

SZAKDOLGOZAT

OE-YBL
2024.

Hallgató neve:
Hallgató törzskönyvi száma:

Szabó Zsolt





ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Szabó Zsolt

Szakedolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Építőmérnöki

Specializáció: Geotechnika

A dolgozat címe: M49 gyorsforgalmi út M3 autópálya - Ökörítőfülpös közötti szakaszon lévő B112.J. pályahíd hídpillér tervezése

A dolgozat címe angolul: The design of B112.J bridge pillar near M49 freeway, at section M3 Highway-Ökörítőfülpös

A feladat részletezése: A konkrét tervezési feladathoz kapott talajfeltárások tanulmányozásával és kiértékelésével, valamint a mélyalapozások irodalmi áttekintésével kiválasztott mélyalapozási technológia megtervezése. A választott technológia különböző számítási módszerekkel meghatározott teherbírásainak összehasonlítása.

Intézményi konzulens neve: Kaczvinszki-Szabó Vera

Külső konzulens neve: Turi Dávid

Munkahelye: Fugro Consult Kft.

A kiadott téma elévülési határideje: 2029. 12. 31.

Beadási határidő: 2024. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2024. 10. 21.

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet
1446 Budapest, Thököly út 74.
1442 Budapest, 70., Pf. 117.

Intézetigazgató

A dolgozatot beadásra alkalmasnak találom: 2024. 12. 15.

belső konzulens

külső konzulens



Ybl Miklós Építéstudományi Kar

**SAKADOLGOZAT
KONZULTÁCIÓS NAPLÓ**Hallgató neve: **Szabó Zsolt**

Dolgozat száma: [REDACTED]

Oktatási azonosítója: [REDACTED]

Szak, specializáció megnevezése:

Neptun azonosítója: [REDACTED]

Építőmérnöki

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Geotechnika szakirány

A dolgozat címe magyar nyelven: **M49 gyorsforgalmi út M3 autópálya – Ökörítőfülpös közötti szakaszon lévő B112.J. pályahíd hídpillér tervezése**

A dolgozat címe angol nyelven: **The design of B112.J bridge piers near M49 freeway, at section M3 Highway - Ökörítőfülpös**

Belső (kari) konzulens neve: **Kaczvinszki-Szabó Vera**Külső konzulens neve: **Turi Dávid**Külső konzulens munkahelye: **Fugro Consult Kft.**

ALK.	DÁTUM	KONZULTÁCIÓ TÉMÁJA, TARTALMA	KONZULENS ALÁÍRÁSA
1.	09.26	Feladat meghatározás, alapadatok	[Signature]
2.	2024.10.15	EC és DIN csőptervezés	[Signature]
3.	2024.11.26	Süllyedésszámítás	[Signature]
4.	12.15	Munka befejezés konzultáció	[Signature]

A Konzultációs naplót minimum négy alkalommal az egyes konzultációk alkalmával kell láttamoztatni bármelyik konzulenssel.

A részvételt a konzulens akkor igazolhatja, ha arra a hallgató felkészülten érkezik, azaz érdemi konzultáció történt.

A hallgató a Szakdolgozat/Diplomaterv/Diplomamunka tantárgy(ak)* követelményét teljesítette.

Kelt: Budapest (hely), 2024.12.15. (dátum)

[Signature]
belső (kari) konzulens

* A megfelelő aláírással.



Ybl Miklós Építéstudományi

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott Eperjesi Ádám hallgató kijelentem, hogy a dolgozat saját munkám eredménye, a felhasznált szakirodalmat és eszközöket azonosíthatóan közöltem. Az elkészült dolgozatban található eredményeket az Óbudai Egyetem és a feladatot kiíró intézmény saját céljára térítés nélkül felhasználhatja, a titkosításra vonatkozó esetleges megkötések mellett.

Kelt: Budapest (hely), 2024.12.15. (dátum)

Szabó Zsolt
hallgató

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	7
2. AZ ALAPOZÁS FELADATAI, OSZTÁLYOZÁSA ÉS MÉRETEZÉSE ÁLTALÁBAN	8
2.1 TÖRTÉNELMI VISSZATEKINTÉS	8
2.2 AZ ALAPOZÁS HELYE, SZEREPE	8
2.3 ALAPOZÁS FELADATAI	8
2.4 ALAPOZÁS OSZTÁLYOZÁSA	9
2.5 MÉRETEZÉS ÁLTALÁBAN	9
3. SIKALAPOK	10
3.1 SÁVALAPOK	10
3.2 TALPALAPOK (TÖMBALAPOK, PILLÉRALAPOK)	11
3.3 SZALAGALAPOK (TALPGERENDA-ALAP)	12
3.4 GERENDARÁCS-ALAP	12
3.4 LEMEZALAPOK	13
3.5 HÉJALAPOK	13
3.6 DOBOZALAPOK	14
4. MÉLYALAPOK	15
4.1 RÉSFAL ALAPOZÁS	15
4.1.1 A részfalas alapozás folyamata	15
4.1.2 Alkalmazási területek	16
4.2 KÚT ÉS SZEKRENYALAPOZÁS	17
4.2.1 Kút és szekrényalapozás csoportjai	17
4.2.2 Alkalmazási lehetőségek	17
4.2.3 Szerkezeti felépítésük és anyaguk	18
4.2.4 Kút és szekrényalapok tervezése	20
5. CÖLÖPALAPOZÁS	21
5.1 CÖLÖPALAPOK OSZTÁLYOZÁSA	21
5.2 TALAJHELYETTESÍTÉSES CÖLÖPÖZÉSI TECHNOLÓGIÁK	24
5.2.1 CFA cölöpözés	24
5.2.2 Soil-Mec	25
5.2.3 Béléscsőves fúrt, cölöp	26
5.3 TALAJKISZORÍTÁSOS CÖLÖPÖZÉSI TECHNOLÓGIÁK	27
5.3.2 Csavart helyben betonozott cölöp	27

5.3.3 Omega cölöp	27
6. FELADAT BEMUTATÁSA	29
6.1 FELADAT	29
6.2 HELYSZÍNI VISZONYOK	29
6.3 GEOTECHNIKAI KATEGÓRIÁBA SOROLÁS	30
6.4 GEOTECHNIKAI INFORMÁCIÓK ISMERTETÉSE	31
6.4.1 Földrendési kategóriába sorolás	31
6.4.2 Földtani fedettség, geológia	32
6.4.3 Geotechnikai feltárások adatai	34
6.4.4 Talajvíz adatok	35
6.4.5 Geotechnikai információk kiértékelése	35
6.5 LEHETSÉGES CÖLÖPÖZÉSI TECHNOLÓGIÁK	36
6.6 VÁLASZTOTT TECHNOLÓGIA	37
7. SZÁMÍTÁS.....	38
7.1. D TÁMASZNÁL EUROCODE SZERINTI CÖLÖPTEHERBÍRÁS MEGHATÁROZÁSA	40
7.1.2 „D” támasznál DIN szabvány szerinti cölöpteherbírás meghatározása	44
7.1.3 D támasz cölöpsüllyedés meghatározása	52
7.1.4 D támasz egyedi cölöp teherbírás GEO5 programmal	56
7.1.5 EC-DIN-GEO5 számítási értékek összehasonlítása	60
7.1.6 D támasz cölöpvasalása	61
7.2 C TÁMASZNÁL EUROCODE SZERINTI CÖLÖPTEHERBÍRÁS MEGHATÁROZÁSA	63
7.2.1 C támasznál GEO5 ellenőrzés	67
7.2.2 C támasz cölöpsüllyedés meghatározása	69
7.2.2 C támasz cölöpvasalása	72
7.3 EREDMÉNYEK ISMERTETÉSE	74
8. ÖSSZEGZÉS.....	75
Summary	76
9. HIVATKOZÁSOK.....	77
9.1 SZAKIRODALOM.....	77
9.2 ÁBRAJEGYZÉK.....	78
9.3 SZABVÁNYOK	78
9.4 MELLÉKLETEK.....	79

1. BEVEZETÉS

Az Óbudai Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Karának Geotechnika szakos építőmérnök hallgatójaként szakdolgozatom témája M49 gyorsforgalmi út M3 autópálya közötti szakaszon hídpillér cölöpalapozásának tervezése Magyarország keleti csücskében, Ökörítőfülpösön. A munkám során először részletes talajvizsgálatot végzek talajfeltárás és statikus szondázás (CPT) alapján, amelynek eredményei alapján megtervezem a pillér cölöpalapozását, figyelembe véve a helyi talajtulajdonságokat és a híd szerkezeti igényeit. Célom egy stabil és gazdaságos alapozási rendszer kidolgozása, amely hosszú távon biztosítja a híd teherbírását és tartósságát.

2. AZ ALAPOZÁS FELADATAI, OSZTÁLYOZÁSA ÉS MÉRETEZÉSE ÁLTALÁBAN

2.1 Történelmi visszatekintés

A megfelelő alap kiválasztása régi időktől kezdve egy fontos problémát jelentett. (pl. Kínai nagyfal, Egyiptom piramisai). Tapasztalati úton, kísérletezésekkel tudták az arra alkalmas alapozást kiválasztani. Ennek fejlődése hosszú ideig elnyúlt, mivel a siker feltétele a megérzés volt, amit nem lehetett tovább adni.

Napjainkban egyre jobban elterjedtek a süllyedésre érzékeny, nagy terhelésű épületek, ami mellett a gazdaságosság is egy fontos szempont. Ennek következtében az altalaj feltárása, a fizikai jellemzők meghatározása, az alapozás precíz méretezése elengedhetetlenné vált. [1]

2.2 Az alapozás helye, szerepe

Az építmények alapjai több szempontból is egyedülálló szerepet töltenek be. Az alapok tervezése szinte mindig egyedileg történik, mivel az adott területen lévő talajviszonyokhoz kell alkalmazkodniuk. Túlnyomórészt az alapok megépítését kedvezőtlen körülmények hátráltatják (talajvíz, szomszédos létesítmények, földmozgás). Az esetek nagyrésztében az alapozást a helyszínen kell elkészíteni, ezzel szemben a felszerkezet egyes elemei gyakran előre gyárthatóak. Ennek következtében az alapok építése sose lesz olyannyira szerelés jellegű, mint a felszerkezeté. A felszerkezetet időről időre karbantartják vagy korszerűsítik, és a felmerülő hibák többnyire könnyedén helyrehozhatók. Ezzel szemben az alapok esetében ilyen beavatkozásra nincs lehetőség, ezért azokat úgy kell megtervezni és megépíteni, hogy a létesítmény teljes élettartamát biztosítsa. [2]

2.3 Alapozás feladatai

Az alapozás tervezése és kivitelezése kiemelkedően fontos feladat az építkezések során, hiszen alapok biztosítják az építmények stabilitását és biztonságát. Az alap feladata, hogy az építmény súlyát és a ráható erőhatásokat a talajra úgy adja át, hogy elkerülhetők legyenek a káros repedések és a biztonságot csökkentő feszültségek. Az alapozás célja

tehát nemcsak a terhelés megfelelő elosztása, hanem a gazdaságos és hatékony megoldások alkalmazása is.[3]

2.4 Alapozás osztályozása

Az alapozás típusa attól függ, hogy:

- az építmény terhelését a felszíni talajrétegre (**síkalap**)
- vagy egy mélyebb, teherbíró talajrétegre (**mélyalap**) kell átadni.

A síkalapok közvetlenül a térszín közelében helyezkednek el, míg a mélyalapok esetében támasztó elemek, például cölöpök vagy kutak használatával történik átadás. Az alapozási mód megválasztása a talaj minőségétől és az építmény szerkezetétől függ, figyelembe véve a biztonság mellett a gazdaságosságot is. [3]

2.5 Méretezés általában

Az alapok tervezésének első lépése a terhelések meghatározása.

- Ezek a terhelések lehetnek :
- **statikusak** (pl. az építmény súlya)
 - **dinamikusak** (pl. szél, rezgések hatásai)

A terhelések pontos meghatározása azonban sok esetben bonyolult, mivel a földnyomások és a dinamikus hatások egyértelmű és precíz mérésre nincsenek minden esetben megfelelő eljárások. A tervezés során figyelembe kell venni a különböző hatásokat, mint például : **hasznos terhelések, földnyomás, szélnyomás, víznyomás, rezgésből származó hatások.**

A megfelelő alapozási módszer kiválasztásához alaposan meg kell ismerni az **altalajt**, az **építmény szerkezetét a rendeltetését**, valamint a **süllyedésérzékenységét** is. Amennyiben a síklap alkalmazása nem biztosítja az építmény biztonságát (pl. kimosási vagy csúszási veszély esetén) úgy mélyalapozásra van szükségünk. Az alapozás tervezési folyamat tehát alapos elemzést és számításokat igényel a megfelelő megoldás kiválasztásához, amely biztosítja az építmény stabilitását és tartósságát. [3]

3. SIKALAPOK

A síkalapozások célja, hogy az épületek oszlopainak vagy falainak terheit a talaj felső rétegeire közvetítsék. Ezek az alapozások általában 2–5 méter mélységben helyezkednek el a földfelszíntől. Az alapozásokat a talaj teherbírásának és összenyomhatóságának figyelembevételével a lehető legközelebb helyezik a felszínhez. Hideg éghajlaton, ahol a talaj a téli hónapokban megfagyhat, az alapozás szintjének a fagyási mélység alá kell kerülnie. Ez biztosítja, hogy a talaj fagyása és olvadása ne okozzon süllyedést. [4]

3.1 Sávalapok

Sávalapok feladata, hogy állandó alátámasztást biztosítson a falaknak. Ez a síklapok legegyszerűbb fajtája. A talaj teherbírása alacsonyabb az építőanyagénál, ezért az esetek nagyrésztében konzolosan kinyúlnak a falból, viszont a talpszélességük megegyezhetne a felmenő fal szélességével.

Anyagát tekintve épülhet :

-terméskő,

lépcsős kialakítású, javított mészhabarcba rakott, kemény, fagyálló kövekből készül,

-tégla,

III. osztályú téglafal minőségében, mészhabarcossal készülnek, lépcsőzetes kialakítás az alap és a pincefal közötti részen

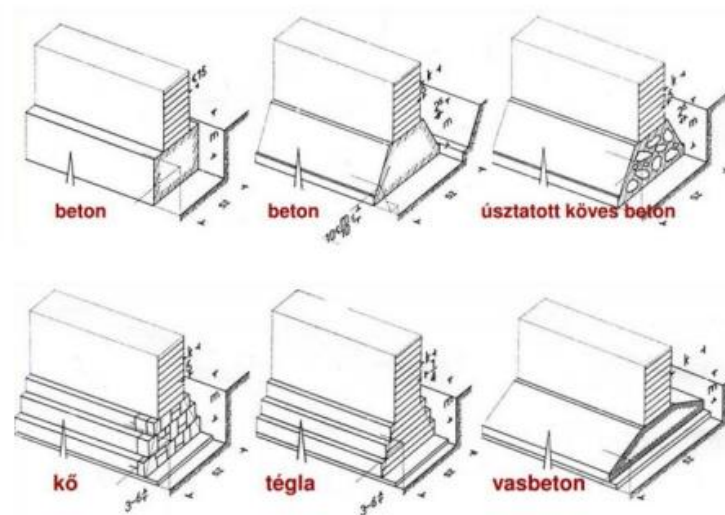
-beton,

-úsztatott beton, ha a betonba még terméskövet is tesznek

-csömöszölt beton, földpartok között vagy zsáuzattal építik

-vasbeton,

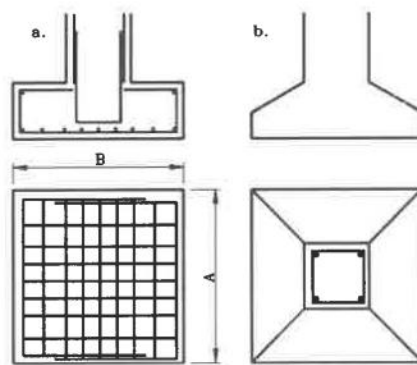
ha az alap magassága pl. talajvíz miatt korlátozott, de nagy támaszkodó felület kell. [1][2]



1. ábra : Sávalapok típusai anyaguk szerint [16]

3.2 Talpalapok (tömbalapok, pilléralapok)

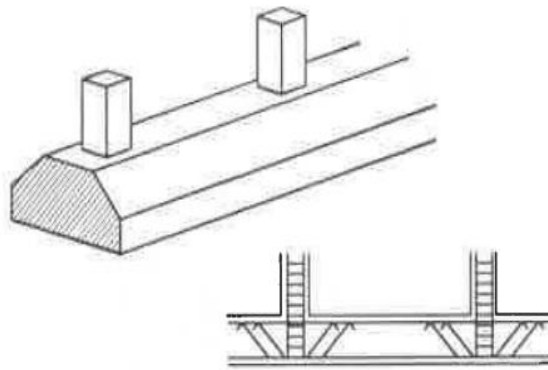
Az alaptestek, mint a talp- vagy tömbalapok, olyan zárt formájú szerkezetek (például kör vagy négyzet), amelyek különállóan készülnek egy-egy építmény alátámasztó oszlopai alatt. Ezek az alapok hossz- és szélességi méretei közel azonosak, de arányuk 2,5-nél kisebb általában. Készülhet betonból, vasbetonból, ritkán téglából. Hasonló módon készül mint a sávalap, de nagyobb igénybevételek keletkeznek, emiatt leggyakrabban betonból és vasbetonból készül. Ha vasbetonból készülnek, gyakran konzolosan túlnyúló lemezeket alkalmaznak, amelyek miatt az alap vastagsága és merevsége jelentősen változhat. [3]



2. ábra : Pillér alapok kialakítása [16]

3.3 Szalagalapok (talpgerenda-alap)

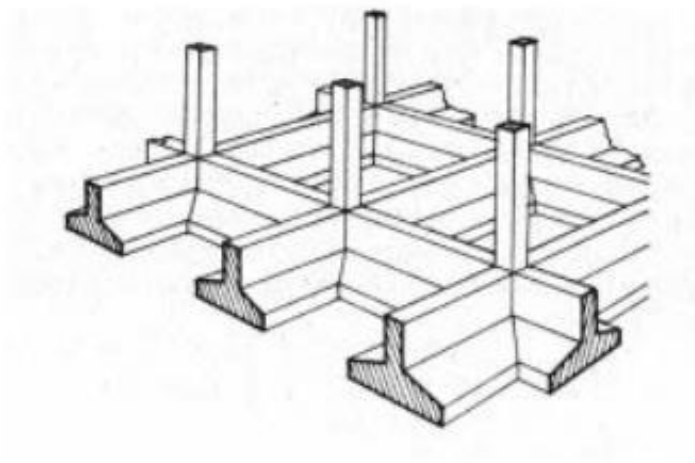
Sávalap és a talpalapoknak a kombinációja : abban különbözik, hogy nem falak hanem oszlopok, pillérek adják át a terhelést a sávszerű folytonos alapra. A toronyépítmények falai alatt lévő egyedi változata a körgyűrű alap. [1][2]



3.ábra : Szalag alap [17]

3.4 Gerendarács-alap

A gerendarácsot az egymást keresztező szalagalapok együttese alkotják, amelyre a pillérek a csomópontokban fejtik ki terhelésüket. Az alkalmazásának a legfőbb előnye, hogy képes az építmények térbeli merevségét az alapozás síkjában is biztosítani. [1][2]



4.ábra : Gerendarács alap [17]

3.4 Lemezalapok

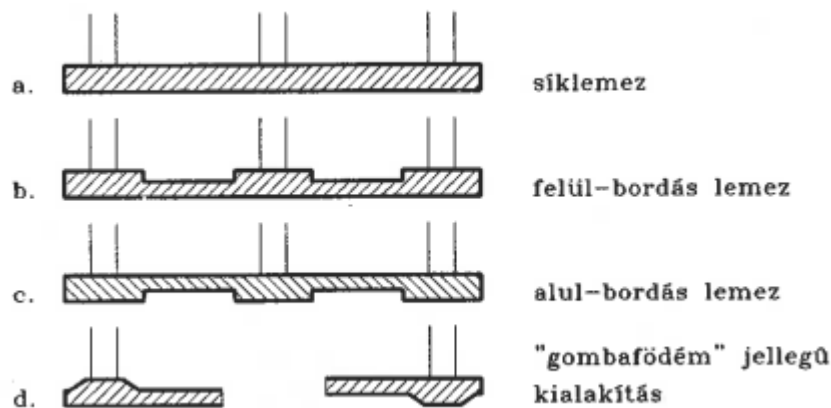
A lemezalapok olyan szerkezetek, amelyek két vagy több, egymással párhuzamos falsávet, pillért vagy oszlopsort egyetlen egységként támasztanak alá, ezáltal az egész építmény alatt összefüggő, folyamatos alapot képeznek. A viszonylag nagy alátámasztási távolság és a csekély szerkezeti magasság miatt ezek általában rugalmasak.

Kialakításuk lehet : - **sík lemez** több alátámasztási soron keresztül,

- **héjszerkezet** (például ellendonga vagy kupola), amelyek vasbetonból készülnek.

- **bordás lemez**, a lemez további megerősítéséhez

Ezen kívül léteznek falazott ellenboltozatok (kőből vagy téglából), amelyek csak két-két falsávról veszik át a terhelést. [3][5]



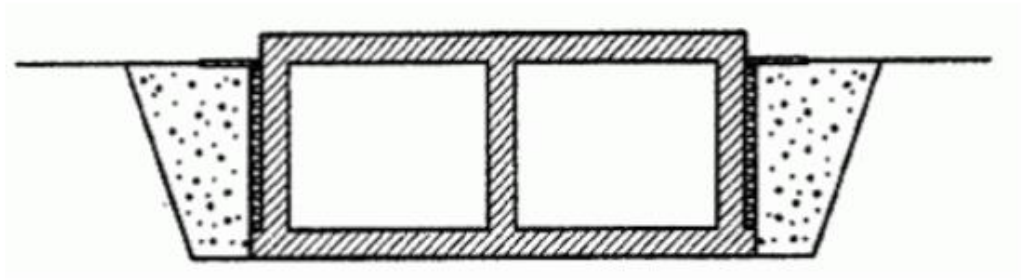
5.ábra : Lemezalapok kialakítása [16]

3.5 Héjalapok

A fent említett héjszerkezet, amelyek a lemezalapoknak a munkaigényes fajtája, viszont anyagigénye takarékosabb. Alakja matematikailag leírható egyszeres, vagy kétszeres görbületű felület, melynél alig alakul ki hajlítás, csak normálerők. Nyírófeszültség sem alakul ki bennük, a körszimmetriájuk miatt. Egyik gyakori változata a forgás-héjú, melynek elkészítése egyszerű és szimmetriája miatt nyírófeszültség nem alakul ki. Parabola-metszetű donga-héj a másik elterjedtebb változata. [1][4]

3.6 Dobozalapok

Az előregyártott elemekből készült épületek csak minimális alakváltozást képesek elviselni anélkül, hogy szerkezeti károsodást szenvednének. Ennek érdekében a lemezalapok a rájuk épített pincefalakkal és földémmel együtt, egységesen egy monolit szerkezetet alkotnak, amely biztosítja az épület stabilitását és tartósságát. – [2]



6.ábra : Doboz alap [17]

4. MÉLYALAPOK

A mélyalapozások elsődleges célja a terhelések átvitele a felszíni gyengébb talajrétegeken keresztül a mélyebben elhelyezkedő szilárdabb talaj- vagy kőzetrétegekbe. Ezek az alapozások általában akkor szükségesek, ha a felszíni talaj nem alkalmas a terhelések biztonságos átvitelére, vagy amikor jelentős mélységű alapozás szükséges, például magas épületek, hidak vagy egyéb nagy súlyú szerkezetek esetében.

Mélyalapozás fajtái : résfalalapozás, kút-és szekrényalapozás, cölöpalapozás

Mélyalapozás alatt általában cölöpökre, fúrt alapokra vagy egyéb hasonló szerkezetekre utalunk, amelyek lehetővé teszik az építmények stabilitását a föld alatti teherbíró rétegek kihasználásával. – [6]

4.1 Résfal alapozás

A résfalas alapozás egy olyan mélyalapozási technika, amelyet elsősorban akkor alkalmaznak, ha a teherhordó talaj mélyen található, vagy ha felszín alatti terek kialakítása szükséges. A résfalak kis szélességi méretű, de jelentős mélységű vasbeton szerkezetek, amelyek nemcsak teherhordó funkciót látnak el, hanem térelhatárolásra és talajvíz távoltartására is alkalmasak. [7]

4.1.1 A résfalas alapozás folyamata

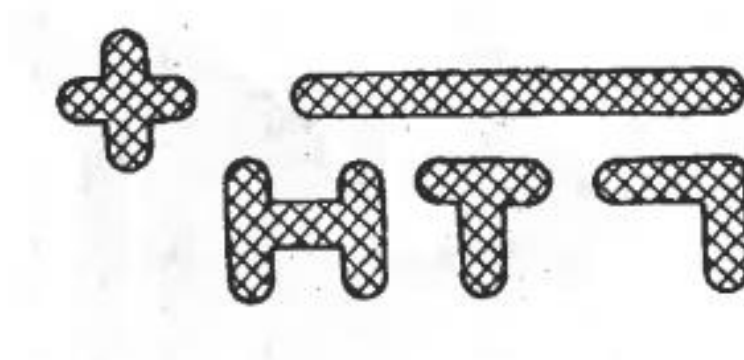
- 1. Talajkiemelés:** A résfalak készítése előtt talajkiemelést végeznek speciális réselőgépekkel, amelyek fúrással, marással vagy markolással alakítják ki a szükséges méretű rést. A kivitelezés során szakaszosan haladnak, általában 5 méterenként ideiglenes szakaszolókkal választják el a különböző ütemben készülő faldarabokat.
- 2. Részszap alkalmazása:** A talajrések kialakítása közben bentonitos részszapot használnak, amely támasztja a földfalakat és megakadályozza a talajvíz beáramlását. A bentonit tixotróp tulajdonságú, ami azt jelenti, hogy nyugalmi állapotban megdermed, így mechanikai támaszt nyújt és ellenáll a talajvíz

hidrosztatikai nyomásának is. Vibrálással a résiszap viszkozitása csökkenthető, folyékonnyá válik, és könnyen eltávolítható.

- 3. Betonozás:** A betonozást szakaszosan végzik, és közben elhelyezik a szükséges vasszereléseket. A beton kiszorítja a résekből a bentonitos zagyt, amelyet szivattyúval eltávolítanak. Egyes esetekben előre gyártott vasbeton falelemeket is használnak, amelyek szintén kiszorítják a résiszapot. [8]

4.1.2 Alkalmazási területek

A résalap számos előnnyel rendelkezik, amelyek alkalmassá teszik különböző mérnöki feladatok megoldására. Kialakítása rugalmasan variálható, mind hosszban, mind alaprajzban (lásd: 7. ábra).



7.ábra : Réspillérek keresztmetszeti kialakítása [18]

Nagy teherbírása és alacsony süllyedése miatt különösen hatékony alapozási megoldás. Olyan szerkezetek építésére is kiválóan alkalmazható, amelyeket más módszerekkel gazdaságosan nem lehet megvalósítani, például földalatti garázsok esetében.

A résalap nemcsak függőleges, hanem vízszintes terhelések elviselésére is képes, emellett nincs szükség talajvízszint-süllyesztésre, ami gyakran jelentős költségmegtakarítást eredményez. A mélysége szabadon igazítható a tervezési igényekhez, ráadásul zsálasra és dúcolásra sincs szükség. A kivitelezés zaj- és rázkódásmentesnek mondható, ami különösen előnyös városi környezetben.

Továbbá a résalap könnyen összekapcsolható a felszerkezettel, és próbaterhelés is végezhető rajta, amely lehetővé teszi a biztonságos és pontos tervezést. [1]

4.2 Kút és szekrényalapozás

A kútalap és a szekrényalap hasonló elvek mentén működnek, de különböző felhasználási területekkel rendelkeznek. A kútalap felépítésileg egy cölöp szerű szerkezet, alul felül nyitott kialakítású körfal, melynek nagy átmérője van. Kialakításakor a körfal belsejéből fokozatosan távolítják el a földet, és az önsúlya segítségével besüllyed a keletkezett üregbe. Alkalmazása a cölöpökhöz hasonló, különösen, ha a teherbíró réteg 4-8 méter mélyen található, például kőzet esetén. Ezzel szemben a szekrényalap az építmény – például egy hídpillér – alaprajzának megfelelő méretű és kialakítású, merevítő rekeszfalakkal ellátott szerkezet. Míg a kútalap pótszerűen támasztja alá az építményt, addig a szekrényalap teljes területén stabil támaszt nyújt, és akár 40-50 méter mélységig is leengedhető, ha a talaj jól kotorható. Azonban a szekrényalap környezetében rokadási tölcser alakulhat ki, amelyet a tervezés során figyelembe kell venni. [1]

4.2.1 Kút és szekrényalapozás csoportjai

Csoportosítás szempontjából négy nagy csoportba lehet besorolni :

- **önsúllyal és pótteherrel süllyesztett nyitott kutak és szekrények**
- **légnyomós módszerrel süllyesztett szekrények**
- **vékonyfalú kutak és szekrények**
- **úsztatott szekrények**

Anyaga szerint :

- **vasbeton**, az esetek nagyrésztében akár előregyártott elemekből
- **acél**, magas agresszivitású víz esetén [1][2]

4.2.2 Alkalmazási lehetőségek

Belföldi körülmények között ezekben az esetekben javasolt a **kút és nyitott szekrényalapozást alkalmazni:**

- ha a süllyesztés akadály mentesen elkészíthető és a teherbíró talajréteg 4-8 méter mélységben van, emellett olyannyira kemény, hogy cölöpalapozás nehezebben kivitelezhető
- nagymértékben vízáteresztő talajoknál, melynél a vízzárás nehezen biztosítható, de a talaj fellazításának veszélye nem áll fenn
- ha a víztelenítés a talaj fellazulásával járna, vízdús finomszemcsés talajoknál
- mélyebben lévő alapozásoknál, ahol a környező talaj roszakadása elkerülhető
- akkor ha a környező épületek védelmének megtartása a cél.

Légnyomásos szekrényalapozás alkalmazásai:

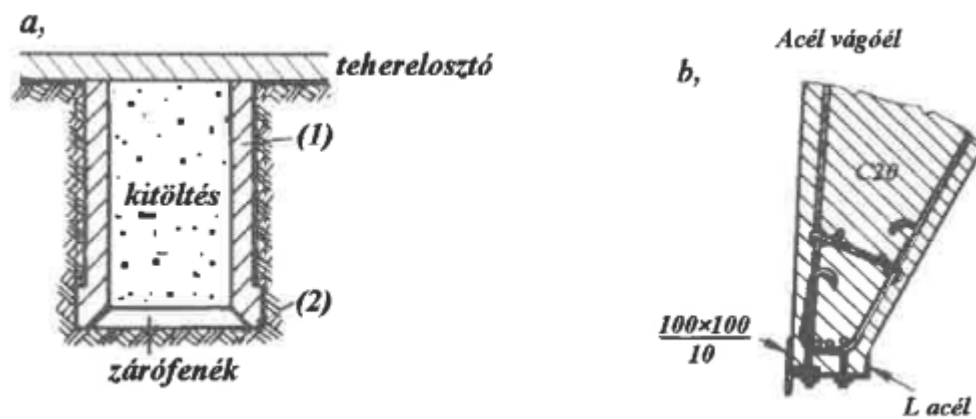
- már meglévő épületek közvetlen közelében, laza talajú területeken, ahol a légnyomás vízkiszorító hatása mellett a talaj megtámasztását is támogatja
- más alapozási technika nem kivitelezhető, kisebb alapterületű építmények, melynél jelentős alapozási mélység szükséges
- homok -és laza folyós iszapos talajok esetén
- ha ártézi nyomás jelentkezik [2]

4.2.3 Szerkezeti felépítésük és anyaguk

A hagyományos kutak és szekrények építése során számos anyag áll rendelkezésre, például fa, téglák, acél, monolit beton, vasbeton, valamint előregyártott beton vagy vasbeton. Azonban a fa- és téglaszerkezetek a jelentős munkaigényük miatt ma már ritkán használatosak. Az acélszerkezetek elsősorban speciális területeken, például tengeri kikötőkben, tengeröblöknél, pillérek, aknák és világítótornyok alapozásánál kerülnek alkalmazásra. A legelterjedtebb anyagok azonban a beton és a vasbeton, amelyek mind helyszíni, mind előregyártott formában hatékonyan használhatók.

A hagyományos kutak két fő részből állnak: a köpenyfalból és a vágóélből. A köpenyfal rendszerint C14 minőségű betonból készül, míg a vágóél a köpenyfal alsó, megerősített szakasza, amely az altalaj átvágására szolgál. Nagyobb mélységek vagy akadályok esetén célszerű acélból készíteni, míg közepes mélységnél C20-as beton is megfelelő lehet. A kisebb átmérőjű kutaknál teljes gyűrűs szerkezeteket alkalmaznak, amelyeket a

süllyesztés előrehaladtával toldanak újabb gyűrűkkel. A nagyobb átmérőjű kutaknál előregyártott elemeket használnak, amelyeket tüskékkel rögzítenek, vagy monolitikusan kötnek össze a környező szerkezettel. Az előregyártás lehetőséget ad az építési idő lerövidítésére, mivel az elemek előzetesen, az alapozási földmunkák alatt is elkészíthetők. Ezzel a módszerrel hatékonyan áthidalhatók az időjárás okozta nehézségek, miközben a helyszíni betonozás mennyisége minimálisra csökkenthető. A lesüllyesztés után a kutak zárófenekét többnyire víz alatti betonozással alakítják ki, míg a belső teret általában sovány betonnal töltik fel. Az ezekhez kapcsolódó teherelosztó szerkezeteket jellemzően vasbetonból készítik. [1][2]



8.ábra : Kútalap szerkezeti kialakítása [18]

A szekrényalap alaprajzi kialakítását elsősorban az építmény méretei és alakja befolyásolják, továbbá a rendelkezésre álló felszerelés és a kivitelezéshez szükséges technológia is meghatározó szerepet játszik. Ezek a tényezők együtt határozzák meg az alapozás megfelelő formáját és kialakítását. [1][2]

Alaprajzi szempontból 3 fő típusa van :

- **kör vagy szabályos sokszög alaprajz**, a köpeny felület és az alapterület viszonyára nézve ez a legoptimálisabb, mert ekkor a legnagyobb az alapterület és legkisebb a falfelület, amely teher átadás szempontjából a legmegfelelőbb.
- **négyszög alaprajz**, oldalainak aránya 1:1 és 1:3 arány között kell lennie (négyszögletű alaprajz)

- **kombinált alaprajz**, előző két variációnak az együttese, ott szokták használni, ahol az alaprajz kialakítása máshogy nem megoldható vagy már meglévő építményekhez kell csatlakoztatni. [2]

4.2.4 Kút és szekrényalapok tervezése

Tervezésnél és méretezésnél két állapotot vizsgálunk meg :

- **végleges** állapotot

- **építési** állapotot

A tervezés során mind a végleges állapotot (az alaptestet), mind az építési állapotot (azokat a szerkezeti elemeket, amelyekre a süllyesztés közben különböző erők hatnak) alaposan meg kell vizsgálni. A végleges állapot elemzésekor meghatározandó a süllyesztés mélysége (teherbíró rétegig), az alapsík elhelyezkedése, valamint az alaprajzi méretek. A süllyesztési folyamat során, az oldal súrlódás csökkentése érdekében (például gyöngykavics vagy bentonitos zagy alkalmazásával), a köpeny menti ellenállást nem szabad figyelembe venni. A kút kör alaprajzú, síkalapként kell méretezni, amelynek átmérője általában $D = 12 \text{ m}$. [1]

5. CÖLÖPALAPOZÁS

A mélyalapozásnak az egyik legegyszerűbb és legrégebből használt alapozási módszere. A cölöpök olyan közvetítő elemek, amelyek az alapra ható terhelést a teherbíró talajra továbbítják. Felépítését tekintve két részre tudjuk szétszedni : a cölöpök és azokat összefogó tömb, lemez, cölöprács. Magyarország földtani adottságai és rengeteg tapasztalat miatt alkalmazzak gyakran a cölöpalapozást. Síkalapozáshoz képest, kevesebb élőmunkát igényel, könnyedebben gépesíthető, de gazdaságilag valamennyivel költségesebb. [1][2]

Cölöpalapozás megfelelő választás ha:

- a megbízható teherbíró talajréteg mélyen van, de maximálisan 20 – 30 méternél nem mélyebben
- fent áll az alapsík alatt lévő talaj kiüregelődés, kimosás vagy elcsúszási veszélye
- alapozáshoz képest a talajvíz magasan van
- az épület nem megfelelő merevségű, süllyedésre érzékeny
- a talaj teherbírását javítja
- környező épületekre nézve más alapozási módszer káros lehet
- jelentős méretű -és súlyú építményeknél, melynek szerkezeti részei különböző módon terheltek. [1][2]

5.1 Cölöpalapok osztályozása

Különböző féle módon lehet a cölöpöket csoportosítani.

Igénybevétel módja szerint :

- nyomott,
- húzott,
- hajlított,

Teherátadás módja szerint :

- **támaszkodó vagy álló cölöp**, a csúcsukon keresztül adják át a talajnak a rá eső terheket, ha lehetséges ezeket alkalmazzák.
- **lebegő cölöp**, az összes húzott cölöp ide tartozik, ennél a köpenyfelület segítségével adja át a terheket a talajnak.
- **talajtömörítő cölöpök**, amik teherhordásra nem alkalmasak, viszont a talaj teherbírását és tömörségét javítják. Talajszilárdítási eljárásokhoz is szokták sorolni.

Anyaga szerint :

- **fa**, az egyik legrégebbi cölöpözés anyag, amit ma már csak kiegészítés jelleggel és ideiglenes alkalmaznak.
- **beton**, amit a helyszínen készítenek el.
- **vasbeton**, a cölöpöknek legelterjedtebb anyaga, ha szükséges feszített beton cölöpöket is alkalmaznak, készülhetnek helyben vagy előre gyártva.
- **acélcölöpök**, sokféle formában alkalmazzák, általában utólag szokták betonnal kitölteni.
- **kombinált**, sok változata létezik, melyek a fent említett anyagoknak az egyesítésével jön létre. [2]

Készítési módja szerint :

- **előregyártott**, ide tartozik minden fa, acél és vasbeton cölöp. Veréssel, vibrálással, csavarással, sajtolással lehet a cölöpöket a talajba juttatni. Az előregyártott (vert) cölöpök használata különösen előnyös abban az esetben, ha a felső talajrétegek laza szerkezetűek, kis verési ellenállással rendelkeznek, és a közbelső rétegek tömörítése jelentősen növeli a talaj teherbíró képességét. Ugyanakkor nem javasolt az ilyen típusú cölöpök alkalmazása puha, pelyhes szerkezetű agyagtalajban. [1][2]

- **helyben készülő**, melynél a lyukakat fúrással, veréssel, robbantással, vibrálással állítják elő és bebetonozzák. A helyben készített fúrt cölöpök alkalmazása különösen előnyös olyan esetekben, amikor a változó talajrétegződéshez a cölöpök hosszát rugalmasan kell igazítani. További előnyt jelent, ha a cölöpcsúcs átmérőjének növelésével vagy a beton érdes talajfelülethez történő döngölésével jelentős teherbírás érhető el. Ez a megoldás ideális akkor is, ha a nagy terhelések miatt nagyméretű átmérőre vagy hosszúságra van szükség, illetve amikor a cölöpveréssel járó rázkódások elkerülése elengedhetetlen. [2]

Technológia szerint :

- **talajhelyettesítési technológia**, ezeknél a cölöpöknél a talajt először kiemelik, és az így létrejövő üreget a cölöp anyagával töltik ki. A folyamat során a környező talaj minimálisan fellazulhat, ami a teherbírás enyhe csökkenését eredményezheti. Azonban előnyös, hogy a cölöp elhelyezésekor sem zaj-, sem rezgés nem éri a környezetet. [9]

- **talajkiszorításos technológia**, ennél a módszernél a cölöp végleges testét vagy egy alul zárt csövet közvetlenül a talajba hajtják. Ez a technológia tömöríti a környező talajt, ami a teherbírás javulásához vezethet. Ugyanakkor a lehajtási folyamat zajjal és rezgéssel járhat, ami zavaró hatást gyakorolhat a környezetre. [9]

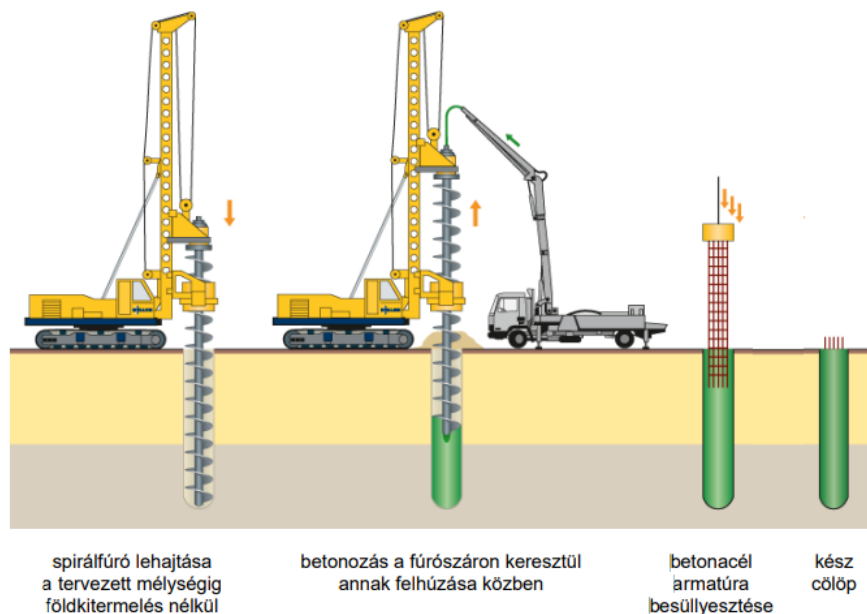
Méret szerint :

- **rövid cölöp**, 3 és 5 méter közötti hosszúságú cölöpök
- **mikró cölöp**, átmérőjük kisebb mint 25 centiméter
- **normál cölöp**, 25 centiméter és 50 centiméter az átmérőjük
- **nagy átmérőjű cölöp**, 50 centiméternél nagyobb átmérővel rendelkező cölöpök [1][2]

5.2 Talajhelyettesítési cölöpözési technológiák

5.2.1 CFA cölöpözés

A CFA-cölöpözés (Continuous Flight Auger) egy modern talajhelyettesítési technológia, amely gyors és hatékony megoldást kínál cölöpalapozásokhoz. A módszer lényege a folyamatos spirálfúró alkalmazása, amely nemcsak a furat elkészítését végzi, hanem betonozócsőként is funkcionál. A spirál lehajtása közben a furatot a bent maradó talajdugó támasztja meg, így nincs szükség külön furatfal-megtámasztásra. Miután a spirál eléri a kívánt mélységet, a furatot folyós betonnal töltik fel, amelyet nyomás alatt juttatnak a furatba a spirál üreges szárán keresztül. A spirál fokozatos visszahúzása során a beton feltölti a furatot, és biztosítja a cölöp megfelelő szerkezeti kialakítását. A vasalást utólag helyezik el a friss betonban, amelyet gyakran vibrálással süllyesztenek be. [9]



9.ábra : CFA technológia fő fázisai [19]

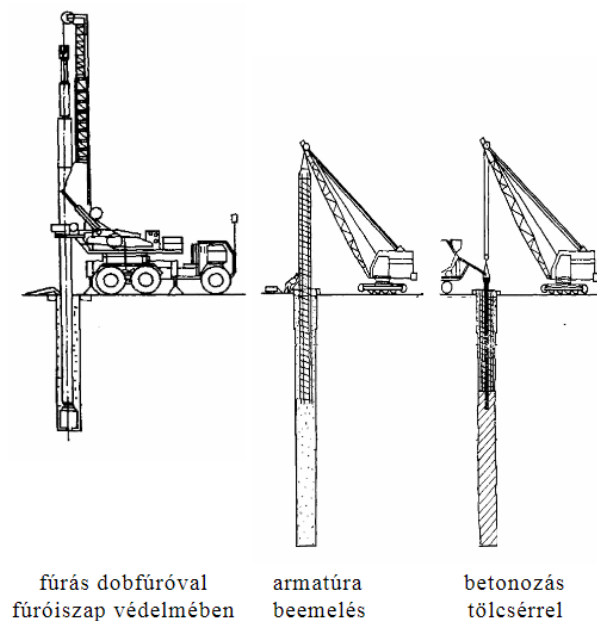
A CFA-cölöpök átmérője általában 40–100 cm között mozog, de különleges esetekben akár 120 cm is lehet. A cölöpök hossza jellemzően 10–15 m, de bizonyos körülmények között 22–24 m-re is növelhető. Ez a technológia szinte minden talajtípusban alkalmazható, de laza, víz alatti homokos talajoknál különös figyelmet kell fordítani a

fúrás sebességére és a talpkialakításra, hogy elkerüljük a talaj fellazulását és a teherbírás csökkenését. [9]

A CFA-cölöpözés legnagyobb előnye a gyors kivitelezhetőség. Egy átlagos munkanap alatt, megfelelő talajviszonyok mellett, akár 20 db 10–15 m hosszú és 80 cm átmérőjű cölöp is elkészíthető. A technológia minimális zaj- és rezgésterheléssel jár, ami különösen előnyös városi környezetben vagy érzékeny építési területeken. Ez a hatékonyság és sokoldalúság teszi a CFA-cölöpözést az egyik legelterjedtebb módszerre az építőiparban. [9][10]

5.2.2 Soil-Mec

A Soil-Mec cölöpözési technológia egy nagyátmérőjű (80–150 cm) cölöpök készítésére alkalmas módszer, amely a talaj típusától függően dob- vagy spirálfúrót használ a furat kialakításához. A furatfal stabilitását béléscsővel vagy bentonitsuszpenzióval biztosítják, míg a betont betonozó tölcseren keresztül juttatják a furatba, majd merülővibrátorral tömörítik. A vasalást általában a betonozás előtt helyezik el. A béléscsövek mozgatásához speciális eszközök szükségesek, amelyek lehetővé teszik a csövek pontos mozgatását szemcsés vagy kötött talajban. [10]



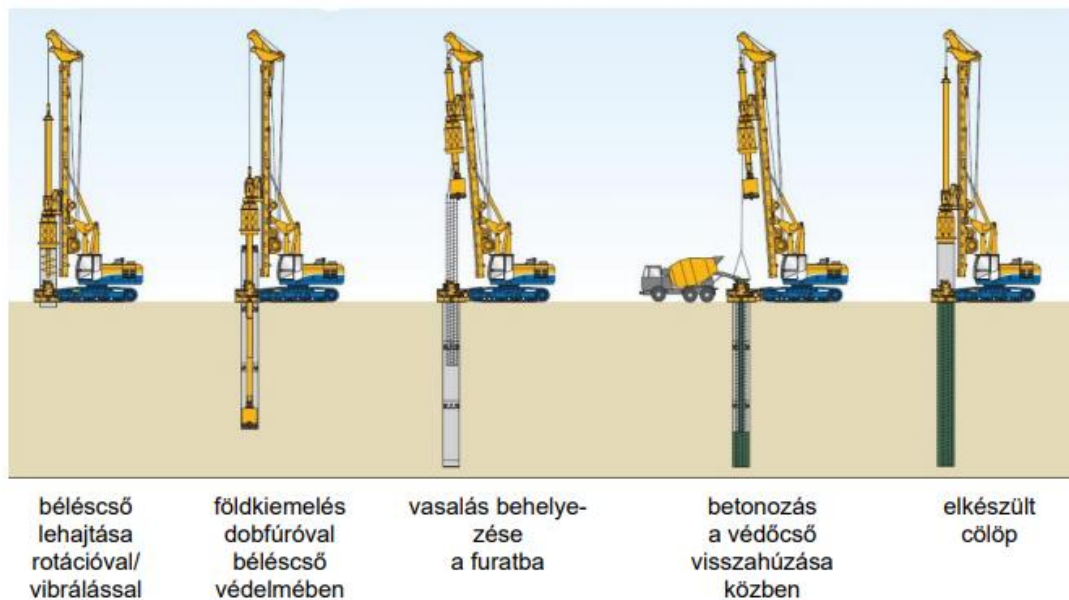
10.ábra : Soil-Mec cölöpözés [20]

A nagyátmérőjű Soil-Mec cölöpöket elsősorban hidak és más jelentős terhelést viselő építmények alapozására használják. Ezek a cölöpök akár 40 méteres mélységig is

leérhetnek, ami rendkívüli teherbírást, akár 30 MN-t is lehetővé tesz. Bár a technológia különböző fúróberendezésekkel is kivitelezhető, a Soil-Mec elnevezés Magyarországon elsősorban az itt használt berendezésekhez kapcsolódott. [10]

5.2.3 Béléscsőves fúrt, cölöp

A béléscső alkalmazásával a talajt szakaszosan távolítják el, amelyhez gyakran használnak dob- vagy spirálfúrót, esetenként markolót. Különösen szemcsés talaj esetében kulcsfontosságú, hogy a béléscső mindig megelőzze a talaj kiemelését, biztosítva ezzel a furat stabilitását. Ha a furat mélyítése során vízzel telített rétegbe érnek, az eltávolított vizet pótolni kell, hogy elkerüljék a talajvíz betörését, amely a furat alján a külső magasabb vízszint miatt destabilizálhatná a talajt. [10]



11.ábra : Béléscsőves fúrt, cölöp lépései [19]

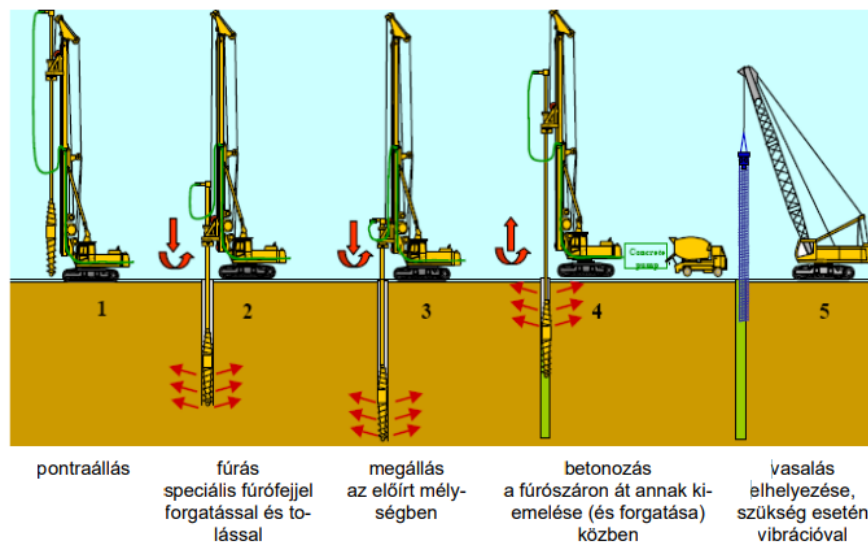
A cölöp betonozása a béléscső fokozatos visszahúzásával párhuzamosan történik, betonozó cső használatával. A furat falának megtámasztását a védőcső biztosítja egészen a betonozás befejezéséig, így ez a módszer még iszapos, magas víztartalmú talajok esetén is megbízhatóan alkalmazható. Ezt a technológiát kifejezetten olyan szélsőséges talajviszonyok mellett használják, ahol más megoldásokkal nem érhető el a szükséges mélység, átmérő és teherbírás. Maximális fúrási mélysége megközelítőleg 100 méter, azonban hazánkban jellemzően a 30-40 méteres mélység is elegendőnek

bizonyult. A cölöpök átmérője Magyarországon általában 80-150 cm között változik, de külföldön akár 300 cm-es átmérőjű cölöpök is készültek. [10]

5.3 Talajkiszorításos cölöpözési technológiák

5.3.2 Csavart helyben betonozott cölöp

A csavart, helyben betonozott cölöpök technológiája a talajtömörítés révén nagy fajlagos teherbírást biztosít, miközben minimalizálja a zaj- és rezgéshatásokat. A speciális fúrószár a talajt nem hozza a felszínre, hanem helyben szétolja és tömöríti, így elkerülhető a talajlazulás és talajkiemelés. A betonozás nyomás alatt történik a fúrószár fokozatos kiemelésében, az armatúrát pedig a betonozás után helyezik be. Bár a technológia nagyobb gépteljesítményt igényel, a tömörített talaj révén kisebb cölöpméretek is elegendőek lehetnek. További előny, hogy a felszínre csak minimális talajanyag kerül, ami egyszerűsíti az elszállítását és csökkenti a hulladékkezelési költségeket. [8]



12.ábra : csavart cölöpözés munkafázisai [19]

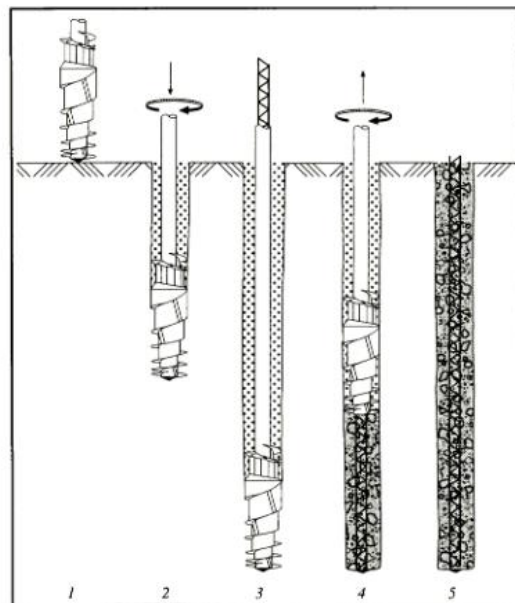
5.3.3 Omega cölöp

A fűrt, talajkiszorításos cölöpök technológiáját a modern, nagy teljesítményű fúrógépek fejlesztése tette lehetővé. Ezek a gépek képesek dinamikus hatás nélkül, speciális fúrófejekkel különböző tömörségű és keménységű talajokat a cölöp környezetébe préselni. [9]

Az Omega cölöp készítésének főbb lépései:

- 1.-2.-3.: A cölöp lefúrása a tervezett mélységig, a fúrószár és a fúrófej forgatásával, a gép súlyának kihasználásával.
4. Az Omega fúrófej azonos irányú forgatása mellett a fúrószár fokozatos kiemelése és a furat nyomás alatti betonozása.
5. A cölöpparmatúra behelyezése és vibrálása a friss betonba.

Az Omega fúrófej különlegessége, hogy két, ellentétes irányban futó spirált tartalmaz. Lefelé fúrásakor az alsó spirál tömöríti és szétfeszíti a talajt, a fej felső harmadánál elérve a maximális cölöppátmérőt. Felfelé húzáskor a felső spirál segíti a cölöp falának megtámasztását, miközben a furatot nyomás alatt betonnal töltik fel. Ez a megoldás a furat falának folyamatos stabilitását biztosítja, minimalizálva a talajmozgást és a falomlást. [11]



13.ábra : Omega cölöp munkafázisai [21]

6. FELADAT BEMUTATÁSA

6.1 Feladat

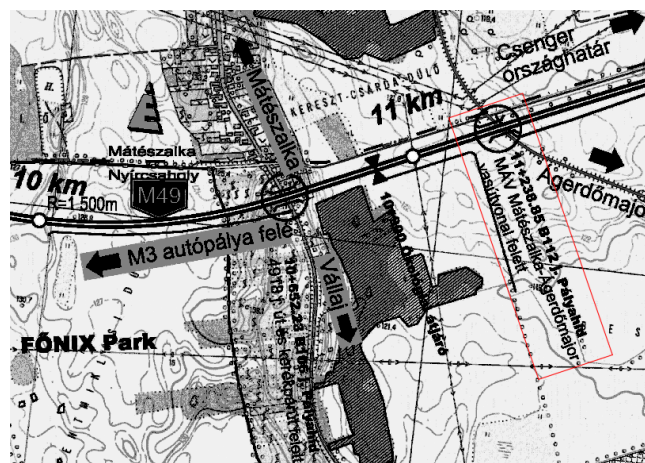
A feladat a hídpillér cölöpalapozásának megtervezése, amely magába foglalja a talajmechanikai adatok részletes kiértékelését és az alapján történő tervezést. A tervezési folyamat során cölöp teherbírást EC és DIN szabvány előírásai szerint fogom meghatározni a „D” és „C” támasznál. Ezt követően az egyedi, illetve cölöpcsoportsüllyedését fogom vizsgálni. Utolsó lépésként a cölöpök vasalását határozom meg.

Tervezett műtárgy ismertetése :

„A tervezett műtárgy 3 nyílású, a felszerkezet hossza 62,83 m, a támaszközök mérete 13,80 - 23,80 - 22,80 m. A műtárgy pályaszintje a keresztezés tengelyében 129,93 m. A cölöpösszefogó gerenda szintje az „A” támasznál 126,82 m, a „B” támasznál 117,50 m, a „C” támasznál 118,50 m, a „D” támasznál 126,20.” [12]

6.2 Helyszíni viszonyok

A B112.j. Pályahíd a Szabolcs-Szatmár-Bereg megye M49 gyorsforgalmi út 11+238.85 km szelvényében található, ahol a műtárgy áthalad a Mátészalka-Ágerdömajor (115. számú) vasútvonal és egy földút felett. A helyszín az M3 autópálya és Ökörítőfülpös közötti szakasz része. [12]



14. ábra : Helyszínrajz B112.j, pályahíd

6.3 Geotechnikai kategóriába sorolás

A tervezési feladat geotechnikai kategóriába sorolása az MMK Geotechnikai Tagozatának 2015 júniusában kiadott útmutatója alapján történt, amely az új EC7 szabványon alapuló geotechnikai dokumentációk tartalmi követelményeit, valamint a mérnöki és vizsgálati ráfordítások tervfázisonkénti összeállítását ismerteti egy pontozásos rendszer segítségével. A következő táblázatban látszódik, hogy mennyi az összpontszáma és utána az abból eredő besorolás. [12]

Szempont		Referencia érték			Pont
Geotechnikai adottságok	terephajlás	<10% 0 pont	10-25% 1 pont	>25% 3 pont	0
	rétegződés változékonysága	homogén 0 pont	változékonny 2 pont	erősen változó 5 pont	2
	altalaj mechanikai tulajdonsága	jó 0 pont	átlagos 2 pont	gyenge 5 pont	2
	talaj- és réteg víz viszonyok	> 5m 0 pont	2-5 m 1 pont	<2 m 3pont	3
	mocsaras és bel- vagy árvízveszélyes terület 0 vagy 5 pont				0
	létesítményt befolyásoló vastagságban feltöltött terület, visszatöltött bányaterület 0 vagy 5 pont				0
Létesítmény adottságok	szerkezeti hossz	<15 m 0 pont	15 - 40 m 2 pont	>40 m 5 pont	5
	támaszköz	<20 m 0 pont	20 - 40 m 2 pont	>40 m 8 pont	2
	munkagödör mélység	<2 m 0 pont	2 – 5 m 1 pont	>5 m 3 pont	1
	magas kapcsolódó töltés, elhúzódnó konszolidáció 0 vagy 5 pont				0
	Összpontszám				15

15.ábra : Pontszámítás bemutatása [22]

1. Geotechnikai kategória	0-4 pont
2. Geotechnikai kategória	4–20 pont
3. Geotechnikai kategória	21 ponttól

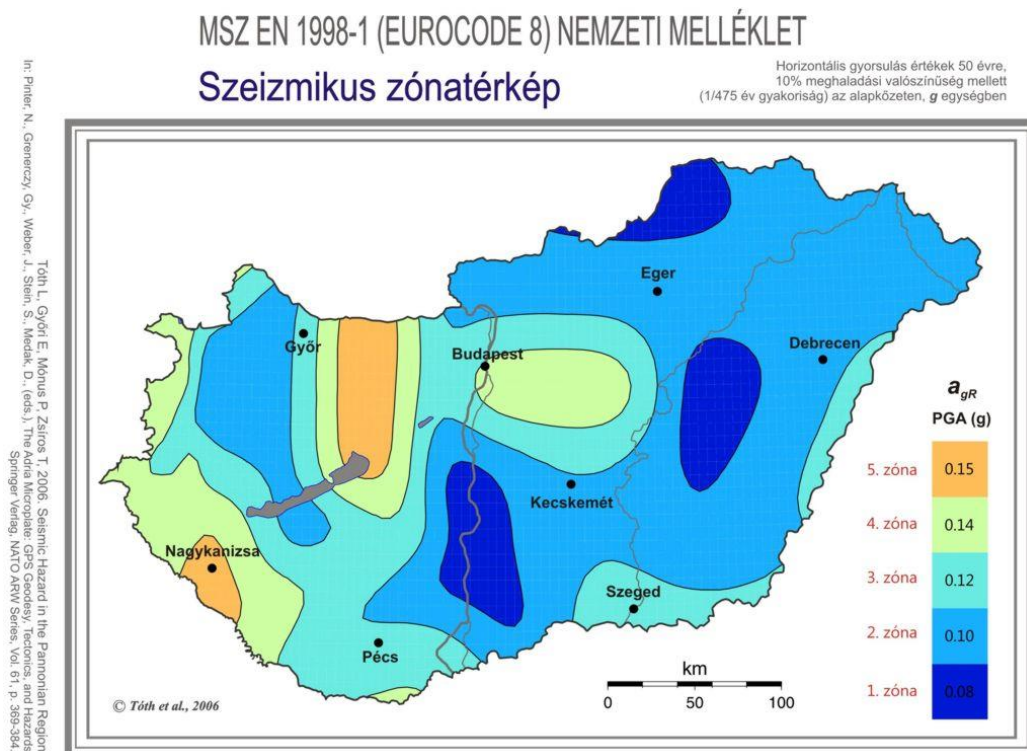
16. ábra : Geotechnikai kategória [22]

Pontszámításos besorolás alapján az össz pontszám 15-re adódott, ami alapján, a **2.geotechnikai kategóriába** soroljuk.

6.4 Geotechnikai információk ismertetése

6.4.1 Földrengési kategóriába sorolás

Földrengésre történő tervezés során szükséges az építési terület, az altalaj és az építmény megfelelő besorolásának vizsgálata. A vizsgált terület a szeizmikus zónatérkép alapján a 2. zónába tartozik (MSZ EN 1998-1:2008: Eurocode 8, NA1 ábra és NB1. táblázat). Ennek megfelelően az alapkőzeten figyelembe veendő horizontális gyorsulási érték 50 éves visszatérési időre, 10%-os meghaladási valószínűséggel $a_g = 0,10 \text{ g}$. [12]



17. ábra : Szeizmikus zónatérkép [22]

A vizsgált területen található talajrétegek a szeizmikus hatások figyelembevételével az MSZ EN 1998-1:2008 (Eurocode 8) 3.1. táblázata alapján a "C" altalajosztályba sorolhatók, ahogy azt a 3. táblázat is bemutatja. [12]

Talaj típus	A rétegszelvény leírása	Paraméterek		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (ütés/30cm)	C_u (kPa)
A	Szilárd kőzet vagy kőzetszerűen viselkedő geológiai képződmény, amely felett legfeljebb 5 m gyengébb fedőréteg van	> 800	-	-
B	Nagyon tömör homok-, kavics- vagy kemény agyagrétegek legalább több tíz m vastagságban, a mechanikai jellemzők a mélységgel fokozatosan növekednek	360-800	> 50	> 250
C	Tömör vagy közepesen tömör homok-, kavics- vagy merev agyagrétegek több tíz vagy akár több száz m vastagságban	180-360	15-50	70-250
D	Laza vagy közepesen tömör, kohézió nélküli talaj (némi puha kötött réteggel vagy anélkül), vagy túlnyomóan puha-gyúrható kötött talaj	< 180	< 15	< 70
E	Felszíni üledékréteg, amely a v_s érték szerint C vagy D osztályú, 5 és 20 m közötti vastagságú, alatta 800 m/s-nál nagyobb nyíróhullám-sebességű, merevebb anyag			
S1	Puha agyagból/iszapból álló vagy legalább egy 10 m vastag agyagot/iszapot tartalmazó, nagy plaszticitású ($Pl > 40$) és nagy víztartalmú rétegek	< 100	-	10-20
S2	Folyósodásra hajlamos talajok, érzékeny agyagok vagy más olyan talajrétegek, amelyek nem sorolhatóak az A-E vagy S1 osztályba			

18. ábra : MSZ EN 1998-1:2008: Eurocode 8, 3.1. táblázat) [22]

6.4.2 Földtani fedettség, geológia

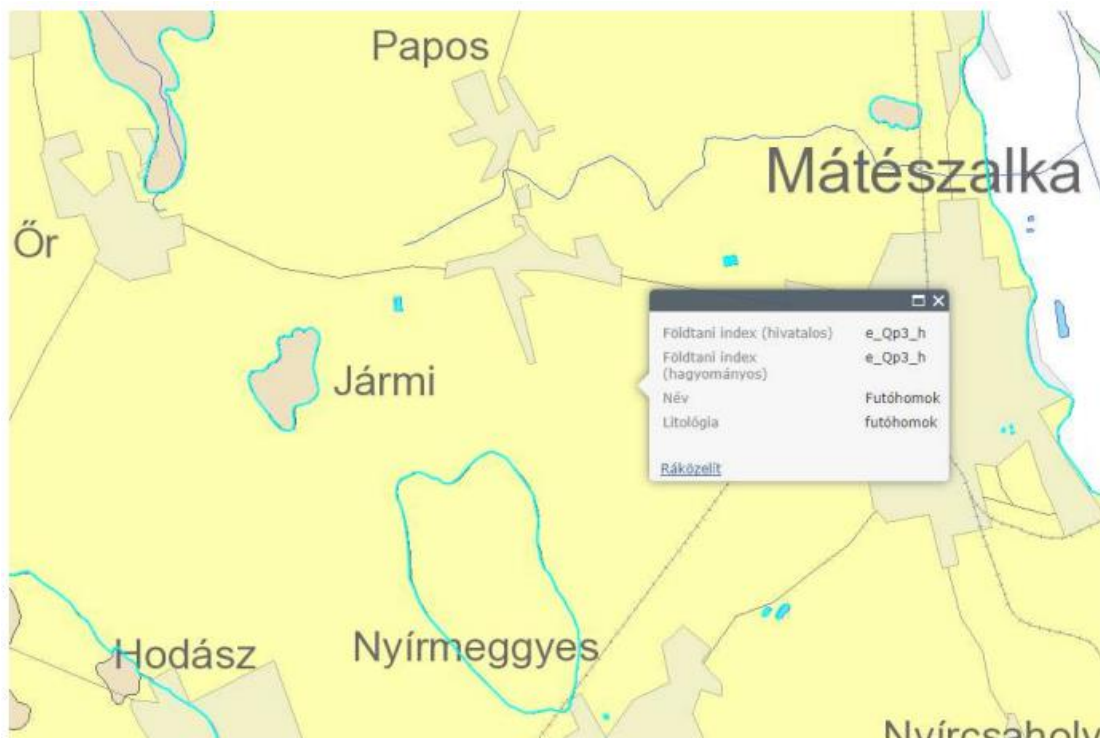
Domborzat

A pályahíd Északkelet-Nyírség Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében helyezkedik el, és mintegy 950 km²-es területet foglal magába. Ez a nagytáj 1,9%-át teszi ki. A kistáj egy szélhordta homokkal borított hordalékkúpsíkság, amelynek tengerszint feletti

magassága 99,9 és 173 méter között változik. A felszín enyhén észak és északkelet felé lejt, az átlagos lejtésszög 3% alatt marad, bár a déli és az északkeleti részekén magasabb, 3–5% közötti értékek is megfigyelhetők. A terület domborzata Északon alacsony hullámos síkságnak, délen pedig közepes magasságú tagolt síkságnak tekinthető. Az északi részen jelentős eolikus formák, például hosszanti és parabola alakú buckák fordulnak elő, melyek magassága elérheti a 15–20 métert is. A homok többsége kötött, így a defláció veszélye alacsony. [12]

Földtan

A térség földtani szerkezete rendkívül változatos. Az alaphegységet főként triász-jura képződmények és középső-miocén vulkanikus rétegek alkotják, melyeket a felszínen felső-pleisztocén kori futóhomok fed. Az északi területeken ez a homokréteg átlagosan 8–10 méter vastag, és a késő-glaciális időszakban kisebb mértékben rendeződött át. A Nyírség nyugati részén öntésképződmények és kotu találhatók, amelyekhez tőzeg- és lápföld-lerakódások kapcsolódnak. Az alacsonyabb területeken foltszerűen lösziszap, valamint holocén kori barnaföldek alakultak ki. A “Magyarország földtani térképe” alapján a terület geológiai adottságait a 3. ábra szemlélteti. A műtárgy környezetében a felszínt jellemzően felső-pleisztocén kori **futóhomok (eQp3-h)** borítja. [12]



19.ábra : Terület geológiai adottságai [22]

6.4.3 Geotechnikai feltárások adatai

A területen összesen kettő darab fúrás készült és ehhez 1-1 CPT statikus szonda. A feltérési pontokat az EOY koordináta-rendszerben és az mEOMA magassági rendszerben határozták meg. A feltérások a jelenlegi terepszinttől indulva kerültek kialakításra.. A tervezésemhez a CPT1128/1 j. szondát alkalmazom a C – D támasznál, a cölöpök megtervezéséhez. [12]

Feltérás jele	Feltérás típusa	EOY Y koordináta	EOY X koordináta	Terepszint [mEOMA]	Feltérás mélysége [m]	Dátum
F1119/2 j. fúrás	Fúrás	895085	292332	120,3	25,0	2019.07.25
CPT1119/2 j. szonda	CPT	895085	292332	120,3	25,0	2019.09.10
F1118/1 j. fúrás	Fúrás	895175	292334	120,7	25,0	2019.07.25
CPT1128 j. szonda	CPT	895175	292334	120,7	25,0	2019.09.10

20. ábra : Meglévő fúrások és CPT-k [22]

A geotechnikai fúrásokat az *MSZ EN ISO 22475-1: Geotechnikai vizsgálatok – Mintavételi módszerek és talajvízmérések, 1. rész: Műszaki elvek* című szabvány előírásainak megfelelően végezzük el. Az erre alkalmas rétegekből zavart és szakaszosan zavartalan mintákat vettek, amelyeken előzetesen kijelölt és meghatározott laboratóriumi vizsgálatokat hajtottak végre.

A CPT szondázás egy közvetett talajfeltérési eljárás, amely során egy kúpos szondacsúcsot állandó behatolási sebességgel sajtolnak a talajba hidraulikus rendszer és nyomórudazatok segítségével. A talajba történő behatolás során folyamatosan mérik és rögzítik a csúcsellenállás (qc), a teljes behatolási ellenállás, a köpenysúrlódás (fs), a pórúsvíznyomás (u) értékeit, valamint a szondacsúcs eltérését a függőleges iránytól.

A statikus (CPTu) szondázás célja, hogy a talajrétegek fizikai paramétereit, különösen az összenyomódási modulus értékeit, azok eredeti "termett" állapotában meghatározza, valamint cölöpalapozások tervezéséhez is információt nyújtson. Az eredmények alapján megállapítható a talajrétegződés, a talajrétegek megfolyósodási hajlama és számos

talajfizikai jellemző, továbbá az egyes talajrétegek is azonosíthatók. A vizsgálatok során a pórusvíznyomás értékeit is meghatározható. [12]

6.4.4 Talajvíz adatok

Talajvíz adatokat a Geo-Terra kft. szolgáltatotta, melynél kiderül, hogy a becsült maximális talaj vízszint 117,8 m absz. szintre adták meg. Mértékadó talajvíz szintet pedig 0,5 méterrel magasabban, 118,3 m absz. szintre. A talajvízből vett kémiai vizsgálatok eredménye alapján a talajvíz és a talaj az MSZ 4798:2016 szerint kémiai korrózió szempontjából **XA1** kitéti osztályba tartozik. [12]

6.4.5 Geotechnikai információk kiértékelése

Az F1128/1 jelű fúrásban (120,7 m absz.) feltárt rétegződését a következő táblázat foglalja össze :

0,0 – 7,3 m	sárga/szürke iszapos HOMOK
7,3 – 11,4 m	sötétbarna, merev, meszes közepes AGYAG
11,4 – 14,0 m	szürke, meszes, kemény sovány AGYAG
14,0 – 15,3 m	kékesszürke közepes AGYAG
15,3 – 25,0 m	szürke HOMOK

21. ábra : F1128/1 jelű fúrás kiértékelése [22]

Konkrét tervezési fázisban a CPT statikus szondázást vettem alapul a tervezéshez, melyhez a fúrásnál feltárt talaj rétegződések segítettek az adott rétegek pontosabb megismerést.

Feltárások elvárt mennyisége és mélysége

A műtárgy tervezéséhez szükséges talajfeltárások mennyiségét az *e-UT 07.01.11 Közúti hidak tervezése (KHT)* utügyi műszaki előírás 6. oldalán található 1. táblázat útmutatásai szerint kell meghatározni. Cölöpalapozás esetén a feltárások mélysége a feltételezett cölöptalpsík alatt legalább $5 \cdot D$ (ahol D a cölöp átmérője) legyen. [12]

Híd szerkezeti hossza L, m	Nyílásméret T (támaszköz), m	Feltárási mennyiség	
		engedélyezési tervhez	kiviteli tervhez
$L < 4 \text{ m}$		1 db fúrás	
$4 \text{ m} < L < 15 \text{ m}$		1 db fúrás + 1 db CPTu	
$15 \text{ m} < L < 40 \text{ m}$	$T < 40 \text{ m}$	1 db fúrás + 1 db CPTu	2 db fúrás + 2 db CPTu
$40 \text{ m} < L$	$T < 40 \text{ m}$	80 méterenként 1-1 db fúrás és CPTu	40 méterenként 1-1 db fúrás és CPTu
	$40 \text{ m} < T$	minden második támasznál 1-1 db fúrás és CPTu	minden támasznál 1-1 db fúrás és CPTu

22. ábra : szükséges talajfeltárások mennyisége [22]

6.5 Lehetséges cölöpözési technológiák

A hídpálya cölöpalapozásához a felszerkezet jellegéből és a talajfeltárások elemzése alapján két, talaj helyettesítéssel készülő cölöpözési technológiát tartok megfelelőnek. A meghatározott mértékadó talajvízszint magasan helyezkedik el, és a helyszínen kötött, valamint szemcsés talajrétegek találhatók, ezért ezek figyelembevételével választottam ki a technológiákat.

Béléscsőves fúrt cölöp : Ez a technológia ideális választás lehet a mértékadó talajvízszint magas elhelyezkedése és a kötött, szemcsés talajrétegek miatt, mivel a béléscső alkalmazása stabil furatot biztosít, még vízzel telített vagy iszapos talajok esetén is. A módszer lehetővé teszi a szükséges mélység és teherbírás elérését szélsőséges talajviszonyok mellett is, miközben a betonozás során a furat megtámasztása folyamatosan garantált. [10]

CFA cölöp : A CFA-cölöpözés egy gyors és hatékony technológia, amely a folyamatos spirálfúró alkalmazásával biztosítja a furat elkészítését és betonozását. A módszer minimális zaj- és rezgésterheléssel jár, így különösen előnyös városi környezetben vagy érzékeny területeken. A furat stabilizálását a bent maradó talajdugó biztosítja, míg a betonozás nyomás alatt történik, a spirál fokozatos visszahúzása mellett. A CFA-

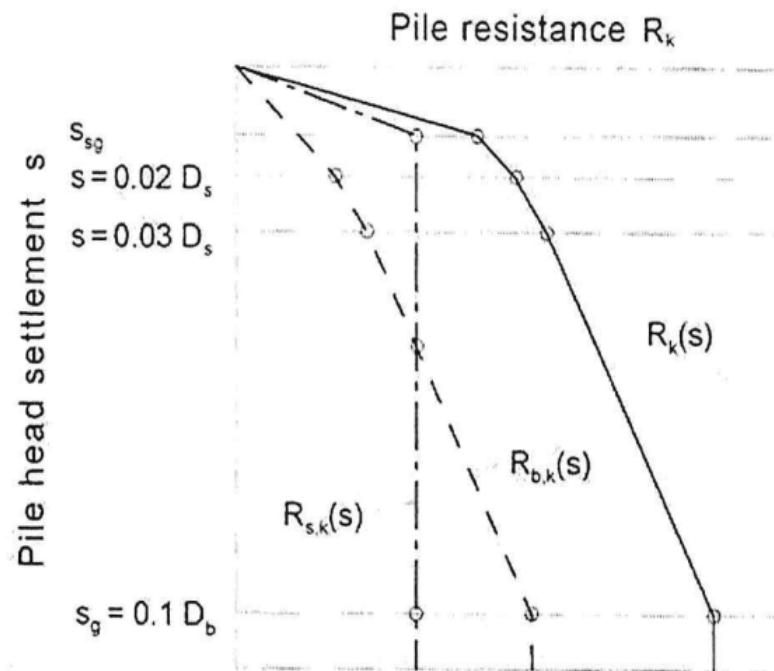
cölöpözés gyors kivitelezhetősége és sokoldalúsága miatt az építőipar egyik legelterjedtebb módszere. [9][10]

6.6 Választott technológia

Tervezésnél mindkettő technológiával elkezdtem számolni, mert mindkettőt megfelelő választásnak találtam a kiértékelt körülményekhez képest. A választott technológiám végül a CFA cölöpre esett, kiderült, hogy a béléscsöves fúrt cölöp tervezésnél szigorúbb redukciós tényezőket kell alkalmazni, ezáltal a tervezett cölöpcsúcsot jóval mélyebbre kell vinni mint a CFA technológiánál.

7. SZÁMÍTÁS

Számításaimat Excelben illetve Matchedben végeztem el, és GEO5 programmal ellenőriztem, hogy a kézi számításaim mennyire korrelálnak egy gépi számításhoz képest. Kézi számításaimnál első lépésben az egyedi cölöp teherbírását határoztam meg a hídpálya C és D támaszainál, különböző cölöpátmérő és hosszúságú próbálkozással, hogy megkapjam a legideálisabb cölöpöket. Egyedi cölöp tervezésnél ismerni kell, hogy összesen az adott támasznál hány db cölöp közvetíti a terheket a talajba. Esetemben a C támasznál 20 db cölöp, a D támasznál pedig 10 db, melyeknek kiosztása a szabvány alapján történt : cölöpök közötti tengelytávolság 3 és 5 D között és figyelembe kell venni a betontakarást. Magyar Mérnöki Kamara által kiadott alapozások és földmegtámasztó szerkezetek tervezése az MSZ EN 1997 szerint és Dr. Szepesházi Róbert által kiadott cölöpalapok CPT-alapú méretezése az Eurocode 7 követelményei szerint készítettem el a számolásaimat. Ez a cikk külön javaslatot tesz szemcsés-, illetve kötött talajba kerülő cölöpcsúcs esetén. Következő lépésben a DIN 1054:2005 szabvány alapján is meghatároztam a cölöpteherbírását amihez C. Vrettos : Current design practice for axially loaded piles and piled rafts in Germany című cikket alkalmaztam. Palást-, illetve csúcsellenállás meghatározásánál lineáris interpoláción keresztül határozható meg az egyes süllyedési értékekhez tartozó értéket, melyhez táblázatok által rendelkezésemre. Az egyes számított süllyedési értékeknél meghatározható a jellemző teherbírási értékek, mely 23.ábrán is látszódik.



23.ábra : A jellemző teherbírás és a süllyedési görbék elemei fűrt cölöpökre
vonatkozóan a DIN 1054:2005 szabvány szerint [23]

Ezt követően a GEO5 programmal is megvizsgáltam a cölöpteherbírást. Kézi számításban kapott és program által számított eredményeket összehasonlítottam, hogy megnézzem mennyire hasonlóak az egyes számítási módszerek. Következő lépésben az egyedi cölöpsüllyedést határoztam meg Hooke-törvény alapján, előállítottam a „hiperbolikus” süllyedés görbét. A határsüllyedést s_H értékét a konzulensem kutatása alapján matematikai alapon vettem fel, melynek értéke 0,001 mm. Ahhoz, hogy teljes cölöpsüllyedést megtudjam, megkellett határozzam a cölöpcsoport süllyedését, melyet a Kany féle módszerrel készítettem el, első lépésben a hatékony feszültséget számoltam ki talajrétegenként és annak a 0,2 – szeresét használtam, hogy megtudjam határozni ezek alapján, hogy hol van a két számítás metszés pontja. Utolsó lépésben a cölöpök vasalását határoztam meg szabvány alapján.[13][14][15][24]

7.1. D támasznál Eurocode szerinti cölöpteherbírás meghatározása

Híd általános adatai:

Keresztezési szög :	60°			
Szerkezeti hossz :	$L := 62.83 \text{ m}$			
	$n_{támasz} := 4$			
Támaszok száma :				
Támasz jele :	A	B	C	D
Fesztáv :	$L_1 := 14.2 \text{ m}$	$L_2 := 24.5 \text{ m}$	$L_3 := 23.2 \text{ m}$	
Tartó hossz :	$T_1 := 13.8 \text{ m}$	$T_2 := 23.8 \text{ m}$	$T_3 := 22.8 \text{ m}$	
Tartók darabszáma :	$n_{tartó} := 4$			
Pályalemez szélessége :	$b_{pl} := 21.42 \text{ m}$			
Kocsipálya szélessége :	$b_{kp} := 18 \text{ m}$			

1. D támasznál készült B1128/1 jelű szonda alapján tervezés

Tervezési technológia :	CFA
Terepszint :	120.8 mBf
CPT szonda teteje :	120.7 mBf
Cölöpcsúcs teteje :	126.2 mBf
Cölöpcsúcs alja :	104.3 mBf
Cölöpcsúcs fsz alatt :	16.5 m
Cölöpcsúcs fsz felett :	5.4 m
Teljes cölöphossz :	$l := 21.90 \text{ m}$
Cölöpátmérő :	$D := 0.8 \text{ m}$
Számításomban a töltésben lévő cölöphosszal nem számolok a biztonság javára.	
Számításomhoz az MSZ EN 1997 előírásait követtem.	

Talpellénállás meghatározása :

A megválasztott cölöpgeometria esetén a cölöptalp homokos rétegben terhel, melynek talpellénállását a következő képlettel számoljuk:

ahol :	$q_b = \lambda_b \cdot \alpha_b \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right)$
- $\lambda_b := 0.6$	- redukciós tényező
- $\alpha_b := 0.7$	- technológia szorzó
- $q_{cI} := 22.35 \text{ MPa}$	- cölöpcsúcs alatti $0.7 \cdot D - 4 \cdot D$ mélységtartomány átlagos szondaellénállása (excel alapján)
- $q_{cII} := 11.45 \text{ MPa}$	- cölöpcsúcs alatti $0.7 \cdot D - 4 \cdot D$ mélységtartomány legkisebb q_c értékeinek súlyozott átlaga (excel alapján)
- $q_{cIII} := 1.70 \text{ MPa}$	- cölöpcsúcs feletti $8 \cdot D$ mélység q_c értékeinek súlyozott átlaga (maximum 2,0 MPa) (excel alapján)

Excel alapján számított értékekből és a redukciós illetve technológia szorzóval kapott
Fajlagos talpellenállás:

$$q_{b;cal} := \lambda_b \cdot \alpha_b \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{q_{cII} + q_{cI}}{2} + q_{cIII} \right) = 3906 \text{ kPa}$$

Fajlagos palástellenállás :

A fajlagos palástellenállást talajrétegenként kell számolni ,
 szemcsés talaj esetén $q_s = \alpha_{sg} \cdot \sqrt{q_c}$ képlettel kell számolni,
 illetve kötött talaj esetén $q_s = \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot \sqrt{q_c}$

ahol:

- $\alpha_{sg} := 0.55$ - szemcsés talajok esetén technológia szorzó (CFA)
- $\mu_{sg} := 1$ - kötött talaj esetén a technológiai szorzó (CFA)
- q_c - CPT rétegenkénti átlag csúcsellenállása

1. talajréteg HOMOK 0-7.3 m

$$q_{c1} := 10.64 \text{ MPa} = 10640 \text{ kPa}$$

$$h_{i;1} := 7.3 \text{ m} \quad q_{s;c1} := \alpha_{sg} \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c1}}{kPa}} = 56.733 \text{ kPa}$$

2. talajréteg közepes AGYAG 7.3-10.7 m

$$q_{c2} := 1.45 \text{ MPa} = 1450 \text{ kPa}$$

$$h_{i;2} := 3.4 \text{ m} \quad q_{s;c2} := \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c2}}{kPa}} = 45.695 \text{ kPa}$$

3. talajréteg sovány AGYAG 10.7-14.2 m

$$q_{c3} := 1.88 \text{ MPa} = 1880 \text{ kPa}$$

$$h_{i;3} := 3.5 \text{ m} \quad q_{s;c3} := \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c3}}{kPa}} = 52.031 \text{ kPa}$$

4. talajréteg közepes AGYAG 14.2-16.2 m

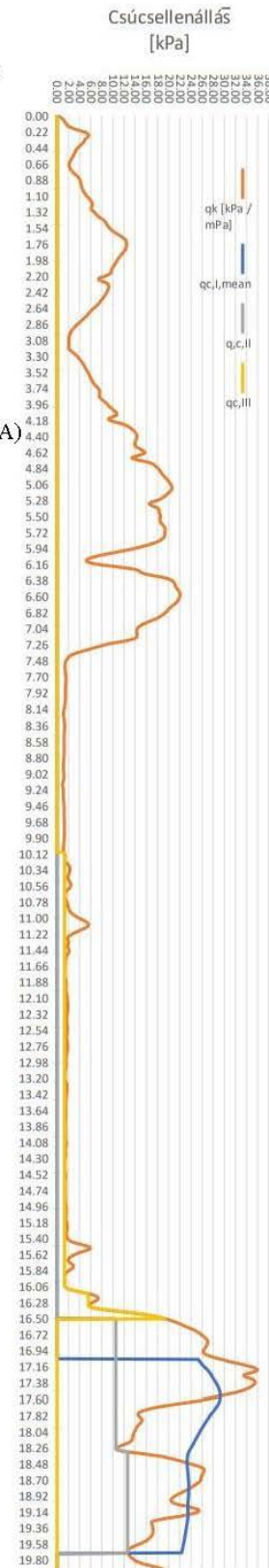
$$q_{c4} := 2.1 \text{ MPa} = 2100 \text{ kPa}$$

$$h_{i;4} := 2 \text{ m} \quad q_{s;c4} := \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c4}}{kPa}} = 54.991 \text{ kPa}$$

5. talajréteg HOMOK 16.2-16.5 m

$$q_{c5} := 10.54 \text{ MPa} = 10540 \text{ kPa}$$

$$h_{i;5} := 0.3 \text{ m} \quad q_{s;c5} := \alpha_{sg} \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c5}}{kPa}} = 56.465 \text{ kPa}$$



Palástellenálásból származó teherbírási:

$$k := D \cdot \pi = 2.513 \text{ m} \quad \text{-80 cm átmérőjű cölöp palást kerülete}$$

$$A_b := \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = 0.503 \text{ m}^2 \quad \text{-a cölöptalp keresztmetszeti területe}$$

$$R_{s;cal} := k \cdot (q_{s;c1} \cdot h_{i;1} + q_{s;c2} \cdot h_{i;2} + q_{s;c3} \cdot h_{i;3} + q_{s;c4} \cdot h_{i;4} + q_{s;c5} \cdot h_{i;5}) = 2208.011 \text{ kN}$$

$$\text{Csúcsellenállásból származó teherbírási :} \quad R_{b;cal} := A_b \cdot q_{b;cal} = 1963.37 \text{ kN}$$

A későbbiekben még alátámasztom, de szükséges a csúcsellenállás csökkentése, mert a talajvíz alatti finom szemcsés talajoknál alacsonyabb a talpellenállás értéke, ezért bevezettem egy 0.8-as reduktív tényezőt.

$$R_{b;cal0.8} := A_b \cdot q_{b;cal} \cdot 0.8 = 1570.696 \text{ kN}$$

A cölöpök nyomási ellenállásának az értéke, a talpellenállás és a rétegenkénti palástellenállás összegéből:

$$R_{c;cal} := R_{b;cal} + R_{s;cal} = 4171.381 \text{ kN} \quad \text{(eredeti)}$$

$$R_{c;cal0.8} := R_{b;cal0.8} + R_{s;cal} = 3778.707 \text{ kN} \quad \text{(lecsökkentett)}$$

Karakterisztikus teherbírást a következő képlet alapján számítjuk :

$$R_{c;k} = \min \left(\frac{R_{c;mean}}{\zeta_{mean}}, \frac{R_{c;min}}{\zeta_{min}} \right)$$

ahol:

- $R_{c;mean}$ -átlagos nyomási ellenállás
- $R_{c;min}$ -legkisebb nyomási ellenállás
- $\zeta_{mean}, \zeta_{min}$ -MSZ EN A10. táblázata alapján az átlaghoz és minimumhoz tartozó korrelációs érték

Mivel egy CPT szondát veszek figyelembe ezért a maximum és minimum értékek megegyeznek $\zeta_{mean} := 1.4, \zeta_{min} := 1.4$

$$R_{c;mean} := \min \left(\frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\zeta_{mean}}, \frac{R_{b;cal}}{\zeta_{mean}} + \frac{R_{s;cal}}{\zeta_{mean}} \right) = 2979.558 \text{ kN}$$

$$R_{c;mean0.8} := \min \left(\frac{R_{b;cal0.8} + R_{s;cal}}{\zeta_{mean}}, \frac{R_{b;cal0.8}}{\zeta_{mean}} + \frac{R_{s;cal}}{\zeta_{mean}} \right) = 2699.076 \text{ kN}$$

$$R_{c;min} := \frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\zeta_{min}} = 2979.558 \text{ kN}$$

$$R_{c;min0.8} := \frac{R_{b;cal0.8} + R_{s;cal}}{\zeta_{min}} = 2699.076 \text{ kN}$$

$$R_{c;k} := \min(R_{c;min}, R_{c;mean}) = 2979.558 \text{ kN}$$

$$R_{c;k0.8} := \min(R_{c;min0.8}, R_{c;mean0.8}) = 2699.076 \text{ kN}$$

A talpellenállás karakterisztikus értéke :

$$R_{b;k} := \frac{R_{b;cal}}{\zeta_{mean}} = 1402.407 \text{ kN}$$

$$R_{b;k0.8} := \frac{R_{b;cal0.8}}{\zeta_{mean}} = 1121.926 \text{ kN}$$

A palástellenállás karakterisztikus értéke :

$$R_{s;k} := \frac{R_{s;cal}}{\zeta_{min}} = 1577.151 \text{ kN}$$

Az egyedi cölöp nyomási ellenállásának a karakterisztikus értékekből az alábbi képlet alapján számoljuk :

$$R_{cd} = \frac{\min\left(\frac{R_{c;k}}{\gamma_t}, \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}\right)}{\gamma_{R;d}}$$

ahol :

- | | |
|-------------------------|---|
| - $\gamma_b := 1.2$ | -talpellenálláshoz tartozó korrelációs tényező CFA esetén |
| - $\gamma_s := 1.1$ | -palástellenálláshoz tartozó korrelációs tényező CFA esetén |
| - $\gamma_{R;d} := 1.1$ | -modelltényező |
| - $\gamma_t := 1.15$ | -teljes ellenálláshoz tartozó parciális tényező CFA esetén |

Az egyedi cölöp nyomási ellenállási tervezési értéke :

$$R_{cd} := \frac{\min\left(\frac{R_{c;k}}{\gamma_t}, \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}\right)}{\gamma_{R;d}} = 2355.382 \text{ kN} \quad (\text{eredeti})$$

$$R_{cd0.8} := \frac{\min\left(\frac{R_{c;k0.8}}{\gamma_t}, \frac{R_{b;k0.8}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}\right)}{\gamma_{R;d}} = 2133.657 \text{ kN} \quad (\text{lecsökkentett})$$

Az egyedi cölöp nyomási ellenállásának tervezési értékének ellenőrzése a statikai számításban meghatározott $F_{M;D}$ mértékadó cölöpperővel összevetve :

$R_{cd} = 2355.382 \text{ kN}$	$R_{cd} > F_{M;D}$	$F_{M;D} := 1800 \text{ kN}$
$R_{cd0.8} = 2133.657 \text{ kN}$	$R_{cd0.8} > F_{M;D}$	
if $R_{cd} > F_{M;D}$ "MEGFEELEL !" else "NEM FEELEL MEG !" if $R_{cd0.8} > F_{M;D}$ "MEGFEELEL !" else "NEM FEELEL MEG !"	= "MEGFEELEL !" = "MEGFEELEL !" 	Kihasznátság : $\frac{F_{M;D}}{R_{cd}} = 76.421\%$ Kihasznátság : $\frac{F_{M;D}}{R_{cd0.8}} = 84.362\%$

7.1.2 „D” támasznál DIN szabvány szerinti cölöpteherbírás meghatározása

DIN 1054:2005 szabvány által számolt cölöpteherbírás

Ez a módszer főként fúrt cölöpökre vonatkozik, és a Németországban alkalmazott hagyományos gyakorlatot tükrözi. A fajlagos talpellenállás $q_{b,k}$ és a rétegkénti palástsúrlódás $q_{s;k,i}$ jellemző értékei közvetlenül határozhatóak meg a talajparaméterek, a táblázatok és a diagrammok segítségével. A cölöpök karakterisztikus teherbírás értékét a következő képlettel lehet számolni :

$$R_k(s) := R_{b,k}(s) + R_{s,k}(s) = R_k(s) = q_{b,k} + \sum_i q_{s;k,i} \cdot A_{s,i}$$

amelynél a talpellenállás és rétegkénti palástellenállás összegéből kapjuk meg ugyanúgy mint az EC-nél a cölöp nyomási ellenállási értékét. Táblázatok alapján kell lineáris interpoláláson keresztül meghatározni mind a talp -és palástellenállási értékeket, melyeknél külön biztonsági tényezővel nem számolnak , mert már alaphoz a számításban van és nagyon óvatossággal szemben.

Rétegenkénti palástellenállást meghatározása ($R_{s;k,i}$)

Szemcsés vagy kötött rétegtől függően lehet a CPT csúcseellenállás értékeiből meghatározni interpoláláson keresztül az egyes rétegeknél a cölöptengely ellenállási értékeit.

DIN 1054:2005 két különböző táblázatot ad kohézió illetve "kohézió nélküli" talajok esetében

Átlagos $q_{c,i}$ CPT csúcseellenállás

Maximális $q_{s,k}$ cölöp súrlódási érték

$$q_{c,i} := \begin{bmatrix} 0 \\ 5 \\ 10 \\ 15 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$q_{s,k} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.040 \\ 0.060 \\ 0.1200 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

1. kohézió nélküli talajoknál

Nyírószilárdság $c_{u,k}$ a vizsgált talajnál

Maximális $q_{s,k}$ cölöptengely súrlódási érték

$$c_{u,k} := \begin{bmatrix} 0.025 \\ 0.1 \\ 0.20 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$q_{s,k} := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.040 \\ 0.060 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

2. kohéziós talajoknál

Fajlagos palástellenállást szinte ugyanúgy kell meghatározni mint az EC szabványánál. A talajtípusától függően kell meghatározni az egyes rétegek csúcsellenállását. Mind kötött és szemcsés talajok esetén lineáris interpolációval lehet kiszámolni, szemcsés talaj esetén a talajra jellemző q_c csúcsellenállás átlagából, kötött talaj esetén pedig c_u a drénezetlen nyírószilárdságból, amelyet Szepesházi Róbert cölöpalapok CPT-alapú méretezése az EC 7 követelményei szerinti cikkjéből határoztam meg.

$$R_{s;k}(s) = \sum_i q_{s;k,i} \cdot A_{s,i}$$

ahol :

- $\sum_i q_{s;k,i}$ - palástmentén mért ellenállások összege
- $A_{s,i} = k \cdot h_{c,i}$ - rétegenkénti palást felület
- $k := D \cdot \pi = 2.513 \text{ m}$ - 80 cm átmérőjű cölöp palást kerülete

Drénezetlen nyírószilárdság c_u meghatározása az alábbi képlettel :

$$c_u = \frac{q_c}{N_k}$$

ahol :

- q_c - a rétegre jellemző átlagos csúcsellenállás
- $N_k := 15.5$ - a talaj kötöttségétől függő tényező, én a középértéket közelítőt alkalmazom

Palástellenállás rétegenkénti meghatározása :

1. talajréteg HOMOK 0-7.3 m

$$q_{c;1} := 10.64 \text{ MPa}$$

$$h_{c;1} := 7.3 \text{ m}$$

$$A_{s;1} := k \cdot h_{c;1} = 18.347 \text{ m}^2$$

$$q_{s;k1} := \text{linterp}(q_{c;1}, q_{s;k}, q_{c;1}) = 0.068 \text{ MPa}$$

$$q_{s;k1} = 0.068 \text{ MPa}$$

$$R_{s;k1} := \frac{A_{s;1}}{\text{m}^2} \cdot q_{s;k1} = 1.242 \text{ MPa}$$

2. talajréteg közepes AGYAG 7.3-10.7 m

$$q_{c;2} := 1.45 \text{ MPa}$$

$$c_{u;k1} := \frac{q_{c;2}}{N_k} = 0.094 \text{ MPa}$$

$$q_{s;k2} := \text{linterp}(c_{u;k}, q_{s;k}, c_{u;k1}) = 0.037 \text{ MPa}$$

$$q_{s;k2} = 0.037 \text{ MPa}$$

$$h_{c;2} := 3.4 \text{ m}$$

$$A_{s;2} := k_c \cdot h_{c;2} = 8.545 \text{ m}^2$$

$$R_{s;k2} := \frac{A_{s;2}}{m^2} \cdot q_{s;k2} = 0.312 \text{ MPa}$$

3. talajréteg sovány AGYAG 10.7-14.2 m

$$q_{c;3} := 1.88 \text{ MPa}$$

$$c_{u;k;2} := \frac{q_{c;3}}{N_k} = 0.121 \text{ MPa}$$

$$q_{s;k3} := \text{linterp}(c_{u;k}, q_{s;k}, c_{u;k;2}) = 0.044 \text{ MPa}$$

$$q_{s;k3} = 0.044 \text{ MPa}$$

$$h_{c;3} := 3.5 \text{ m}$$

$$A_{s;3} := k_c \cdot h_{c;3} = 8.796 \text{ m}^2$$

$$R_{s;k3} := \frac{A_{s;3}}{m^2} \cdot q_{s;k2} = 0.322 \text{ MPa}$$

4. talajréteg közepes AGYAG 14.2-16.2 m

$$q_{c;4} := 2.1 \text{ MPa} = 2100 \text{ kPa}$$

$$c_{u;k;3} := \frac{q_{c;4}}{N_k} = 0.135 \text{ MPa}$$

$$q_{s;k4} := \text{linterp}(c_{u;k}, q_{s;k}, c_{u;k;3}) = 0.047 \text{ MPa}$$

$$h_{c;4} := 2 \text{ m}$$

$$A_{s;4} := k_c \cdot h_{c;4} = 5.027 \text{ m}^2$$

$$R_{s;k4} := \frac{A_{s;4}}{m^2} \cdot q_{s;k4} = 0.237 \text{ MPa}$$

5. talajréteg HOMOK 16.2-16.5 !!!

$$q_{c;5} := 10.54 \text{ MPa} = 10540 \text{ kPa}$$

$$h_{c;5} := 0.3 \text{ m}$$

$$A_{s;5} := k_c \cdot h_{c;5} = 0.754 \text{ m}^2$$

$$q_{s;k5} := \text{linterp} (q_{c;i}, q_{s;k}, q_{c;5}) = 0.066 \text{ MPa}$$

$$R_{s;k5} := \frac{A_{s;5}}{m^2} \cdot q_{s;k5} = 0.05 \text{ MPa}$$

Teljesen palástellenállás a rétegenkénti értékekből :

$$R_{sk} := (R_{s;k1} + R_{s;k2} + R_{s;k3} + R_{s;k4} + R_{s;k5}) \cdot m^2 = 2162.571 \text{ kN}$$

A palástellenállás értékéből megtudtam határozni **súrlódáshoz tartozó süllyedést** :

$$s_{sg} := \frac{0.5 \cdot R_{sk} + 0.5 \text{ MN}}{\text{MN}} \cdot \text{cm} = 1.581 \text{ cm} \quad s_{sg} = 0.0158 \text{ m}$$

A **talpellenállást** értékeket az adott süllyedésekhez, szintén táblázat alapján lineáris interpolációval kell meghatározni, attól függően hogy a cölöptalp milyen rétegbe terhel, az én esetemben homok talaj. A DIN szabványban eltér az EC-hez képest a csúcsellenállásnak a CPT-ből való felvételének az értéke, mert nem vizsgálják a talp feletti részt csak a talp alatti $3 \cdot D$ értéket.

$$q_{cm} := 23.61 \text{ MPa} \quad \text{-3D talp alatti mélység csúcsellenállásnak az átlaga}$$

Fúrt cölöpök "talpkapacitása"

$$q_{b;k} := \begin{bmatrix} 10 \\ 15 \\ 20 \\ 25 \end{bmatrix} \text{ MPa} \quad s_{s;0.02} := \begin{bmatrix} 0.70 \\ 1.05 \\ 1.40 \\ 1.75 \end{bmatrix} \text{ MPa} \quad s_{s;0.03} := \begin{bmatrix} 0.90 \\ 1.35 \\ 1.80 \\ 2.25 \end{bmatrix} \text{ MPa} \quad s_{s;0.1} := \begin{bmatrix} 2.00 \\ 3.00 \\ 3.50 \\ 4.00 \end{bmatrix} \text{ MPa}$$

$$0.02 \text{ D} = 16 \text{ mm}$$

$$q_{b1} := \text{linterp} (q_{b;k}, s_{s;0.02}, q_{cm}) = 1.653 \text{ MPa}$$

$$q_{b1} = 1.653 \text{ MPa}$$

$$0.03 \text{ D} = 24 \text{ mm}$$

$$q_{b2} := \text{linterp} (q_{b;k}, s_{s;0.03}, q_{cm}) = 2.125 \text{ MPa}$$

$$q_{b2} = 2.125 \text{ MPa}$$

$$0.10 \text{ D} = 80 \text{ mm}$$

$$q_{b3} := \text{linterp} (q_{b;k}, s_{s;0.1}, q_{cm}) = 3.861 \text{ MPa}$$

$$q_{b3} = 3.861 \text{ MPa}$$

Ezután a R_{bk} **talpellenállás** meghatározása relatív süllyedésből kapott egyes értékek alapján az alábbi képlettel :

$$R_{bk} = q_{b,i} \cdot A_b$$

ahol :

- $q_{b,i}$ - süllyedés értékekhez tartozó talpellenállás
- $A_b = 0.503 \text{ m}^2$ - cölöp keresztmetszeti területe

$$0.02 \text{ D} = 16 \text{ mm} \quad R_{bk1} := q_{b1} \cdot A_b = 830.738 \text{ kN}$$

$$0.03 \text{ D} = 24 \text{ mm} \quad R_{bk2} := q_{b2} \cdot A_b = 1068.091 \text{ kN}$$

$$0.10 \text{ D} = 80 \text{ mm} \quad R_{bk3} := q_{b3} \cdot A_b = 1940.75 \text{ kN}$$

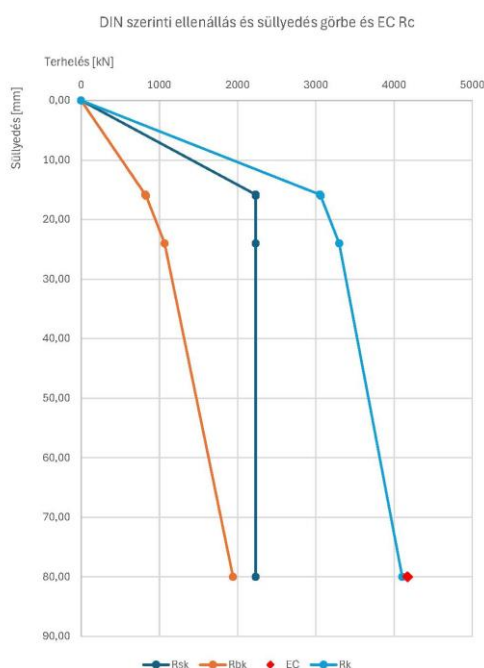
A **palástellenállás** és az egyes **talpellenállások** értékéből megtudtam határozni a cölöp egyedi teherbírását a relatív süllyedés értékeknél :

	R_{sk}	$R_{b,k}$	R_{ks}
$s_{sg} = 15.813 \text{ mm}$	$R_{sk} = 2162.571 \text{ kN}$	$R_{bks} := 862 \text{ kN}$	$R_{ks} := R_{sk} + R_{bks} = 3024.571 \text{ kN}$
$0.02 \text{ D} = 16 \text{ mm}$	$R_{sk} = 2162.571 \text{ kN}$	$R_{bk1} = 830.738 \text{ kN}$	$R_{k1} := R_{sk} + R_{bk1} = 2993.309 \text{ kN}$
$0.03 \text{ D} = 24 \text{ mm}$	$R_{sk} = 2162.571 \text{ kN}$	$R_{bk2} = 1068.091 \text{ kN}$	$R_{k2} := R_{sk} + R_{bk2} = 3230.662 \text{ kN}$
$0.10 \text{ D} = 80 \text{ mm}$	$R_{sk} = 2162.571 \text{ kN}$	$R_{bk3} = 1940.75 \text{ kN}$	$R_{k3} := R_{sk} + R_{bk3} = 4103.321 \text{ kN}$

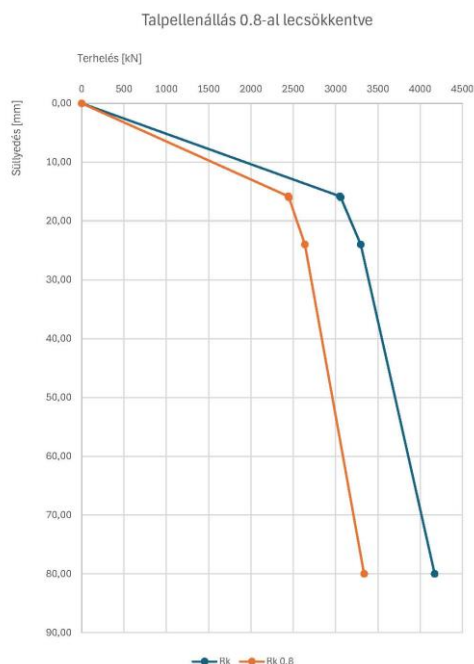
$$R_{k3} = 4103.321 \text{ kN}$$

$$R_{bk3;0.8} := R_{bk3} \cdot 0.8 = 1552.6 \text{ kN} \quad (\text{csökkentett talpellenállás})$$

$$R_{k;0.8} := R_{bk3;0.8} + R_{sk} = 3715.171 \text{ kN} \quad (\text{csökkentett teherbírási érték})$$

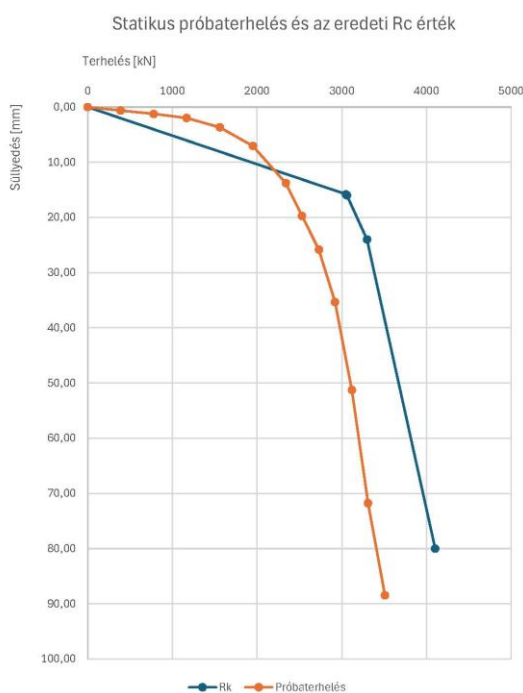


24. ábra : süllyedéshez tartozó értékek és EC szerinti R_c érték



25.saját ábra : R_k csökkentett talpellállásból kapott értékek

Mivel a statikus próbaszonda a D támasz közelében készült, amelynek átmérője 80 cm – megegyezően az általam tervezett cölöp átmérőjével –, valamint a mélysége is hasonló (16,71 m), lehetőségem nyílt a próbaszonda eredményeinek összehasonlítására a DIN szabvány szerint számított R_k értékekkel.

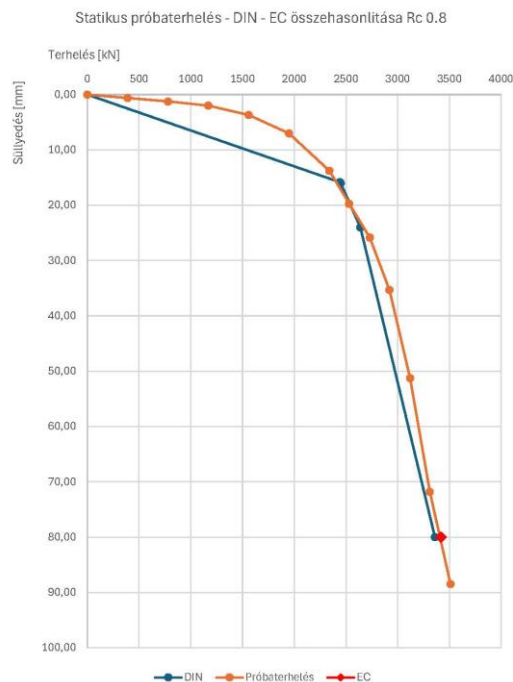


26.saját ábra : Statikus próbaterhelés és az eredeti DIN R_k érték

A számítási eredmények összevetése során egy diagramon ábrázoltam a statikus próbaterhelés görbáját, valamint a DIN szabvány alapján számított értékeket. Az összehasonlítás egyértelműen rávilágított arra, hogy a DIN szabvány által alkalmazott, óvatos biztonsági tényezők ellenére a kapott értékek jelentős eltérést mutatnak a valóságos próbaterhelés során mért görbéhez képest.

Ezen megfigyelés alapján, bevezettem, egy 0,8-as redukciós tényezőt a talpellenállás értékének korrekciójára. Ennek alkalmazását tapasztalati adatok támasztják alá, amelyek szerint szemcsés talajok esetében, különösen ha azok a talajvíz alatt helyezkednek el, a számított talpellenállás értékek rendszerint nem felelnek meg a valóságos, próbaterheléssel mért értékeknek. Ezt az állításomat később a szakmai háttérrel rendelkező külső konzulens is megerősítette. A redukció bevezetése lehetővé teszi, hogy a számítások jobban közelítsenek a gyakorlati eredményekhez.

A diagramon továbbá 0,010 s-nél (80 mm) ábrázoltam az EC szabvány szerinti 0,8-as talpellenállási redukciós tényező alkalmazását is, amely további támpontot nyújt az eltérések elemzéséhez.



27. ábra : Statikus próbaterhelés – DIN – EC összehasonlítása $R_c 0,8$

A vizsgálatok és számítások során egyértelműen láthatóvá vált, hogy a DIN szabvány által előírt módszerek, bár óvatosságot mutatnak a biztonsági tényezők tekintetében, nem minden esetben adják vissza pontosan a valós próbaterhelési eredményeket, különösen szemcsés talajok esetében. A talpellenállás 0,8-as redukciós tényezővel történő korrigálása, amely tapasztalati alapon került bevezetésre, jelentős javulást eredményezett a számított és mért értékek közötti eltérések csökkentésében.

Az EC szabvány szerinti 0,8-as redukciós tényező alkalmazásának ábrázolása tovább erősítette az elemzés helytállóságát, és alátámasztotta, hogy ez a megközelítés jobban alkalmazkodik a valós viselkedéshez, különösen a talajvíz alatti szemcsés talajok esetében. Ezek az eredmények rávilágítanak arra, hogy

a szabványos számítási eljárások szükség esetén tapasztalati korrekcióval egészíthetők ki, a pontosabb tervezési eredmények elérése érdekében. Ez a megközelítés nemcsak a mérnöki pontosságot növeli, hanem a tervezett szerkezetek hosszú távú megbízhatóságát is biztosítja.

7.1.3 D támasz cölöpsüllyedés meghatározása

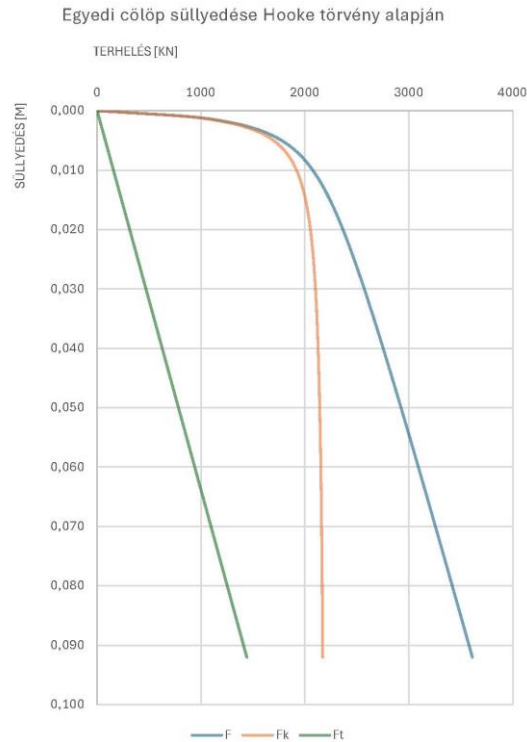
Egyedi cölöp süllyedése "D" támasznál				
Alapadatok	D =	0,8 m	Es =	49800 kN/m ²
	k =	2,513 m	a =	15655,875 kN/m
	A =	0,503 m ²	sH =	0,001 m

CPT alapján	16.2-25 méterig tömör HOMOK		
	Hatékony sűrűdési szög	Összenyomódási modulusz	qc
	38,98°	49,8 Mpa	16,73 Mpa

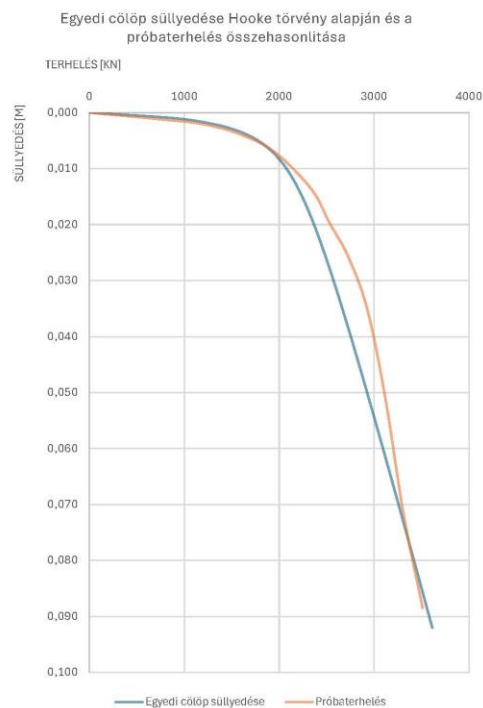
Talajrétegződés		h[m]	k [m]	f [kN/m ²]	h*k*f [kN]
	HOMOK	7,3	2,513	56,7	1040,15583
	KÖZEPES A.	3,4	2,513	45,7	390,46994
	SOVÁNY A.	3,5	2,513	52	457,366
	KÖZEPES A.	2	2,513	55	276,43
	HOMOK	0,3	2,513	56,5	42,59535
Összesen :					2207,01712

F=a*s+s/s+sH*Σj*k*f			
s [m]	Ft=a*s	Fk=s/s+sH*Σj*k*f	F=Ft+Fk
0,000	0	0	0
0,001	15,655875	882,806848	898,46272
0,002	31,31175	1261,15264	1292,4644
0,003	46,967625	1471,344747	1518,3124
0,004	62,6235	1605,10336	1667,7269
	s		F
0,005	78,279375	1697,705477	1775,9849
		0,0051	1785,267283
0,006	93,93525	1765,613696	1859,5489
		0,0052	1794,31936
0,007	109,591125	1817,543511	1927,1346
		0,0053	1803,151246
0,008	125,247	1858,540733	1983,7877
0,009	140,902875	1891,72896	2032,6318
Egyedi cölöp süllyedés F.m.D = 1800 kN esetén = 5,3 mm			

28. ábra : Egyedi cölöp süllyedése a „D” támasznál Hooke törvényt alkalmazva



29. ábra : D támasznál egyedi cölöpsüllyedés



30.ábra : D támasznál egyedi cölöpsüllyedés és statikus próbaterhelés összehasonlítása

Hatékony feszültség σ_z meghatározása talajrétegenként a Kany féle süllyedéshez

1. talajréteg HOMOK 0-7.3 m

$$\begin{aligned}
 h_{i,1,sz} &:= 2.4 \text{ m} & g &:= 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} & \delta &:= 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\
 \rho_{i,1,sz} &:= 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \sigma_{1,sz} &:= h_{i,1,sz} \cdot \rho_{i,1,sz} \cdot g = 43.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \\
 h_{i,1,t} &:= 4.9 \text{ m} \\
 \rho_{i,1,t} &:= 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \sigma_{1,t} &:= \sigma_{1,sz} + h_{i,1,t} \cdot (\rho_{i,1,t} - \delta) \cdot g = 92.2 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

2. talajréteg közepes AGYAG 7.3-10.7 m

$$\begin{aligned}
 h_{i,2,t} &:= 3.4 \text{ m} \\
 \rho_{i,2,t} &:= 2100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \sigma_{2,t} &:= \sigma_{1,t} + h_{i,2,t} \cdot (\rho_{i,2,t} - \delta) \cdot g = 129.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

3. talajréteg sovány AGYAG 10.7-14.2 m

$$\begin{aligned}
 h_{i,3,t} &:= 3.5 \text{ m} \\
 \rho_{i,3,t} &:= 1900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \sigma_{3,t} &:= \sigma_{2,t} + h_{i,3,t} \cdot (\rho_{i,3,t} - \delta) \cdot g = 161.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

4. talajréteg közepes AGYAG 14.2-16.2 m

$$\begin{aligned}
 h_{i,4,t} &:= 2.0 \text{ m} \\
 \rho_{i,4,t} &:= 2100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \sigma_{4,t} &:= \sigma_{3,t} + h_{i,4,t} \cdot (\rho_{i,4,t} - \delta) \cdot g = 183.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

5. talajréteg HOMOK 16.2-25.0 m

$$\begin{aligned}
 h_{i,5,t} &:= 8.8 \text{ m} \\
 \rho_{i,5,t} &:= 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} & \sigma_{5,t} &:= \sigma_{4,t} + h_{i,5,t} \cdot (\rho_{i,5,t} - \delta) \cdot g = 288.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}
 \end{aligned}$$

Kany féle cölöpcsoport süllyedése a "D" támasznál									
Talajrétegződés	Es (kN/m ²)	Résréteg teteje (mBf.)	Résréteg alja (mBf.)	Résréteg vastagsága (m)	z* (m)	$\frac{z}{B}$	$\frac{\sigma z}{p}$	σz	s _i (mm)
A.S:	102,6	102,6	102,35	0,25	0,125	0,0315	0,994	170,210	0,854
HOMOK	49800	102,35	102,1	0,25	0,375	0,0945	0,949	162,570	0,816
		102,1	101,85	0,25	0,625	0,1574	0,875	149,892	0,752
		101,85	101,6	0,25	0,875	0,2204	0,805	137,961	0,693
		101,6	101,35	0,25	1,125	0,2834	0,748	128,146	0,643
		101,35	101,1	0,25	1,375	0,3463	0,701	120,156	0,603
		101,1	100,85	0,25	1,625	0,4093	0,660	113,029	0,567
		100,85	100,6	0,25	1,875	0,4723	0,625	107,096	0,538
		100,6	100,35	0,25	2,125	0,5353	0,593	101,587	0,510
		100,35	100,1	0,25	2,375	0,5982	0,563	96,409	0,484
		100,1	99,85	0,25	2,625	0,6612	0,538	92,123	0,462
		99,85	99,6	0,25	2,875	0,7242	0,513	87,862	0,441
		99,6	99,35	0,25	3,125	0,7872	0,488	83,601	0,420
		99,35	99,1	0,25	3,375	0,8501	0,466	79,856	0,401
		99,1	98,85	0,25	3,625	0,9131	0,445	76,243	0,383
		98,85	98,6	0,25	3,875	0,9761	0,424	72,629	0,365
		98,6	98,35	0,25	4,125	1,0390	0,407	69,691	0,350
		98,35	98,1	0,25	4,375	1,1020	0,392	67,167	0,337
		98,1	97,85	0,25	4,625	1,1650	0,377	64,643	0,325
		97,85	97,6	0,25	4,875	1,2280	0,363	62,119	0,312
		97,6	97,35	0,25	5,125	1,2909	0,348	59,595	0,299
		97,35	97,1	0,25	5,375	1,3539	0,333	57,071	0,287
		97,1	96,85	0,25	5,625	1,4169	0,318	54,547	0,274
		96,85	96,6	0,25	5,875	1,4798	0,304	52,023	0,261

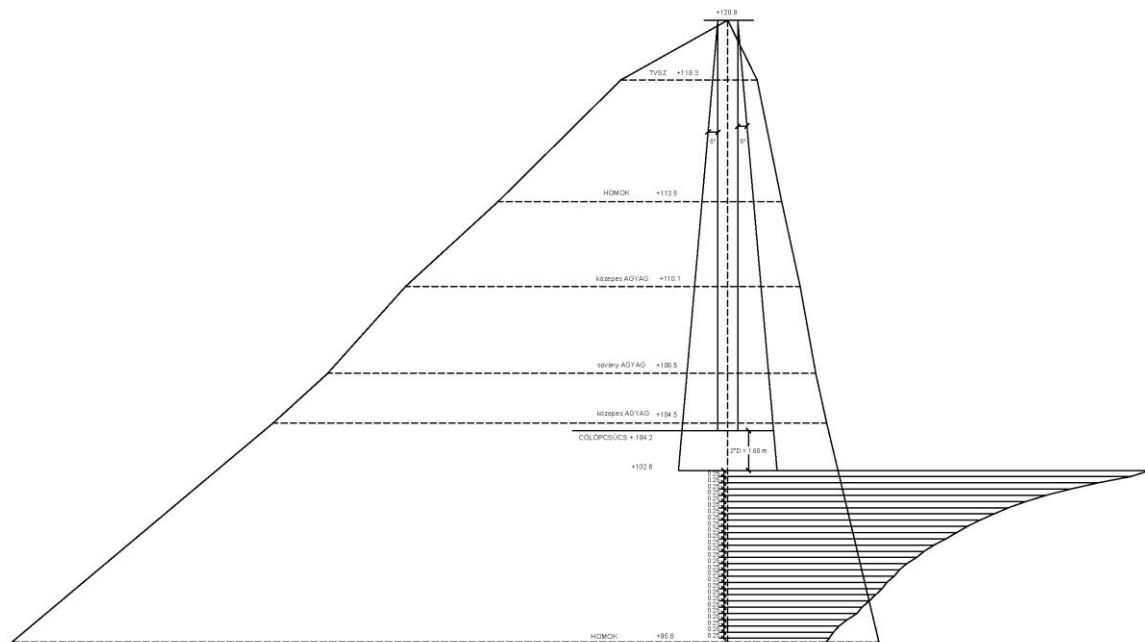
P _{palta} =	171,288	kN/m
----------------------	---------	------

Cölöpcsoport süllyedése:	$\sum s_i$ =	10,842	mm
--------------------------	--------------	--------	----

V _{Ed} =	18000	kN
B=	3,97	m
L=	26,47	m
B/L	0,15	m

Cölöpök süllyedése = egyedi cölöp süllyed + cölöpcsoport süllyedése = 16,14 mm

31 .ábra : Kany féle cölöpcsoport süllyedés



32.ábra: Hatékony feszültség és Kany módszer

7.1.4 D támasz egyedi cölöp teherbírás GEO5 programmal

GEO5 programnál a Cölöp CPT modul alkalmaztam az egyedi cölöp teherbírásának ellenőrzésére.

Első lépésben kiválasztottam az MSZ – EN 1997 szabványt és beállítottam a különböző parciális tényezőket a CFA-ra vonatkozóan.

Számítás tesztek alapján : CPT

☐ Negatív köpenysúlódás figy. vétele

☒ Talajosztályzás végrehajtása

Modell-bizonytalansági parciális tényező : $\gamma_{cal} = 1,10$ [-]

Parciális tényezők ξ_3, ξ_4 : Adatbev.

Parciális tényező : $\xi_3 = 1,40$ [-]

Parciális tényező : $\xi_4 = 1,40$ [-]

Jelenlegi beállítások szerkesztése : CPT cölöp

CPT cölöp

Ellenőrzési módszer : EN 1997-2

Számítás típusa : EN 1997-2

— Ellenállások (R) parciális tényezői

Talpellállás parciális tényezője : $\gamma_b = 1,20$ [-]

Palástellenállás parciális tényezője : $\gamma_s = 1,10$ [-]

— Csökkentő tényezők

Terhelési-süllyedési görbe csökk. tényezője : $k = 1,00$ [-]

33.ábra : Parciális tényezők beállítása

Következő lépésben beimportáltam a CPT adatok eredményeit és beállítottam a talajvízszintet -2,4 méter mélységbe.

A Robertson-féle talajosztályozásnál a réteghatárt 0,5 méterre állítottam be és ez alapján megkaptam a talajrétegződéseket :

0,00-7,41 és 16,20-25 méterig Homokok

Homokok - Tiszta homoktól iszapos homokig			
Térfogatsúly :	γ	=	19,23 kN/m ³
Belső súrlódási szög :	φ_{ef}	=	30,00 °
Telített térfogatsúly :	γ_{sat}	=	19,23 kN/m ³
Talajtípus :	homok, kavics		
OCR nagysága :	OCR $\leq$ 2		
Szemcsék típusa :	600 nm-nél finomabb homok		

34.ábra : Homokok – Tiszta homoktól iszapos homokig GEO5

7,41-16,20 méterig Agyag

Agyag - iszapos agyagtól agyagig			
Térfogatsúly :	γ	=	18,02 kN/m ³
Belső súrlódási szög :	φ_{ef}	=	20,00 °
Telített térfogatsúly :	γ_{sat}	=	18,02 kN/m ³
Talajtípus :	agyag		

35.ábra : Agyag – iszapos agyagtól agyagig

Ezt követően megadtam a különálló cölöp teher tervezési értékét $F.M_D = 1800$ kN értékét.

Geometriánál megadtam a cölöpnek a jellemző értékeit, a cölöptalp teherbírási tényezőt pedig megadtam aminek az értéke 0,42. Ez az érték a CFA cölöpre jellemző redukciós (0.6) és technológia szorzó (0.7) szorzataként kaptam meg.

Cölöp keresztmetszet: Cölöp anyaga:

Cölöp típusa:

Cölöptalp teherbírási tényezője α_p : $\alpha_p =$ [-]

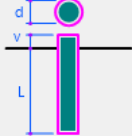
— Geometria — Kör km. cölöp

Talajban lévő cölöphossz: $l =$ [m] Cölöp átmérő: $d =$ [m]

Cölöpfej eltolása: $v =$ [m]

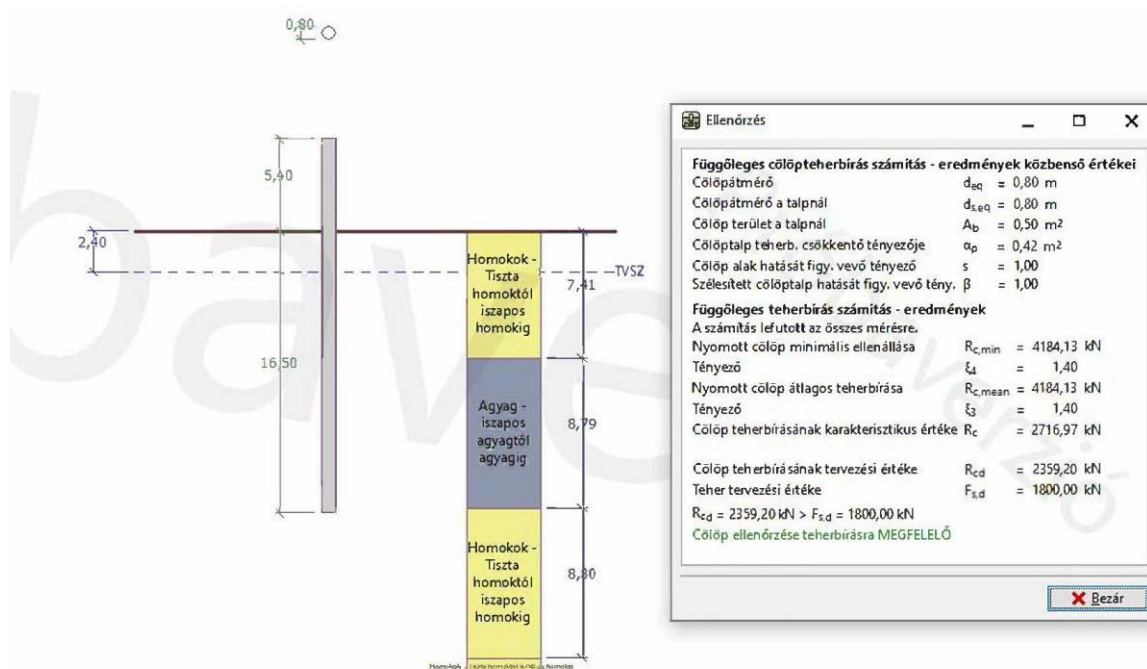
Rendezett terep magassága: $h =$ [m]

☒ $q_{c,III}$ csökkentése 2 MPa-ra



36.ábra : Geometriai adatok megadása

Cölöpteherbírás lefuttatása :



37.ábra : Cölöpteherbírás eredeti értékkel

Első módszernél még nem a 0.8 – al lecsökkentett talpellenállási értéket néztem meg, hogy ebből is lássam mennyire egyezik a kézi számolásom. (Kézi számítás : 2355.38 kN, GEO5 : 2359,20 kN)

0.8-as csökkentő tényezővel a cölöpteherbírás :

Függőleges cölöpteherbírás számítás - eredmények közbelső értékei	
Cölöpátmérő	$d_{eq} = 0,80 \text{ m}$
Cölöpátmérő a talpnál	$d_{s,eq} = 0,80 \text{ m}$
Cölöp terület a talpnál	$A_b = 0,50 \text{ m}^2$
Cölöptalp teherb. csökkentő tényezője	$\alpha_p = 0,34$
Cölöp alak hatását figy. vevő tényező	$s = 1,00$
Szélesített cölöptalp hatását figy. vevő tény.	$\beta = 1,00$
Függőleges teherbírás számítás - eredmények	
A számítás lefutott az összes mérésre.	
Nyomott cölöp minimális ellenállása	$R_{c,min} = 3311,02 \text{ kN}$
Tényező	$\xi_d = 1,40$
Nyomott cölöp átlagos teherbírása	$R_{c,mean} = 3311,02 \text{ kN}$
Tényező	$\xi_s = 1,40$
Cölöp teherbírásának karakterisztikus értéke	$R_c = 2150,01 \text{ kN}$
Cölöp teherbírásának tervezési értéke	$R_{cd} = 2150,01 \text{ kN}$
Téher tervezési értéke	$F_{s,d} = 1800,00 \text{ kN}$
$R_{cd} = 2150,01 \text{ kN} > F_{s,d} = 1800,00 \text{ kN}$	
Cölöp ellenőrzése teherbírásra MEGFELELŐ	

38.ábra : csökkentett talpteherbírasi értékkel kapott cölöpteherbírás

CPT cölöp számítás

Teherbírás számítás - EN 1997-2

Függőleges teherbírás számítás - tesztek eredményeinek közbelső értékei

CPT eredmények közbelső értéke - CPT1128_1_1_txxt

Teljes ellenállás	$R_{c,i} = 4176.01 \text{ kN}$
Köpeny teherbírása	$R_{s,i} = 2205.74 \text{ kN}$
Talp teherbírása	$R_{b,i} = 1970.27 \text{ kN}$
Csúcsellenállás közép értéke	$q_{cl,mean} = 22.37 \text{ MPa}$
Csúcsellenállás közép értéke	$q_{cII,mean} = 11.45 \text{ MPa}$
Csúcsellenállás közép értéke	$q_{cIII,mean} = 1.37 \text{ MPa}$
Maximális feszültség a cölöptalpnál	$p_{max,base} = 4388.19 \text{ kPa}$
Csökkentett feszültség a cölöptalpnál	$p_{max,base,red} = 4388.19 \text{ kPa}$

39.ábra : GEO5 eredeti Köpeny,Talp,Teljes ellenállás

CPT cölöp számítás

Teherbírás számítás - EN 1997-2

Függőleges teherbírás számítás - tesztek eredményeinek közbelső értékei

CPT eredmények közbelső értéke - CPT1128_1_1_txxt

Teljes ellenállás	$R_{c,i} = 3781,95 \text{ kN}$
Köpeny teherbírása	$R_{s,i} = 2205,74 \text{ kN}$
Talp teherbírása	$R_{b,i} = 1576,21 \text{ kN}$
Csúcsellenállás közép értéke	$q_{cl,mean} = 22,37 \text{ MPa}$
Csúcsellenállás közép értéke	$q_{cII,mean} = 11,45 \text{ MPa}$
Csúcsellenállás közép értéke	$q_{cIII,mean} = 1,37 \text{ MPa}$
Maximális feszültség a cölöptalpnál	$p_{max,base} = 3242,62 \text{ kPa}$
Csökkentett feszültség a cölöptalpnál	$p_{max,base,red} = 3242,62 \text{ kPa}$

40.ábra : GEO5 csökkentett Köpeny,Talp,Teljes ellenállás

Gépi program visszaigazolta azt, hogy q_{cI} , q_{cII} , q_{cIII} a csúcsellenállás egyes értékeit helyesen értelmeztem és határoztam meg a kéziszámlálásnál.

7.1.5 EC-DIN-GEO5 számítási értékek összehasonlítása

Mindhárom fajta számolás alapján közel azonos értékeket kaptam, a DIN szabványnál a legalacsonyabbak az értékek, ami valószínűleg az óvatos biztonsági tényezőkből adódik. Csökkentett érték szintűgy korrelálnak egymáshoz, de ez érthető mert csak a talpellenállás kapott egy „0.8-as redukciós” tényezőt.

Eredeti értékek	EC	DIN	GEO5
Csúcsellenállás q_c (kN)	1963.37	1940.75	1970.27
Palástellenállás q_s (kN)	2208.01	2162.57	2205.74
Nyomási ellenállás R_c (kN)	4171.38	4103.32	4176.01
Cölöpteherbirás R_{cd} (kN)	2355.38	2316.95	2359.20

41.ábra : EC-DIN-GEO5 eredeti számítási értékek összehasonlítása

Csökkentett értékek	EC	DIN	GEO5
Csökkentett csúcsellenállás $q_{c0.8}$ (kN)	1570.69	1552.60	1576.21
Palástellenállás q_s (kN)	2208.01	2162.57	2205.74
Csökkentett nyomási ellenállás R_c (kN)	3778.70	3715.17	3781.95
Csökkentett cölöpteherbirás $R_{cd0.8}$ (kN)	2133.65	2097.78	2150.01

42.ábra : EC-DIN-GEO5 csökkentett számítási értékek összehasonlítása

7.1.6 D támasz cölöpvasalása

Cölöpök hosszirányú vasalása :

MSZ EN 1536:2016 fűrt cölöpkről szóló szabvány alapján :

$$D = 0.8 \text{ m} \quad A_c := A_b = 0.503 \text{ m}^2$$

$$A_s := A_b \cdot 0.005 = 2513.274 \text{ mm}^2$$

Számítás alapján a hosszirányú minimális vasalási értéke : 10 db $\phi 18$ (2545 mm^2)

Minimális vasalás ellenőrzése a következő képlettel :

$$N_s = A_{sv} \cdot \sigma_s$$

ahol :

- | | |
|---------------------------------|--|
| - N_s | - betonvasak teherbírása |
| - $A_{sv} := 2545 \text{ mm}^2$ | - betonacélok keresztmetszeti területe 10 $\phi 18$ esetén |
| - $\sigma_s := 435 \text{ MPa}$ | - B500 betonacél folyáshatárának a tervezési értéke |

$$N_s := A_{sv} \cdot \sigma_s = 1107.075 \text{ kN}$$

Az így kapott teherbírasi $N_s = 1107.075 \text{ kN}$ értéket a legnagyobb húzási erővel hasonlítottam össze , ami $N_t := 1283.02 \text{ kN}$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } N_s > N_t \\ \quad \parallel \text{ "MEGFEELEL !" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "NEM FEELEL MEG !" } \end{array} \right| = \text{"NEM FEELEL MEG !"}$$

A minimális betonacél nem felel meg, mert a cölöpre jutó teher nagyobb mint a betonacélok teherbírása, ezért nagyobb betonacélt választottam $A_{sv} := 3142 \text{ mm}^2$

$$N_{s'} := A_{sv'} \cdot \sigma_s = 1366.77 \text{ kN}$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } N_{s'} > N_t \\ \quad \parallel \text{ "MEGFEELEL !" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "NEM FEELEL MEG !" } \end{array} \right| = \text{"MEGFEELEL !"}$$

A választott keresztmetszet megfelel a teherbírásra, a cölöphöz szükséges hosszirányú vasalás mennyisége 10db $\phi 20$.

Cölöpök keresztirányú vasalása :

A keresztirányú vasaláshoz szintén az **MSZ EN 1536:2016** fűrt cölöpökről szóló szabványt alkalmaztam, ami alapján 8 ϕ 10 spirálkengyel szükséges.

Cölöpök nyomási teherbirásának ellenőrzése :

A cölöpök nyomási teherbirásának ellenőrzése a következő képlettel számoltam :

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_s \cdot f_{yd}$$

ahol :

- | | |
|-----------------------------------|--|
| - N_{Rd} | - vasalt cölöp teherbirása |
| - $A_c = 502654.825 \text{ mm}^2$ | - a beton keresztmetszeti területe |
| - $f_{cd} := 20 \text{ MPa}$ | - C30/37 beton nyomószilárdsága |
| - $A_{sv} = 3142 \text{ mm}^2$ | - acélbetétek keresztmetszeti területe (10 ϕ 20) |
| - $f_{yd} := 435 \text{ MPa}$ | - betonacél folyási határának tervezési értékei,
B500 - as betonacél esetén |

$$N_{Rd} := A_c \cdot f_{cd} + A_{sv} \cdot f_{yd} = 11419.866 \text{ kN}$$

A cölöp nyomási teherbirásának ellenőrzése a statikai számításban meghatározott $F_{M;D} = 1800 \text{ kN}$ mértékadó cölöpterővel összevetve :

$$\left. \begin{array}{l} \text{if } N_{Rd} > F_{M;D} \\ \quad \parallel \text{ "MEGFELEL !" } \\ \text{else} \\ \quad \parallel \text{ "NEM FELEL MEG !" } \end{array} \right| = \text{"MEGFELEL !"}$$

A szabvány szerinti minimális (10 ϕ 20) hosszvasalás megfelel.

7.2 C támasznál Eurocode szerinti cölöpteherbírás meghatározása

Tervezési technológia : CFA

Terepszint : 120.8 mBf
 CPT szonda teteje : 120.7 mBf
 Cölöpcsúcs teteje : 118.5 mBf
 Cölöpcsúcs alja : 104.3 mBf
 Teljes cölöphossz : $l := 14.30 \text{ m}$
 Cölöpmérete : $D := 0.6 \text{ m}$

Számításomban a töltésben lévő cölöphosszal nem számolok a biztonság javára.

Számításomhoz az *MSZ EN 1997-1* előírásait követtem.

2. C támasznál készült B1128/1 jelű szonda alapján tervezés

Talpellenállás meghatározása :

A megválasztott cölöpgeometria esetén a cölöptalp homokos rétegben terhel, melynek talpellenállását a következő képlettel számoljuk:

$$q_b = \lambda_b \cdot \alpha_b \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right)$$

ahol :

- $\lambda_b := 0.6$	- redukciós tényező
- $\alpha_b := 0.7$	- technológia szorzó
- $q_{cI} := 23.33 \text{ MPa}$	- cölöpcsúcs alatti $0.7 \cdot D - 4 \cdot D$ mélységtartomány átlagos szondaellenállása (excel alapján)
- $q_{cII} := 11.19 \text{ MPa}$	- cölöpcsúcs alatti $0.7 \cdot D - 4 \cdot D$ mélységtartomány legkisebb q_c értékeinek súlyozott átlaga (excel alapján)
- $q_{cIII} := 1.81 \text{ MPa}$	- cölöpcsúcs feletti $8 \cdot D$ mélység q_c értékeinek súlyozott átlaga (maximum 2,0 MPa) (excel alapján)

Excel alapján számított értékekből és a redukciós , illetve technológia szorzóval kapott
Fajlagos talpellenállás:

$$q_{b,cal} := \lambda_b \cdot \alpha_b \cdot 0.5 \cdot \left(\frac{q_{cII} + q_{cI}}{2} + q_{cIII} \right) = 4004.7 \text{ kPa}$$

Fajlagos palástellenállás :

A fajlagos palástellenállást talajrétegenként kell számolni ,
szemcsés talaj esetén $q_s = \alpha_{sg} \cdot \sqrt{q_c}$ képlettel kell számolni,
illetve kötött talaj esetén $q_s = \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot \sqrt{q_c}$

ahol:

- $\alpha_{sg} := 0.55$ - szemcsés talajok esetén technológia szorzó (CFA)
- $\mu_{sg} := 1$ - kötött talaj esetén a technológiai szorzó (CFA)
- q_c - CPT rétegenkénti átlag csúcsellenállása

1. talajréteg HOMOK 2.2-7.3 m

$$q_{c1} := 12.64 \text{ MPa} = 12640 \text{ kPa}$$

$$h_{i,1} := 5.1 \text{ m} \quad q_{s;c1} := \alpha_{sg} \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c1}}{kPa}} = 61.835 \text{ kPa}$$

2. talajréteg közepes AGYAG 7.3-10.7 m

$$q_{c2} := 1.45 \text{ MPa} = 1450 \text{ kPa}$$

$$h_{i,2} := 3.4 \text{ m} \quad q_{s;c2} := \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c2}}{kPa}} = 45.695 \text{ kPa}$$

3. talajréteg sovány AGYAG 10.7-14.2 m

$$q_{c3} := 1.88 \text{ MPa} = 1880 \text{ kPa}$$

$$h_{i,3} := 3.5 \text{ m} \quad q_{s;c3} := \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c3}}{kPa}} = 52.031 \text{ kPa}$$

4. talajréteg közepes AGYAG 14.2-16.2 m

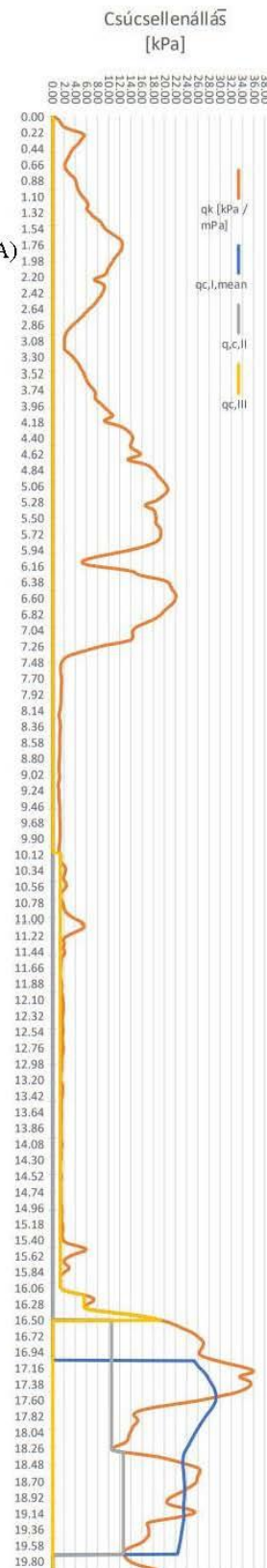
$$q_{c4} := 2.1 \text{ MPa} = 2100 \text{ kPa}$$

$$h_{i,4} := 2 \text{ m} \quad q_{s;c4} := \mu_{sg} \cdot 1.2 \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c4}}{kPa}} = 54.991 \text{ kPa}$$

5. talajréteg HOMOK 16.2-16.5 m

$$q_{c5} := 10.54 \text{ MPa} = 10540 \text{ kPa}$$

$$h_{i,5} := 0.3 \text{ m} \quad q_{s;c5} := \alpha_{sg} \cdot kPa \sqrt{\frac{q_{c5}}{kPa}} = 56.465 \text{ kPa}$$



Palástellenálásból származó teherbírási:

$$k := D \cdot \pi = 1.885 \text{ m} \quad \text{-80 cm átmérőjű cölöp palást kerülete}$$

$$A_b := \frac{D^2 \cdot \pi}{4} = 0.283 \text{ m}^2 \quad \text{-a cölöptalp keresztmetszeti felülete}$$

$$R_{s;cal} := k \cdot (q_{s;c1} \cdot h_{i;1} + q_{s;c2} \cdot h_{i;2} + q_{s;c3} \cdot h_{i;3} + q_{s;c4} \cdot h_{i;4} + q_{s;c5} \cdot h_{i;5}) = 1469.796 \text{ kN}$$

$$\text{Csúcsellenállásból származó teherbírási :} \quad R_{b;cal} := A_b \cdot q_{b;cal} = 1132.302 \text{ kN}$$

$$R_{b;cal0.8} := A_b \cdot q_{b;cal} \cdot 0.8 = 905.842 \text{ kN} \quad \text{(csökkentett csúcsellenállás)}$$

A cölöpök nyomási ellenállásának az értéke, a talpellenállás és a rétegenkénti palástellenállás összegéből:

$$R_{c;cal} := R_{b;cal} + R_{s;cal} = 2602.098 \text{ kN} \quad \text{(eredeti)}$$

$$R_{c;cal0.8} := R_{b;cal0.8} + R_{s;cal} = 2375.637 \text{ kN} \quad \text{(lecsökkentett)}$$

Karakterisztikus teherbírást a következő képlet alapján számítjuk :

$$R_{c;k} = \min \left(\frac{R_{c;mean}}{\zeta_{mean}} \cdot \frac{R_{c;min}}{\zeta_{min}} \right)$$

ahol:

- $R_{c;mean}$ - átlagos nyomási ellenállás
- $R_{c;min}$ - legkisebb nyomási ellenállás
- $\zeta_{mean}, \zeta_{min}$ - MSZ EN A10. táblázata alapján az átlaghoz és minimumhoz tartozó korrelációs érték

Mivel egy CPT szondát veszek figyelembe ezért a maximum és minimum értékek megegyeznek $\zeta_{mean} := 1.4, \zeta_{min} := 1.4$

$$R_{c;mean} := \min \left(\frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\zeta_{mean}}, \frac{R_{b;cal}}{\zeta_{mean}} + \frac{R_{s;cal}}{\zeta_{mean}} \right) = 1858.641 \text{ kN}$$

$$R_{c;mean0.8} := \min \left(\frac{R_{b;cal0.8} + R_{s;cal}}{\zeta_{mean}}, \frac{R_{b;cal0.8}}{\zeta_{mean}} + \frac{R_{s;cal}}{\zeta_{mean}} \right) = 1696.884 \text{ kN}$$

$$R_{c;min} := \frac{R_{b;cal} + R_{s;cal}}{\zeta_{min}} = 1858.641 \text{ kN}$$

$$R_{c,min0.8} := \frac{R_{b;cal0.8} + R_{s;cal}}{\zeta_{min}} = 1696.884 \text{ kN}$$

$$R_{c;k} := \min(R_{c,min}, R_{c,mean}) = 1858.641 \text{ kN}$$

$$R_{c;k0.8} := \min(R_{c,min0.8}, R_{c,mean0.8}) = 1696.884 \text{ kN}$$

A talpellenállás karakterisztikus értéke :

$$R_{b;k} := \frac{R_{b;cal}}{\zeta_{mean}} = 808.787 \text{ kN}$$

$$R_{b;k0.8} := \frac{R_{b;cal0.8}}{\zeta_{mean}} = 647.03 \text{ kN}$$

A palástellenállás karakterisztikus értéke :

$$R_{s;k} := \frac{R_{s;cal}}{\zeta_{min}} = 1049.854 \text{ kN}$$

Az egyedi cölöp nyomási ellenállásának a karakterisztikus értékekből az alábbi képlet alapján számoljuk :

$$R_{cd} = \frac{\min\left(\frac{R_{c;k}}{\gamma_t}, \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}\right)}{\gamma_{R;d}}$$

ahol :

- $\gamma_b := 1.2$ -talpellenálláshoz tartozó korrelációs tényező CFA esetén
- $\gamma_s := 1.1$ -palástellenálláshoz tartozó korrelációs tényező CFA esetén
- $\gamma_{R;d} := 1.1$ -modelltényező
- $\gamma_t := 1.15$ -teljes ellenálláshoz tartozó parciális tényező CFA esetén

Az egyedi cölöp nyomási ellenállási tervezési értéke :

$$R_{cd} := \frac{\min\left(\frac{R_{c;k}}{\gamma_t}, \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}\right)}{\gamma_{R;d}} = 1469.282 \text{ kN} \quad (\text{eredeti})$$

$$R_{cd0.8} := \frac{\min\left(\frac{R_{c;k0.8}}{\gamma_t}, \frac{R_{b;k0.8}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}\right)}{\gamma_{R;d}} = 1341.41 \text{ kN} \quad (\text{lecsökkentett})$$

Az egyedi cölöp nyomási ellenállásának tervezési értékének ellenőrzése a statikai számításban meghatározott $F_{M,C}$ mértékadó cölöpterővel összevetve :

$$R_{cd} = 1469.282 \text{ kN}$$

$$R_{cd} > F_{M,D}$$

$$F_{M,C} := 1325 \text{ kN}$$

$$R_{cd0.8} = 1341.41 \text{ kN}$$

$$R_{cd0.8} > F_{M,D}$$

```

if  $R_{cd} > F_{M,C}$ 
    || "MEGFELÉL !"
else
    || "NEM FELEL MEG !"
if  $R_{cd0.8} > F_{M,C}$ 
    || "MEGFELÉL !"
else
    || "NEM FELEL MEG !"

```

= "MEGFELÉL !"

Kihasználtság :

$$\frac{F_{M,C}}{R_{cd}} = 90.18\%$$

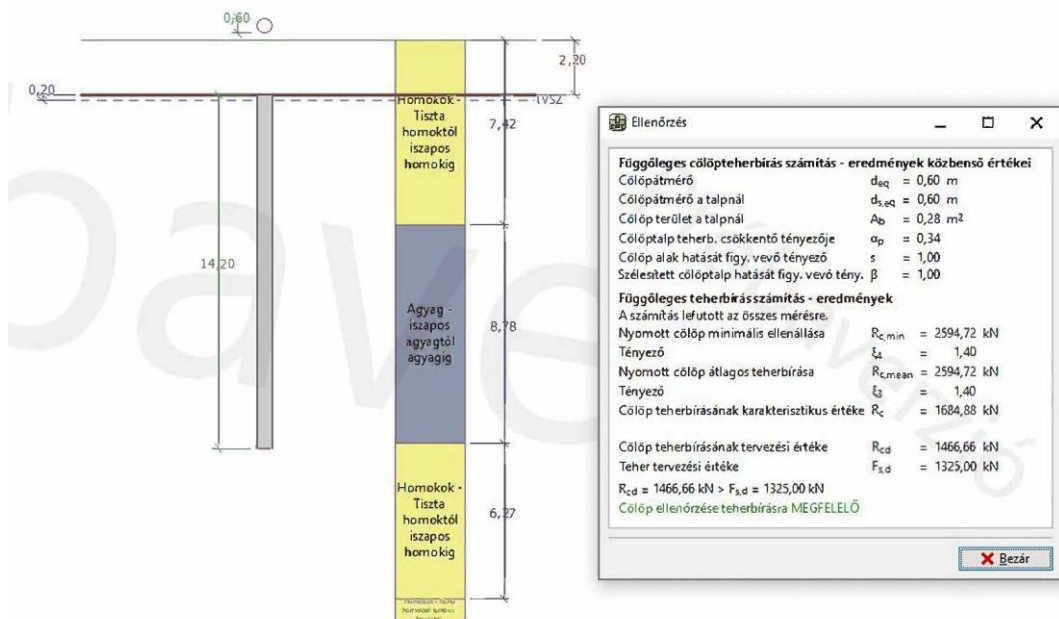
= "MEGFELÉL !"

Kihasználtság :

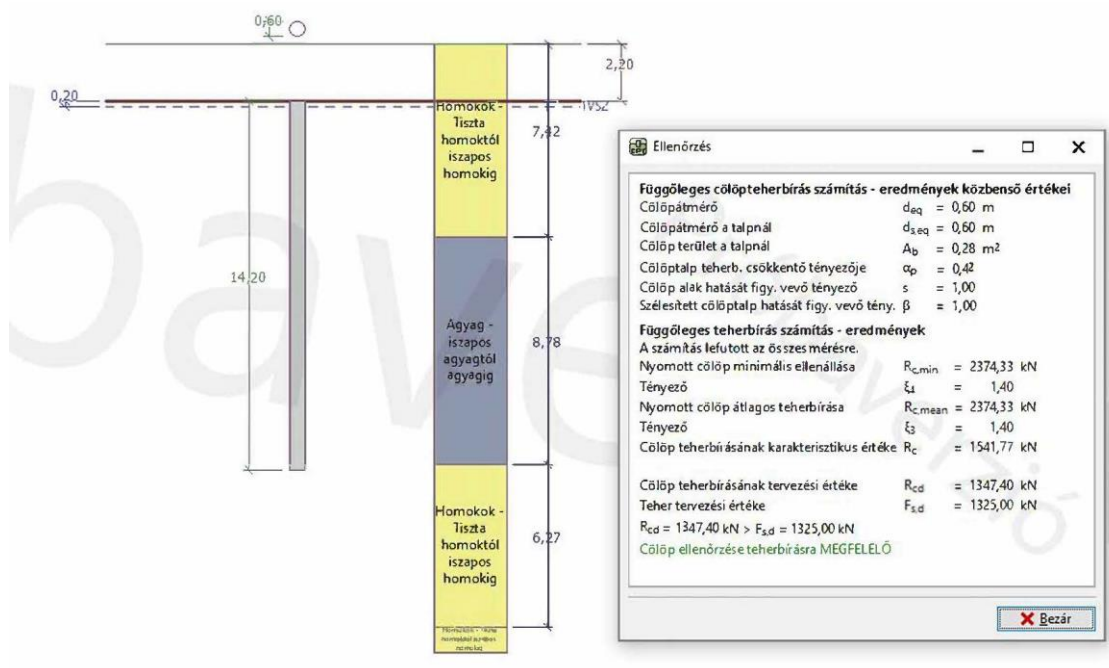
$$\frac{F_{M,C}}{R_{cd0.8}} = 98.777\%$$

7.2.1 C támasznál GEO5 ellenőrzés

Mivel ugyanazokat a beállításokat és CPT-t használtam ezért márcsak végeredményeket mutatok be.



43.ábra : C támasz cölöp teherbírás GEO5 eredeti csúcsellenállás



44.ábra : C támasz cölöpteherbírás GEO5 csökkentett csúcsellenállás

Eredeti értékek	EC	GEO5
Csúcsellenállás q_c (kN)	1132.30	1133.40
Palástellenállás q_s (kN)	1469.79	1465.31
Nyomási ellenállás R_c (kN)	2602.09	2598.71
Cölöpteherbírás R_{cd} (kN)	1469.28	1466.66

45. ábra : EC és GEO5 eredeti értékek összehasonlítása

Csökkentett értékek	EC	GEO5
Csökkentett csúcsellenállás $q_{c0.8}$ (kN)	905.843	910.31
Palástellenállás q_s (kN)	1469.79	1480.41
Csökkentett nyomási ellenállás R_c (kN)	2375.63	2390.71
Csökkentett cölöpteherbírás $R_{cd0.8}$ (kN)	1341.41	1347.40

46.ábra : EC és GEO5 csökkentett értékek összehasonlítása

7.2.2 C támasz cölöpsüllyedés meghatározása

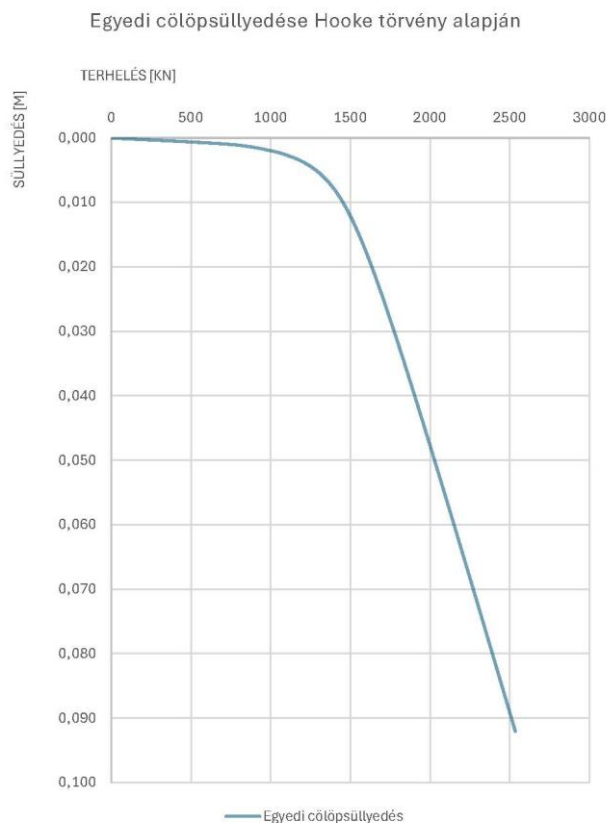
Egyedi cölöp süllyedése "C" támasznál				
Alapadatok	D =	0,6 m	Es =	49800 kN/m ²
	k =	1,885 m	a =	11744,5 kN/m
	A =	0,283 m ²	sH =	0,0010 m

CPT alapján	16.2-25 méterig tömör HOMOK		
	Hatékony súrlódási szög	Összenyomódási modulusz	qc
	38.98°	49,8 Mpa	16.73 Mpa

Talajrétegződés		h[m]	k [m]	f [kN/m ²]	h*k*f [kN]
	HOMOK	5,1	1,885	61,84	594,49884
	KÖZEPES A.	3,4	1,885	45,7	292,8913
	SOVÁNY A.	3,5	1,885	52	343,07
	KÖZEPES A.	2	1,885	55	207,35
	HOMOK	0,3	1,885	56,5	31,95075
Összesen :					1469,76089

F=a*s+s/s+sH*Σl*k*f				
s [m]	Ft=a*s	Fk=s/s+sH*Σl*k*f	F=Ft+Fk	
0,000	0	0	0	
0,001	11,7445	734,880445	746,62495	
0,002	23,489	979,8405933	1003,3296	
0,003	35,2335	1102,320668	1137,5542	
0,004	46,978	1175,808712	1222,7867	
0,005	58,7225	1224,800742	1283,5232	
0,006	70,467	1259,795049	1330,262	s F
0,007	82,2115	1286,040779	1368,2523	0,0058 1321,737683
0,008	93,956	1306,454124	1400,4101	0,0059 1326,044615
0,009	105,7005	1322,784801	1428,4853	
Egyedi cölöp süllyedés F.m.C = 1325 kN esetén = 5.9 mm				

47.ábra: egyedi cölöpsüllyedése számítása a C támasznál



48.ábra: egyedi cölöp süllyedése C támasznál

Hatékony feszültség σ_z meghatározása talajrétegenként a Kany féle süllyedéshez

1. talajréteg HOMOK 2.2-7.3 m

$$h_{i,1;sz} := 0.2 \text{ m}$$

$$g := 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$\delta := 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_{i,1;sz} := 1800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\sigma_{1;sz} := h_{i,1;sz} \cdot \rho_{i,1;sz} \cdot g = 3.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$h_{i,1;t} := 4.9 \text{ m}$$

$$\rho_{i,1;t} := 2000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\sigma_{1;t} := \sigma_{1;sz} + h_{i,1;t} \cdot (\rho_{i,1;t} - \delta) \cdot g = 52.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2. talajréteg közepes AGYAG 7.3-10.7 m

$$h_{i,2;t} := 3.4 \text{ m}$$

$$\rho_{i,2;t} := 2100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\sigma_{2;t} := \sigma_{1;t} + h_{i,2;t} \cdot (\rho_{i,2;t} - \delta) \cdot g = 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3. talajréteg sovány AGYAG 10.7-14.2 m

$$h_{i,3,t} := 3.5 \text{ m}$$

$$\rho_{i,3,t} := 1900 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\sigma_{3,t} := \sigma_{2,t} + h_{i,3,t} \cdot (\rho_{i,3,t} - \delta) \cdot g = 121.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

4. talajréteg közepes AGYAG 14.2-16.2 m

$$h_{i,4,t} := 2.0 \text{ m}$$

$$\rho_{i,4,t} := 2100 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\sigma_{4,t} := \sigma_{3,t} + h_{i,4,t} \cdot (\rho_{i,4,t} - \delta) \cdot g = 143.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

5. talajréteg HOMOK 16.2-25.0 m

$$h_{i,5,t} := 8.8 \text{ m}$$

$$\rho_{i,5,t} := 2200 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\sigma_{5,t} := \sigma_{4,t} + h_{i,5,t} \cdot (\rho_{i,5,t} - \delta) \cdot g = 249.1 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Kany féle cölöpcsoport süllyedése a "C" támasznál									
Talajrétegrövidsége	Es (kN/m ²)	Részréteg tetje (mBf.)	Részréteg alja (mBf.)	Részréteg vastagsága (m)	z* (m)	$\frac{z}{B}$	$\frac{\sigma_z}{\bar{p}}$	σ_z	s _i (mm)
A.S.	103	103	102.63	0.37	0.185	0.0378	0.992	104.216	0.774
HOMOK	49800	102.63	102.26	0.37	0.555	0.1135	0.928	97.429	0.724
		102.26	101.89	0.37	0.925	0.1892	0.837	87.895	0.653
		101.89	101.52	0.37	1.295	0.2648	0.765	80.334	0.597
		101.52	101.15	0.37	1.665	0.3405	0.705	74.082	0.550
		101.15	100.78	0.37	2.035	0.4162	0.656	68.899	0.512
		100.78	100.41	0.37	2.405	0.4918	0.614	64.529	0.479
		100.41	100.04	0.37	2.775	0.5675	0.578	60.655	0.451
		100.04	99.67	0.37	3.145	0.6431	0.545	57.226	0.425
		99.67	99.3	0.37	3.515	0.7188	0.515	54.088	0.402
		99.3	98.93	0.37	3.885	0.7945	0.485	50.949	0.379
		98.93	98.56	0.37	4.255	0.8701	0.460	48.253	0.359
		98.56	98.19	0.37	4.625	0.9458	0.434	45.591	0.339
		98.19	97.82	0.37	4.995	1.0215	0.411	43.157	0.321
		97.82	97.45	0.37	5.365	1.0971	0.393	41.298	0.307
		97.45	97.08	0.37	5.735	1.1728	0.376	39.438	0.293
		97.08	96.71	0.37	6.105	1.2485	0.358	37.579	0.279
		96.71	96.34	0.37	6.475	1.3241	0.340	35.720	0.265
		96.34	95.97	0.37	6.845	1.3998	0.322	33.861	0.252
		95.97	95.6	0.37	7.215	1.4755	0.305	32.001	0.238
		95.6	95.6						

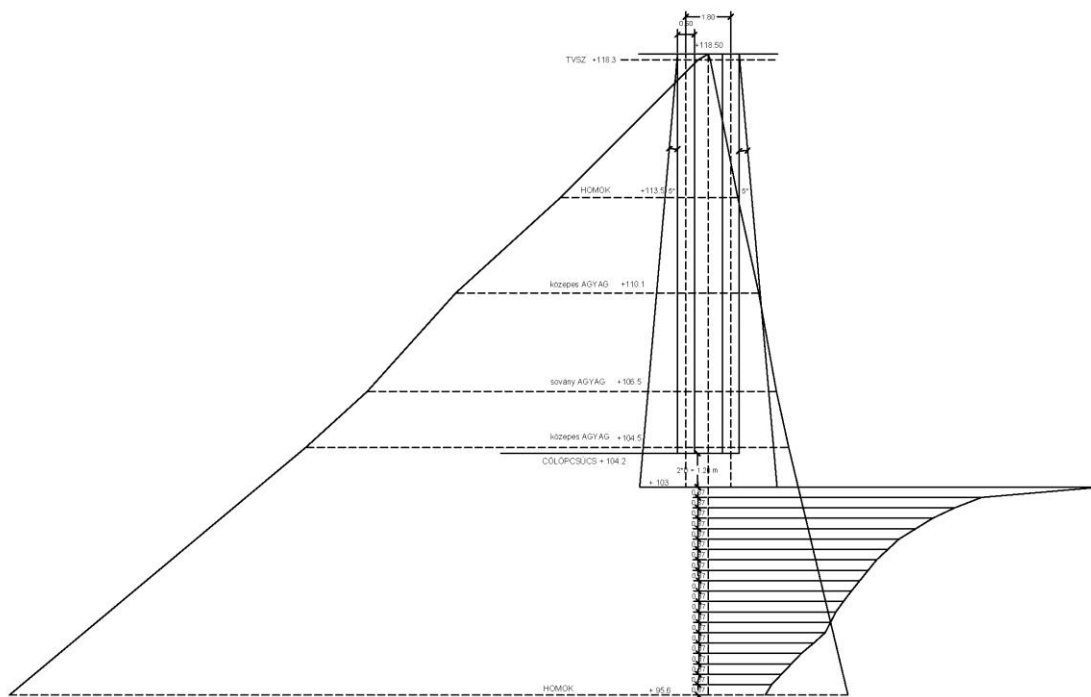
P _{alma}	105,011	kN/m
-------------------	---------	------

Cölöpcsoport süllyedése:	$\sum s_i$	6,964	mm
--------------------------	------------	-------	----

V _{tal}	13500	kN
B	4.89	m
L	26.29	m
B.L	0.19	m

Cölöpök süllyedése = egyedi cölöp süllyed + cölöpcsoport süllyedése = 12,86 mm

49.ábra: Kany féle cölöpcsoportsüllyedés számítás C támasznál



50.ábra: Hatékony feszültség 0.2 és Kany módszer

7.2.2 C támasz cölöpvasalása

Cölöpök hosszirányú vasalása :

MSZ EN 1536:2016 fúrt cölöpről szóló szabvány alapján :

$$D = 0.6 \text{ m} \quad A_c := A_b = 0.283 \text{ m}^2$$

$$A_s := A_b \cdot 0.005 = 1413.717 \text{ mm}^2$$

Számitás alapján a hosszirányú minimális vasalási értéke : 6 db $\phi 18$ (1513 mm^2)

Minimális vasalás ellenőrzése a következő képlettel :

$$N_s = A_{sv} \cdot \sigma_s$$

ahol :

- | | |
|---------------------------------|--|
| - N_s | - betonvasak teherbirása |
| - $A_{sv} := 1513 \text{ mm}^2$ | - betonacél keresztmetszeti területe 10 $\phi 18$ esetén |
| - $\sigma_s := 435 \text{ MPa}$ | - B500 betonacél folyáshatárának a tervezési értéke |

$$N_s := A_{sv} \cdot \sigma_s = 658.155 \text{ kN}$$

Az így kapott teherbírási $N_s = 658.155 \text{ kN}$ értéket a legnagyobb húzási erővel hasonlítottam össze, ami $N_t := 843.5 \text{ kN}$

$$\begin{array}{l|l} \text{if } N_s > N_t & = \text{"NEM FELEL MEG !"} \\ \parallel \text{"MEGFELEL !"} & \\ \text{else} & \\ \parallel \text{"NEM FELEL MEG !"} & \end{array}$$

A minimálás betonacél nem felel meg, mert a cölöpre jutó teher nagyobb mint a betonacélok teherbírása, ezért nagyobb betonacélt választottam $A_{sv.} := 2036 \text{ mm}^2$

$$N_{s.} := A_{sv.} \cdot \sigma_s = 885.66 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{l|l} \text{if } N_{s.} > N_t & = \text{"MEGFELEL !"} \\ \parallel \text{"MEGFELEL !"} & \\ \text{else} & \\ \parallel \text{"NEM FELEL MEG !"} & \end{array}$$

A választott keresztmetszet megfelel a teherbíráshoz, a cölöphöz szükséges hosszirányú vasalás mennyisége 8db $\phi 20$.

Cölöpök keresztirányú vasalása :

A keresztirányú vasaláshoz szintén az **MSZ EN 1536:2016** fűrt cölöpökről szóló szabványt alkalmaztam, ami alapján 8 $\phi 10$ spirálkengyel szükséges.

Cölöpök nyomási teherbírásának ellenőrzése :

A cölöpök nyomási teherbírásának ellenőrzése a következő képlettel számoltam :

$$N_{Rd} = A_c \cdot f_{cd} + A_{sv.} \cdot f_{yd}$$

ahol :

- | | |
|-----------------------------------|---|
| - N_{Rd} | - vasalt cölöp teherbírása |
| - $A_c = 282743.339 \text{ mm}^2$ | - a beton keresztmetszeti területe |
| - $f_{cd} := 20 \text{ MPa}$ | - C30/37 beton nyomószilárdsága |
| - $A_{sv.} = 2036 \text{ mm}^2$ | - acélbetétek keresztmetszeti területe (10 $\phi 20$) |
| - $f_{yd} := 435 \text{ MPa}$ | - betonacél folyási határának tervezési értékei, B500 - as betonacél esetén |

$$N_{Rd} := A_c \cdot f_{cd} + A_{sv.} \cdot f_{yd} = 6540.527 \text{ kN}$$

A cölöp nyomási teherbírásának ellenőrzése a statikai számításban meghatározott $F_{M,C} = 1325 \text{ kN}$ mértékadó cölöpperővel összevetve :

$$\begin{array}{l|l} \text{if } N_{Rd} > F_{M,C} & = \text{"MEGFELEL !"} \\ \parallel \text{"MEGFELEL !"} & \\ \text{else} & \\ \parallel \text{"NEM FELEL MEG !"} & \end{array}$$

A szabvány szerinti minimális (8 $\phi 20$) hosszvasalás megfelel.

7.3 Eredmények ismertetése

Számításaim alapján az alábbi táblázat mutatja be a C és D támaszra vonatkozó főbb tervezési értékeket:

Cölöp típusa		CFA	
Támaszjele		C	D
Cölöpátmérő	m	0,6	0,8
Terepszint	mEOMA	120,7	120,7
Cölöpösszefogó alsó síkja	mEOMA	118,50	126,20
Cölöpszám	db	20	10
Cölöpcsúcs	mEOMA	104,3	104,3
Visszavésett cölöphossz **	m	14,20	21,90
Töltés magasság	m	-	8,70
Egyedi cölöpre jutó hatási tervezési értéke	$F_{c,d}$ (kN)	1325	1800
Nyomási ellenállás számított törő értéke*	$R_{c,cal}$ (kN)	2602,10	3778,70
Nyomási ellenállás tervezési értéke*	$R_{c,d}$ (kN)	1341,41	2355
Kihasználtság	%	98,77	84,36
Támaszsüllyedés	cm	1,2	1,6

49. ábra : Eredmények ismeretése C és D támaszra vonatkozóan

* csökkentett 0,8 -as tényezővel számolt

** visszabontás után az előírt (C30/37) betonminőség mindenhol biztosítva leg

8. ÖSSZEGZÉS

A szakdolgozatom tárgya a hídpillér cölöpalapozásának tervezése volt az M49 gyorsforgalmi út M3 autópálya és Ökörítőfülpös közötti szakaszán, a B112.j. számú pályahíd esetében. A tervezési helyszín Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében található, ahol a pályahíd a Mátészalka-Ágerdőmajor vasútvonal és egy földút keresztezését biztosítja. A feladat során a C támasz hídpillérének és a D támasz hídfőjének cölöpalapozását dolgoztam ki, a helyi talajadottságok figyelembevételével.

A cölöpök teherbírását CPT statikus szondázási eredmények alapján határoztam meg, az Eurocode (EC) és a DIN szabvány szerint végezve a számításokat, melyeket GEO5 programmal is ellenőriztem. A megfelelő cölöpözési technológia kiválasztásakor a CFA (Continuous Flight Auger) eljárásra esett a választásom.

A számítási eredmények összevetése során egy diagramon ábrázoltam a statikus próbaterhelés görbáját, valamint a DIN szabvány alapján számított értékeket. Az összehasonlítás egyértelműen rávilágított arra, hogy a DIN szabvány által alkalmazott óvatos biztonsági tényezők ellenére a kapott értékek jelentős eltérést mutattak a valóságos próbaterhelési eredményekhez képest. Ennek alapján bevezettem egy 0,8-as redukciós tényezőt a talpellenállás értékének korrekciójára. Az alkalmazás tapasztalati adatokkal is alátámasztható, amelyek szerint szemcsés talajok esetében, különösen a talajvíz alatti rétegekben, a számított talpellenállás értékek rendszeresen nem felelnek meg a valóságos próbaterhelési mért értékeknek. Ezt az állításomat a külső konzulensem is megerősítette, aki szakmai háttérrel igazolta a bevezetett tényező helyességét. A redukció alkalmazása lehetővé tette, hogy a számítások jobban közelítsenek a gyakorlati eredményekhez.

Összességében a szakdolgozatom célja egy megbízható és gazdaságos cölöpalapozási rendszer kidolgozása volt, amely a választott technológia és számítási módszerek révén hosszú távon biztosítja a híd teherbírását és stabilitását. Az elvégzett összehasonlítások és a gyakorlati tapasztalatok integrálása révén sikerült a számítások pontosságát és megbízhatóságát igazolni.

Summary

The subject of my thesis was the design of the pile foundation for a bridge pier on the M49 expressway, between the M3 motorway and Ökörítőfülpös, specifically for bridge B112.j. The design site is located in Szabolcs-Szatmár-Bereg County, where the bridge crosses the Mátészalka-Ágerdőmajor railway line and a dirt road. During the project, I developed the pile foundation for the bridge pier at support C and the bridge abutment at support D, taking into account the local soil conditions.

The bearing capacity of the piles was determined based on CPT static penetration test results, following the Eurocode (EC) and DIN standards, with additional verification carried out using the GEO5 software. When selecting the appropriate piling technology, I opted for the CFA (Continuous Flight Auger) method.

In the comparison of the calculation results, I plotted the static load test curve and the values calculated according to the DIN standard on a diagram. The comparison clearly revealed that, despite the cautious safety factors applied in the DIN standard, the obtained values showed significant deviations from the actual static load test results. Based on this, I introduced a 0.8 reduction factor for correcting the end-bearing capacity values. The application of this factor is supported by empirical data, which indicate that in granular soils, particularly in layers below the groundwater table, the calculated end-bearing capacity values often do not match the actual measured values from load tests. My claim was further confirmed by my external consultant, who validated the appropriateness of the introduced factor with their professional expertise. The application of this reduction factor allowed the calculations to better align with practical results.

In summary, the aim of my thesis was to develop a reliable and cost-effective pile foundation system that ensures the long-term load-bearing capacity and stability of the bridge through the selected technology and calculation methods. By integrating the comparisons and practical experiences, I successfully improved the accuracy and reliability of the calculations.

9. HIVATKOZÁSOK

9.1 Szakirodalom

- [1] Farkas, J. (1994): ALAPOZÁS. Előadási jegyzet, Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [2] Bartos, S., Králik, B. (1998): Mélyépítés III. (Alapozás), Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest
- [3] Széchy, K. (1963): ALAPOZÁS II. Második, bővített és átdolgozott kiadás, Műszaki könyvkiadó, Budapest
- [4] Chan, D.: SHALLOW FOUNDATIONS. Encyclopedia Life Support Systems (EOLSS), Department of Civil and Environmental Engineering, The University of Alberta, Edmonton Alberta, Canada
- [5] Faur, K.B., Imre, S. (2011): Geotechnika. Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, Miskolc
- [6] Chen, W. F., Duan, L. (2014): Superstructure design. Bridge Engineering Handbook, SECOND EDITION, CRC press, Boca Raton, FL
- [9] Szepesházi, R. (2008): Geotechnika. Egyetemi jegyzet, Széchenyi István Egyetem, Győr
- [10] Bognár, B., Kanizsár, Sz., Mahler, A., Manninger M., Meszlényi Zs., Móczár B., Scheuring, F., Schell, P., Szepesházi, A. (2016): Korszerű cölöpalapozások tervezése geotechnikai, tartószerkezeti és technológiai szempontok alapján. Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozat, Budapest
- [11] Petik, Cs. (2008): Az Omega cölöpözési eljárás – elmélet és gyakorlat. Mérnökgeológia-Közetmechanika 2008, Szerk: Török, Á., Vásárhelyi, B. Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [12] FUGRO Consult Kft. Talajvizsgálati jelentés és geotechnikai tervezési beszámoló - hídépítés
- [13] Magyar Mérnöki Kamara (2012): Alapozások és földmegtámasztó szerkezetek tervezése az MSZ EN 1997 szerint, Mérnöki Kamara Nonprofit Kft., Budapest
- [14] Szepesházi, R. (2011): Cölöpalapok CPT-alapú méretezése az Eurocode 7 követelményei szerint, Vasbetonépítés. Journal of the hungarian group of fib, XIII. évfolyam, 3. szám
- [15] Vrettos, C. (2007): Current design practice for axially loaded piles and piled rafts in Germany, Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Technical University of Kaiserslautern, Germany

- [24] Kaczvinszki-Szabó V., Telekes G. (2023): Can the pile load test curves be estimated? AIP CONFERENCE PROCEEDINGS 2928 : 1 pp. 090015-090022., 8 p.
- Weboldalak:
- [7] Kreativlakas.com (2024) Magasépítészet. Kútalapok, szekrényalapok, résfalas alapozás, <https://kreativlakas.com/magasepiteszet/kutalapok-szekrenyalapok-resfalas-alapozas/>
- [8] Sulinet Tudásbázis (2024) Az építéstan alapjai, Résfalas alapozás alkalmazása, kialakítása, <https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/szakkepzes/epiteszet/az-epitestan-alapjai/resfalas-alapozas-alkalmazasa-kialakitasa/resfal-kivitelezesi-modjai>

9.2 Ábrajegyzék

- [16] Farkas, J., Józsa, V. (2014) : ALAPOZÁS, Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [17] Faur, K.B., Imre, S. (2011): Geotechnika. Miskolci Egyetem Földtudományi Kar, Miskolc
- [18] Farkas, J. (1994): ALAPOZÁS. Előadási jegyzet, Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [19] Magyar Mérnöki Kamara (2016): Korszerű cölöpalapozások tervezése geotechnikai, tartószerkezeti és technológiai szempontok alapján, Budapest
- [20] Szepesházi R., (2008): Geotechnika, Egyetemi jegyzet, Győr
- [21] Petik, Cs. (2008): Az Omega cölöpözési eljárás – elmélet és gyakorlat. Mérnökgeológia-Közetmechanika 2008, Szerk: Török, Á., Vásárhelyi, B. Műegyetemi Kiadó, Budapest
- [22] FUGRO Consult Kft. Talajvizsgálati jelentés és geotechnikai tervezési beszámoló – hídépítés
- [23] Vrettos, C. (2007): Current design practice for axially loaded piles and piled rafts in Germany, Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering, Technical University of Kaiserslautern, Germany

9.3 Szabványok

- **MSZ EN 1998-1:2008: Eurocode 8**
- **DIN 1054:2005**
- **MSZ EN 1536:2016**
- **MSZ EN 1997**

9.4 Mellékletek

- S01 – Helyszínrajz
- S02 – C hídpillér metszete és cölöpkiosztás
- S03 – D hídfő metszet és cölöpkiosztás
- S04 – C-D cölöpök vasalása