miatt a pillérerő csaknem közvetlenül átadódik a cölöpökre, átszűrődési problémát nem okozva.

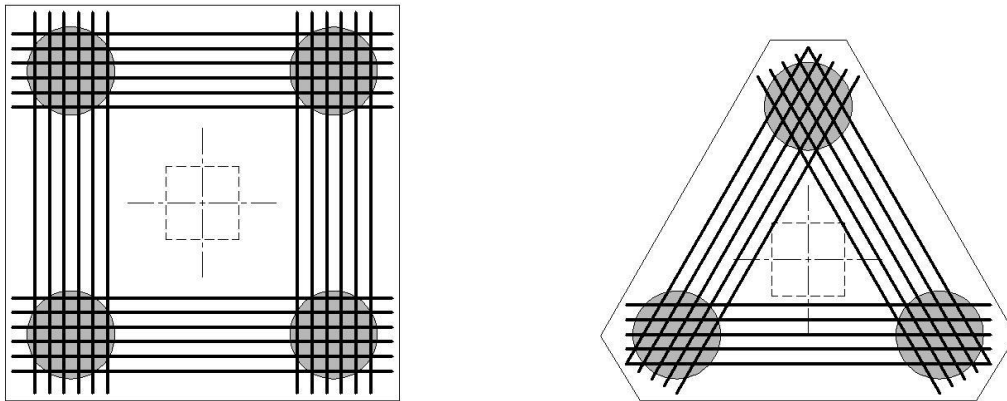
Fejgerendák esetében, különösen, ha a cölöptávolságok a szerkezeti magassághoz képest nagyobbak, a gerendaszerű viselkedés erősebben érvényesül, a nyíróerők felvételére legtöbbször méretezett nyírási vasalás szükséges.

### 10.6 A vasalás kialakításának alapelvei

A fejgerendák vasalását a gerendaszerkezetek vasalásának szerkesztési szabályai alapján kell kialakítani, a fejtömbök vasalása ennél izgalmasabb kérdés.

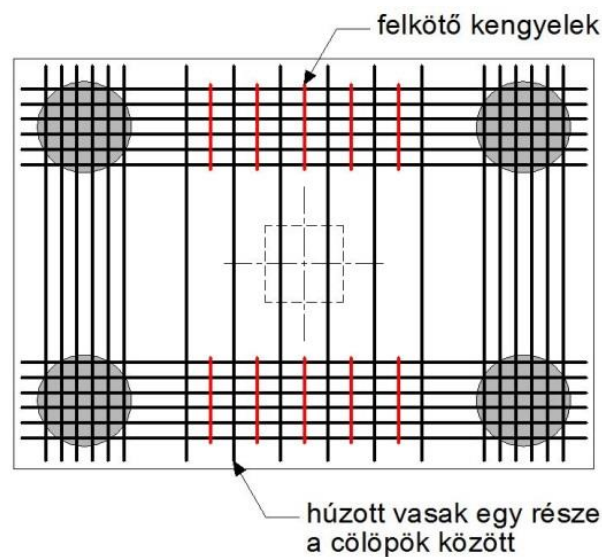
A tervezési gyakorlatban sokszor a felület mentén egyenletesen osztják el a vasakat. Ennél azonban konstruktívabb a feszítőmű erőjátékát jobban lekövető az a vasalási megoldás, hogy a húzott vasbetéteket a cölöpök felett sűrítve helyezik el (10.3 ábra). Mivel a betonban kialakuló nyomott rudak a cölöpök alkotta merev alátámasztáshoz koncentrálnak, e megoldással a legnagyobb húzóerők is a cölöpök feletti sávokban jelentkeznek.

A cölöpök feletti húzott vasak lehorgonyzási szakasza erősen nyomott, így általában azok kampó nélkül, egyenes véggel is megfelelően lehorgonyozhatók.



10.3. ábra: fejtömb vasalása a cölöpök fölé koncentrálnva

Nagyobb cölöptávolság esetén a húzott vasalás egy részét a cölöpök közötti részre is szükséges kiosztani (10.4 ábra). Ezen a szakaszon a húzott vasakat felkötő kengyelekkel kell biztosítani a közvetlen alátámasztás hiánya és a nyomott rúderök egy részének lefele irányuló nyomása miatti betonlerepedés elkerülése végett.



10.4. ábra: fejtömb vasalása nagyobb cölöptávolság esetén