Szent István Egyetem

Ybl Miklós Építéstudományi Kar

SZAKDOLGOZAT

Királyfalvi Hunor

2016

SZENT ISTVÁN EGYETEM

YBL

YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST

Cölöp tervezés statikus szondázás alapján

Királyfalvi Hunor

Belső konzulens:

Keszeyné Dr Say Emma

Külső konzulens:

Juhász Miklós

Budapest

2016

SZENT ISTVÁN
EGYETEM

Dr. Dombay Gábor PhD, Eur Ing
intézetigazgató, főiskolai tanár

YBL

YBL MIKLÓS ÉPÍTÉSTUDOMÁNYI KAR, BUDAPEST
ÉPÍTŐMÉRNÖKI INTÉZET
Cím: 1146 Budapest, Thököly út 74.
Tel.:+36-1-252-1270
e-mail: epitomernoki.intezet@ybl.szie.hu

SZAKDOLGOZAT KIÍRÁS
2017

Királyfalvi Hunor

Nappali Építőmérnök szakos
hallgató részére

A feladat címe: Cölöptervezés statikus szondázás alapján

Belső konzulens: Keszeyné Dr. Say Emma egyetemi docens

Külső konzulens: Juhász Miklós ügyvezető, Tanpe Kft.

A szakdolgozat beadási határideje: 2017. január 6. (péntek) $12^{\underline{00}}$

Budapest, 2016. december 20.

Dr. Dombay Gábor
intézetigazgató

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés 3
2. Alapozások 3
2.1 Történeti áttekintés 3
2.2 Alapozások csoportosítása 4
3. Cölöpalapozás 6
3.1 Cölöpök osztályozása 7
3.2 Cölöpözési technológiák 9
3.3 Cölöpök méretezési módszerei 18
3.4 Cölöpök próbaterhelésének szabványi háttere 18
4. CPT alapú méretezés 29
4.1 Méretezés menete 29
4.2 Statikus szonda 34
5. A helyszín részletes bemutatása 37
5.1 Geotechnikai adottságok bemutatása 37
5.1.1 A helyszín ismertetése 39
5.1.2 Építésföldtani és vízföldtani viszonyok 42
5.1.3 A helyszíni talajok mért tömörsége 48
5.2 A helyszínen végzett szondázás 48
6. Cölöpteherbírás számításainak és eredményeinek összehasonlítása 49
6.1 I. Talajmodell 49
6.1.1 Plaxis 8.2 49
6.1.2 GEO5 56
6.1.3 CPT 61
6.2 II. Talajmodell 67
6.2.1 1. Variáció 10 méter hosszúságú $50c_m$ átmérőjű cölöp 67
6.2.1.1 GEO5 67
6.2.1.2 CPT 72
6.2.2 2. Variáció 10 méter hosszúságú $60c_m$ átmérőjű cölöp 78
6.2.2.1 GEO5 78
6.2.2.2 CPT 79
6.2.3 3. Variáció 11 méter hosszúságú $50c_m$ átmérőjű cölöp 82
6.2.3.1 GEO5 82
6.2.3.2 CPT 83

6.2.4 4. Variáció 11 méter hosszúságú 60cm átmérőjű cölöp 88
6.2.4.1 GEO5 88
6.2.4.2 CPT 89
6.3 Számítási eredmény összehasonlítása 92
6.3.1 I. Talajmodell 92
6.3.2 II. Talajmodell 93
7. Cölöp vasalás számítása 94
8. Összefoglalás 95
9. Jelölések 96
10. Ábrák jegyzéke 99
11. Felhasznált irodalom 100

1. Bevezetés:

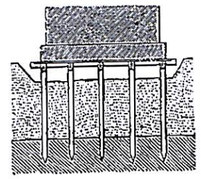
A szakdolgozatomban egy felüljáró cölöpalapozását terveztem át. Az áttervezést megelőzi az alapozás történeti áttekintése, azok csoportosítása osztályba sorolása. Később részletesen mutatom be a cölöpözési technológiákat, majd áttérek a próbaterhelésekre és azok bemutatására. A szakdolgozatomban főleg a statikus szondázással foglalkozok, amelynek szintén bemutatom a működését és a diagram alapján való cölöpteherbírás számítását. A cölöpteherbírást három féle módon számoltam ki: CPT alapján, Plaxis programmal és GEO5-el. A helyszínen két fúrást végeztek amelyek rétegződése eltérő, ezért a CPT és a plaxis program eredményei az egyik rétegződésnél eltértek. A teherbírás számításokat mind a két rétegződésben elvégeztem és összehasonlítottam az eredményeket. A cölöp paramétereit megváltoztatva is vizsgáltam a teherbírás változását és végezetül kiválasztottam a leggazdaságosabbat és ahhoz terveztem egy vasalást.

2. Alapozások

2.1 Történeti áttekintés

Az alapozás történelmi áttekintését Dr. Bartos Sándor és Králik Béla könyvéből részletesen megismerhetjük. Leírják, hogy az alapozás története összefonódik az építés történetével, tehát mondhatjuk, hogy az emberiség Őstörténetébe nyúlik vissza. Elmondják, hogy az alapozások történetét két nagy fejezetre oszthatjuk. Az első nagyobb történelmi szakasz az emberiség őstörténetétől a XIX. század közepéig tart, a második a modern ipar és közlekedés fejlődésétől egészen napjainkig tart. Az alapozás, mint munkafolyamat igen korán, már a neolitikumban megjelenik, hiszen olvasható, hogy már itt is találkozunk különféle alapozási megoldásokkal. „A legrégibb építőanyag a fa, melyből a favázas házak pillér alapját készítették. Ilyen parasztházak alapjainak maradványaira bukkantak Észak-Németországban, a Duna és a Rajna völgyében, a Kárpátok medencéjében, valamint Ukrajnában. A kőkorszakban

a cölöpökre való építkezés a jellemző, mellyel azt érték el, hogy a gleccserekből lezúduló vizek nem árasztották el az épületeket. A facölöpöket földbe ásták és helyenként kővel vagy fával ékelték körül." [1]



1. ábra Fa Cölöpalapozás

A szerzők leírják, hogy fát egyéb építményekhez is használtak a régi időkben, például mocsarakon és lápokon keresztül vezető, bronzkorból származó dorongutak alapjaihoz. Megemlítik a megalit építményeket is, ezeknél az építményeknél óriási kőtömbök alkották az alapot. Megtudjuk, hogy az ilyen hatalmas kőtömbökből való építkezések a nagy embertömegeket mozgató társadalmakban bontakoztak ki igazán, például az egyiptomi vagy a sumér társadalom. A méltán híres egyiptomi piramisok, és a sumér zikkuratok, valamint az inkák sziklavárai is ennek a korszaknak az alkotásai.[2]

2.2 Alapozások csoportosítása

A szerzőpáros tanulmányából kiderül, hogy az alapok az építményeknek több szempontból is sajátos részei, ezeket szinte minden esetben egyedileg szükséges megtervezni, hiszen az alapozási mód az adott geológiai, földrajzi, hidrogeológiai, talajmechanikai viszonyoktól, illetve a tervezett építmény szerkezetétől függ. Elengedhetetlen az is az alapozási mód megfelelő kiválasztásához, hogy megtudjuk az alapokra jutó terhelések nagyságát. Az alapozási mód kiválasztását az is befolyásolhatja, hogy a talaj állapota gyakran nem csak térben, de időben sem állandó. [3]

[1] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. Alapozás 1.1 Történelmi áttekintés 9.o. 1985 Budapest
[2] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. Alapozás 1.1 Történelmi áttekintés 9.o.
[3] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. 1.2 Az alapozás helye, szerepe, 1.3 Az alapozási mód kialakítása 11.-13.o.

Az alapozás csoportosításával kapcsolatban a szerzők szerint a legáltalánosabban elterjedt osztályozás azon alapszik, hogy az alapot felszín közeli, vagy pedig mélyen fekvő talajrétegre építjük. Az első eset szerint - tehát ha az alapot felszín közelében lévő talajrétegre építjük- síkalapról, a második esetben pedig mélyalapról beszélünk. „Azt az alapot tehát, amely a terhelést az építmény helyén a térszint közelében lévő altalajra adja át és így az építmény állékonysági biztonsága, vagy rendeltetése által megkívánt szintnél nem kerül mélyebbre és közvetlenül saját érintkező felületével adja át a terhelést az altalajnak síkalapnak nevezzük. Ezzel ellentétben azt az alapot, amely a ráállított építmény tömegét külön teherközvetítő, támasztóelemekkel, szerkezetekkel egy mélyebben fekvő, teherbíróbb talajrétegre adja át, mélyalapnak nevezzük."[4]

2. ábra Mélyalapozások Típusai

[4] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. Alapozás 1.4 Az alapok csoportosítása, osztályozása

3. Cölöpalapozás

Szakdolgozatomban a cölöpalapozást fogom részletesebben vizsgálni, amely a mélyalapok csoportjába tartozik. A mélyalapok közé soroljuk, - a cölöpalapozás mellett – a szekrényalapozást, a kútalapozást és a résfal alapozást is. [5]

A cölöpalapozás a mélyalapozás legrégebben ismert és legegyszerűbb fajtája. A cölöpök a cölöpalapozásban közvetítő elemként működnek az alapra nehezedő terhelés és a teherbíró talaj közt. Ilyen alapozást többek között a következő esetekben alkalmazhatunk Bartos és Králik szerint:

- ha a teherbíró talaj mélyen van, de 20-30 m-nél nincs mélyebben
- ha a talajvíz magasan található
- ha az épület süllyedésekre érzékeny, viszont nem elég merev
- ha más mélyalapozási mód áros lenne a közelben lévő építményekre
- ha a cölöpözéssel tudjuk növelni a talaj fajlagos teherbírását.[6]

Dr. Szepesházi Róbert tanulmányában leírja, hogy mi az a három ok, amely miatt az elmúlt két évtizedben a cölöpalapok - a síkalapok rovására - előtérbe kerültek. Ide sorolja azt, hogy manapság egyre gyakrabban kell olyan területeken építkezni, amelyek napjainkra épp a kedvezőtlen talajuk miatt maradtak beépítetlenek. Második okként azt emeli ki, hogy egyre nagyobb terhelésű, és süllyedésre érzékenyebb építményeket kell alapozniuk a szakembereknek, ezek számára pedig csak mélyebben található megfelelő teherbíró réteg. Végül elmondja, hogy a cölöpözés gépesítésének fejlődése az évek során növelte versenyképességét a síkalappal szemben.[7]

A cölöpöknek a síkalapokhoz viszonyított definíciója a következőkben foglalható össze:

- a cölöpök a terhüket a mélyebb talajrétegekre adják át a cölöp csúcsán és a köpenyén,

[5] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. Alapozás 1.4 Az alapok csoportosítása, osztályozása 20. o.
[6] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. Alapozás 3.2. Cölöpalapozás 152. o.
[7] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, Egyetemi jegyzet, harmadik korszerűsített kiadás, Győr 2008 7. Cölöpalapok 80. o.

- a cölöpök függőleges méretüket a teherbíró réteg mélysége, illetve a talajba való befogás szükséges hossza szabja meg, és általában H>5.D jellemző,

- a cölöpök készítése általában valamilyen "célszerszámmal", felülről, a járósíkról lefelé irányuló "manipulációval" történik.[8]

3.1 Cölöpök osztályozása

A cölöpöket több szempontból is tudjuk csoportosítani. Elkülöníthetjük őket például a cölöp anyaga, alakja, készítésének módja, teherátadás és átvétel, illetve igénybevétele szerint. [9]

A teherátadás módja szerint a következő csoportokat alkothatjuk:

- Álló cölöp: Álló cölöpök az olyan cölöpök, amelyek a rájuk jutó terheket –vagy ezeknek túlnyomó részét – a csúcsukon adják át a teherviselő rétegre.

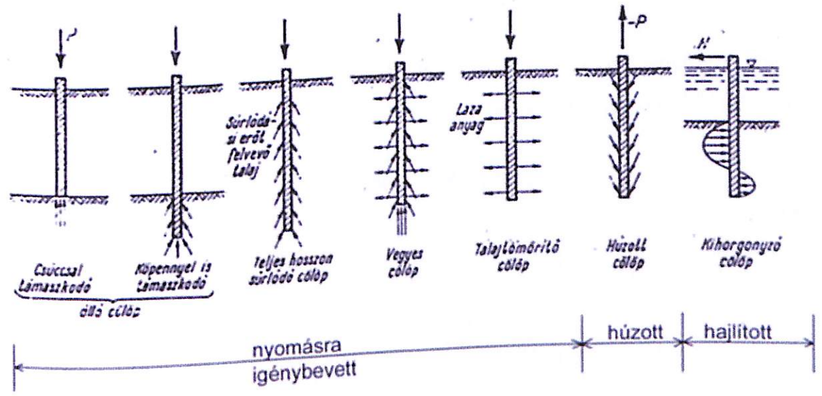
- Lebegő cölöp: A lebegő cölöp terhének túlnyomó részét a köpenyfelületével érintkező talajrétegekre adja át. Értelemszerűen ide sorolható minden húzott cölöp. A vízszintesen terhelt cölöpök a teherbíró talajba való befogásokkal adják át a terhelést az altalajra.

- Vegyes cölöp: Itt fontos megemlítenünk, hogy amennyiben a körülmények megengedik, általában álló cölöpök alkalmazására kell törekednünk. Szepesházi leírja, hogy a lebegő cölöpök elsősorban homogén szemcsés talajokban használhatók, amennyiben ezek teherbírása kielégítő, viszont nagyobb mélységben sincs olyan nagy teherbírású réteg, amelyen a csúcs különösen szilárdan feltámaszkodhat. A szerző szerint ez a típus nem ajánlható kötött talajokban. A hazai gyakorlatban ritkán fordul elő ennek két fő típusnak az éles szétválasztása, hiszen a legtöbb cölöp vegyes teherállású azaz, csúcsán és köpenyén egyaránt ad át erőket.

[8] Dr. Szepesházi Róbert Geotechnika Cölöpalapozás 80.o.
[9] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. Alapozás 3.2. Cölöpalapozás 152. o.

Még meg kell említenünk a csoportosításon belül az úgynevezett talajjavítás céljára készült cölöpöket. Ezek a cölöpök nem önmagukban hordják a terhelést, hanem a talaj tömörségét és teherbíróságát fokozzák. [10]

Igénybevétel módja szerint megkülönböztetünk nyomott, húzott és hajlított cölöpöket. [11]



3. ábra Cölöp Fajták Igénybevétel Szerint

A cölöpöket anyaguk szerint is tudjuk osztályozni. Anyaguk szerint beszélhetünk fa cölöpökről, amely régen igen gyakori típusnak számított, ám mára szinte teljesen eltűnt ez a típus. Ezt a fajtát ma már csak vízi építményeken alkalmazzák, vagy esetleg tájvédelmi okokból használhatják fel. A cölöpök anyaga lehet továbbá vasbeton, amely a leggyakoribb típus jelenleg. Léteznek acél cölöpök is, ez a típus ritka ugyan, de egyre inkább terjedőben van. [12]

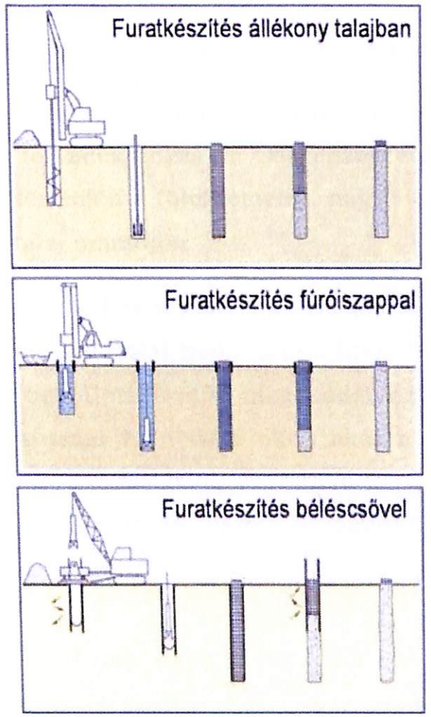
A cölöpalapozásokat tovább csoportosíthatjuk kivitelezési gyakorlat szerint is. Ez alapján beszélhetünk előre elkészített, vagy helyben gyártott cölöpökről. [13]

[10] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, Cölöpalapok 80. o.
[11] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, Cölöpalapok 81.o.
[12] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.1.3. A cölöpök fő jellemzői, osztályozásuk 83.o.
[13] Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. Alapozás 3.1. Mélyalapok osztályozása 151. o.

3.2 Cölöpözési technológiák

A következőkben a cölöpözési technológiákat szeretném részletezni, különös figyelmet fordítva a talaj kiszorításos technológiára, amely az a technológia, amellyel az esettanulmányom felüljárójának alapozása készült. A hazánkban ismert technológiák közül kettőt érdemes megemlítenünk, mindkét technológiáról részletesen olvashatunk Szepesházi könyvében.

Az első technológia amit Szepesházi könyvének segítségével ismertetni fogok, a talajhelyettesítéses cölöpözési technológia. Ez esetben a technológiai feladatok a



4. ábra Talajhelyettesítéses cölöp készítése

következők : földkiemelés, a furatfal biztosítása, betonbevitel, betontömörítés és végezetül a vasalásbehelyezés. Az első feladat, azaz a földkiemelés történhet mind fúrással, markolással és vízöblítéssel is.

Ha fúrással történik a földkiemelés, fontos, hogy a talajfajtához igazodjon a szerszám. Szepesházi felsorol több alternatívát is a különféle talajokhoz kapcsolódóan, innen tudhatjuk meg, hogy szemcsés talajokban leginkább a kanál- vagy dobfúró használata ajánlott, hiszen ennek az alja hasított, így a talaj kiemeléskor sem esik ki. Kötött talajokban a szerző szerint a spirálfúró a leghatékonyabb szerszám, hiszen a talaj a kohézió miatt a spirálon marad. Végül szót ejt a víz alatt lévő talajokról is, leírja, hogy ilyen típusú laza talajoknál iszapolóval lehet a talajt kiemelni. ez a szerszám egy csőből áll, amit az alján egy golyós szelep zár le.[14]

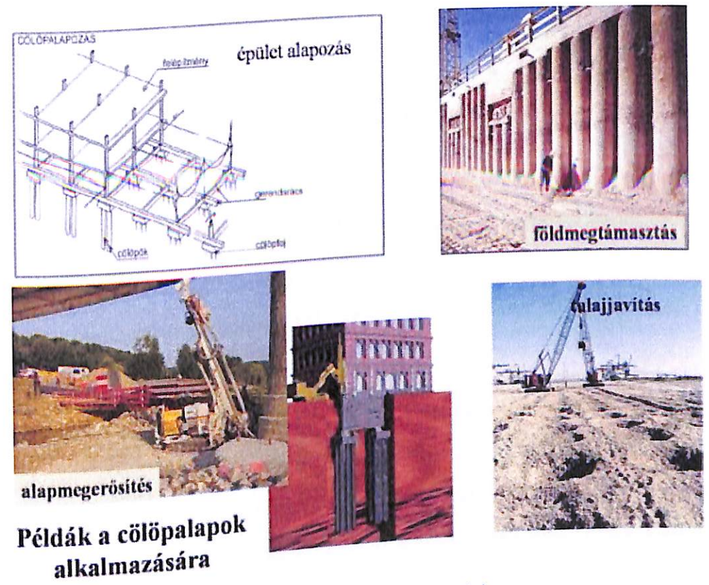
A kiemelés markolással is történhet, vannak olyan eljárások, amelyek a teljes mélységig ezzel dolgoznak, de más esetekben csak a felső, esetleg a durva épülettörmeléket is magában foglaló talajrétegeket harántolják ezzel a módszerrel át. [15]

Néhány szót ejt az öblítéses fúrásról is, ez esetben a fej csupán feltöri a furattalpat, és az anyagot már az öblítő folyadék hozza ki. Összegzésként fontos elmondanunk, hogy bármilyen módszerrel is történjen a földkiemelés, nagy odafigyelés szükséges, hogy a furat alján nehogy lazult talaj maradjon. [16]

A következő feladat a furatállékonyság biztosítása, ami a legnehezebb része a munkafolyamatnak, hiszen a furatfal beomlása számos bajt okozhat. Ilyen probléma lehet például az, hogy a beomlott furatfal megakadályozhatja a szerszám kiemelését, vagy esetlegesen folytonossági hiányokat okoz akár a cölöptestben. Továbbá egy sérült furatfal gyengítheti a vasalás és a beton kapcsolatát, illetve növelheti a betonfelhasználást. Szepesházi leírja, hogy a furatfal megtámasztásra a milyen lehetőségek állnak rendelkezésre.[17]

[14] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 84.o.
[15] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 84.o.
[16] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 84.o.
[17] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 84.o.

„Szemcsés talajokban gyakran fúróiszappal (bentonit szuszpenzióval) támasztják meg a furatfalat, melyet a horgonyfúráshoz, réseléshez is használnak. A legbiztosabb megtámasztás béléscsővel biztosítható, de ennek mozgatása meglehetősen nehéz, külön eszközt kíván, s toldása nagyban lassítja a munkát. (Különleges, nagyátmérőjű, hosszú cölöpökhöz már a cölöp körüli talaj előzetes szilárdításával is dolgoztak. Ez akkor lehet kifizetődő, ha a talaj a cölöphossz nagy részében önmagában állékony, csak egyes szakaszai nem.) A betonbevitel történhet gravitációsan vagy pneumatikusan, azaz nyomással segítve. Az utóbbi természetesen előnyösebb, bár hosszabb cölöpök esetén a folyós beton saját nyomása önmagában is jelentékeny. A nyomás egyben tömörítést is ad, a talpon biztosítja a felfekvést. Fontos, hogy a friss beton



5. ábra Példák cölöpök alkalmazására

mindig a már bennlevő felszíne alá kerüljön, s így maga előtt nyomja fel az esetleg talajjal keveredett első adagot. A bevitelhez külön betonozó tölcsért használnak, vagy a béléscsövön, ill. a fúrószáron át juttatják be a betont, mely általában elég folyós kell legyen, és csak finomabb adalékot tartalmazhat, hogy a dugulásokat elkerüljék.

Különös figyelmet kell fordítani a betonozás folyamatosságára."[18]
A következő feladat a munkafolyamat során a beton tömörítése. Erre számos lehetőség áll rendelkezésünkre, de Szepesházi kiemeli, hogy mindenképp oda kell figyelni arra, hogy ez a folyamat nehogy vízleadáshoz vezessen. „Lehet a betont csömöszölni beejtegetett döngölővel vagy a béléscső visszaverésével, mely főleg akkor hatékony, ha alján egy ilyenkor visszazárható sapka van. (A csömöszölés persze folyós betonban nem hatékony.) Lehet még tömöríteni vibrációval is, amit merülővibrátorral vagy a béléscső oszcilláló mozgatásával lehet kifejteni."[19]

Végezetül a vasalás behelyezése az utolsó munkafázis, amelyet a betonozás előtt is be lehet állítani a furatba, de itthon is megszokott eljárás a betonozás utáni levibrálás, lenyomás is.
Ez a technológia kiegészítésre is kerülhet valamilyen talpszélesítő eljárással. Ilyen eljárás például valamilyen speciális kinyitható fúrószerszám, vagy esetleg a csúcsba bevitt táguló test.[20]

Ezek után szeretnék áttérni a másik technológiára, azaz a talajkiszorítással készülő cölöpök technológiájára szeretnék figyelmet fordítani a következőkben. Ez esetben a feladatok a következők: a talajkiszorító elem kiválasztása és kialakítása, illetve a lehajtás.

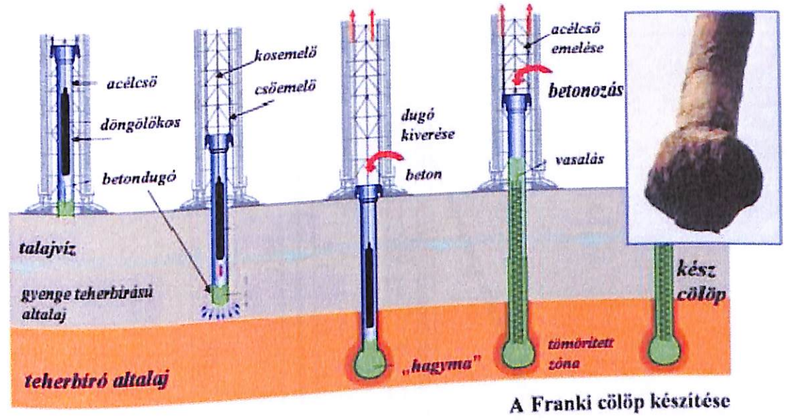
Ahogyan azt Szepesházi tanulmányában is olvashatjuk, a talajkiszorító elem a leggyakrabban előre gyártott vasbeton elem, amelyet külön csak erre a célra készítenek. A gyakorlatban, hazánkban a négyszög keresztmetszetű cölöpök terjedtek el, körülbelül 30-50 cm oldalhosszal. Érdemes megjegyeznünk, hogy körülbelül 16 méteres hosszig egyben gyártják ezeket az elemeket. Érdekesség, hogy napjainkban forgetéssel előállított hengeres vagy kúpos vasbeton cölöpöket is használnak. Szepesházi leírja, hogy nagyobb hossz esetén azonban darabokból álló cölöpöt lehet használni, ugyanis a lehajtó berendezések nem magasabbak ennél. Az elemek nyomatékbíró összekapcsolására már számos megoldást fejlesztettek ki a

[18] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 85.o.
[19] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 85.o.
[20] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 85.o.

szakemberek, azonban hazánk talajadottságainak köszönhetően ezekre nincs gyakran szükség. [21]

Az angol cölöp az előregyártott vasbeton elemek egy speciális fajtája, amely előállítás a következőképp történik: 0,5-1,0 m magas betoncső darabokat fűznek fel acélrúdra, illetve lehajtanak.[22]

Szepesházi tanulmányából megtudhatjuk, hogy fémelemek lehajtásával is kiszorítható



A Franki cölöp készítése

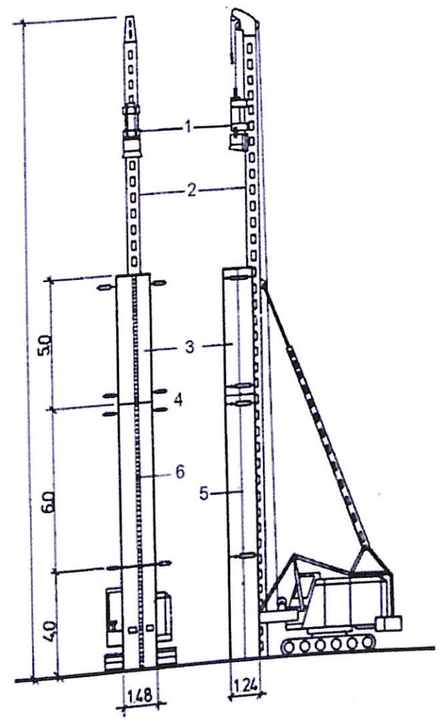
6. ábra Franki cölöpözés

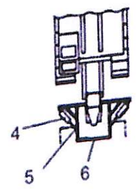
a talaj. A szakemberek leggyakrabban sima köpenyfelületű acélcsöveket használnak, ha verve vagy esetlegesen vibrálva akarják lehajtani őket. „Lecsavaráshoz spirállal ellátott köpenyfelületű csövet is használnak. A cső csúcsát a leggyakrabban elvesző saruval, egyes esetekben betondugóval (Franki) zárják le. A nyitott csövek is megfelelnek azonban, mert aljukon betömörödik a talajdugó. Öntött vas csőből áll az ún. Duktil-cölöp, melyet kúposan egymásba feszülő elemek alkotnak. A csövek helyett

[21] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 88.o.
[22] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 88.o.

- főleg külföldön - szóba jönnek hengerelt profilok, zárt szelvények is."[23]

A lehajtás módja általában verés. Ehhez a művelethez a szakemberek régen ejtőkost alkalmaztak, napjainkban már azonban kizárólag Diesel- vagy hidraulikus üzemű verőberendezéseket használnak, amelyeket befüggesztenek vagy esetleg rudazaton





1 Verőkalapács és -sapka
2 Vezetőrúd
3 Hangszigetelő köpeny
4 Légszelep
5 Zsanír
6 Gumiprofil

7. ábra Talajkiszorításos cölöpözés

[23] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 88.o.

mozgatnak. Ezeknek a korszerű berendezéseknek a verési paraméterei, például az ütésszám, az amplitúdó, vagy a teljesítmény változtathatók, hiszen igazodniuk kell a talajfajtához, illetve a lehajtandó elem tulajdonságaihoz. A szemcsés talajokban a vibráció hatékony megoldás lehet. Erre a módszerre is változtatható paraméterű berendezések állnak a szakemberek rendelkezésére. Mindkét eljárás esetében nagyon fontos az, hogy a szakemberek figyeljenek a zajhatásra, aminek csökkentésére hatékony eljárás lehet a zajárnyékolás.[24]

A szakemberek a lehajtást az öblítés módszerével is segíthetik, ehhez az szükséges, hogy a cölöpökön egy vékony csövet vezessenek végig. Fontos, hogy az öblítést a csúcs elérése előtt 1-2 m-rel abba kell hagyni. A csövön át utólagosan injektálható a cölöptalp, és pozitív hozadéka ennek az eljárásnak, hogy az így létrejövő szélesített talp növeli a teherbírást is.[25]

Szepesházi beszél a lecsavarás technológiájáról is, amit az évtized fejlesztésének nevez, ezért pár szóban én is szeretném megemlíteni. Ennek a módszernek a technológiája hasonló a CFA-cölöpözéshez, viszont itt a fúrószerszám kialakítása lehetővé teszi, hogy ne jöjjön ki a talaj. A lecsavarás egyik érdekes típusa a Screw-pile módszer, amit hazánkban is alkalmaznak. Ezt egy hosszú spirállal rendelkező cső lecsavarásával állítják elő úgy, hogy csavarva hozzák ki betonozás közben a szerszámot, ezzel elérik, hogy a cölöpalapozás spirális legyen. [26]

A továbbiakban szeretnék részletesebben is foglalkozni a talajkiszorításos technológiával. A technológiák közül a következőkkel foglalkozom bővebben: előregyártott vert vasbeton cölöp, Franki cölöp, illetve a Simplex cölöp.

---

[4] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 88.o.
[5] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 89.o.
[6] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 89.o.

8. ábra CFA cölöpözés

Az előregyártott vert vasbeton cölöp az a típus, amelyet még napjainkban is a leggyakrabban alkalmaznak, igaz, hogy használata némileg visszaszorult, ennek oka a zajvédelmi előírások szigorodása. A hazánkban is használatos termék jellemzőit Szepesházi tanulmányában olvashatjuk. A cölöp keresztmetszete általában 30x30 cm, magassága 6-12 m közé esik, betonminősége C 20, 8 db hosszvassal, sűrű kengyelezéssel, illetve védőcsúccsal rendelkezik. A cölöp lehajtása legtöbbször verősapkán keresztül történik, Diesel vagy hidraulikus üzemű verőkalapács segítségével. A napjainkban használt korszerű eszközök automatikusan rögzítik a verési paramétereket, és megadják a minőségtanúsítás alapjául szolgáló adatokat, ami a például a cölöp behatolásához szükséges ütésszám, és energia mélység szerinti változása. [27]

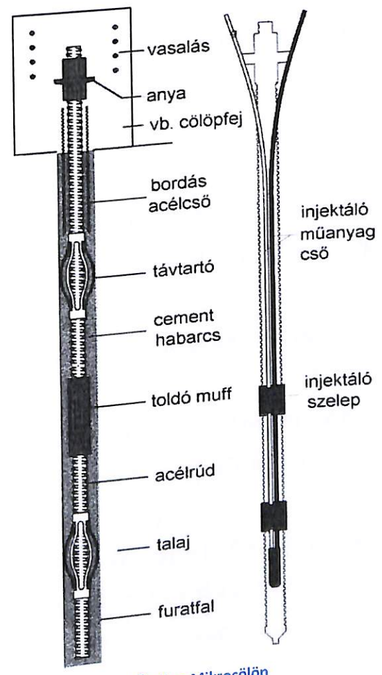
A Franki cölöpöket napjainkban már kevesebbszer alkalmazzák a szakemberek időigényes lehajtásuk miatt. Ezeket a típusú cölöpöket elsősorban a hidak, illetve az ipari épületek alapozására használták. A technológia nagy előnye, hogy a cölöp hossza egyes határok között igazítható a rétegződéshez.[28]

A Franki cölöp elkészítése a következőképp zajlik: „Egy célgépre szerelt acélcsövet az

[27] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 89.o.
[28] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 89.o.

aljában elhelyezett betondugó döngölésével hajtanak le. A tervezett mélységet elérve rögzítik a csövet, és a betondugót kiverik, így az alul hagymaszerűen kitüremkedik. Beállítják a vasalást, majd beöntik a száraz betont, s a döngölővel - a cső visszahúzása közben - tömörítik. Így a beton a talajba nyomul tovább tömörítve azt, ill. "érdes" kapcsolatot hozva létre a köpeny és a talaj közt."[29]

Simplex cölöpnek nevezzük azt a típusú cölöpöt, amelyet egy elvesző acél saruval ellátott csőnek a levibrálásával, vagy a leverésével állítanak elő. Ehhez hasonló cölöpöket más néven is alkalmaznak Európa egyéb területein. A technológia a következőképp zajlik: először a cső visszahúzásával egy időben kell kibetonozni az üreget, majd a tömörítést a cső vibrálásával vagy visszaverésével kell segíteni, majd ezek után, utólag kell bevibrálni a vasbetéteket. A visszaverésnek köszönhetően a



9. ábra Mikrocölöp

[29] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 89.o.

csúcs átmérője is növelhető. Ehhez hasonló eljárásokat hazánkban is alkalmaznak a szakemberek, 30 cm-es "normál" illetve 17-24 cm átmérőjű mikrocölöpként is. [30]

3.3 Cölöpök méretezési módszerei

A Cölöpök törőerejét több féle képen meghatározhatjuk.
Például statikus próbaterhelés alapján. A helyszínen a már megtervezett cölöpfajtán vagy hasonló próbaterhelések eredményeinek adaptálásával. Vagy számíthatjuk az altalajszelvény alapján statikus szondadiagramból, nyírószilárdsági paraméterekből vagy azonosító paraméterekből. Dinamikus próbaterhelésből is meghatározható korrelációs összefüggésből vagy verési képlettel.

3.4. Cölöpök próbaterhelésének szabványi háttere

A következőkben szeretném bemutatni a szabványon keresztül a cölöpök próbaterhelését amely alapján én is számoltam a diplomamunkámban a cölöp teherbírását:

„Általános elvek

(1)P Cölöp-próbaterhelést kell végezni a következő esetekben:
- ha olyan cölöptípust vagy -készítési módszert alkalmaznak, amelyre nincs összehasonlítható tapasztalat,
- ha a cölöpöket hasonló talaj- és terhelési viszonyok között még nem vizsgálták próbaterheléssel;
- ha a cölöpök olyan terhelést kapnak, amelyre sem az elmélet, sem a tapasztalat nem ad kellően megbízható támpontot a tervezéshez. Ilyenkor a próbaterhelést a várthoz hasonló terheléssel kell végrehajtani;
- ha a cölöp készítése közben végzett megfigyelések azt jelzik, hogy a cölöp viselkedése erősen és kedvezőtlenül tér el a helyszín vizsgálata és a tapasztalat alapján elvárttól, és ha a kiegészítő altalajvizsgálatok sem tisztázzák az eltérés okait.

(2) Cölöp-próbaterhelés végezhető:

[30] Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, 7.2.1. A talajhelyettesítéssel készülő cölöpök technológiája 89.o.

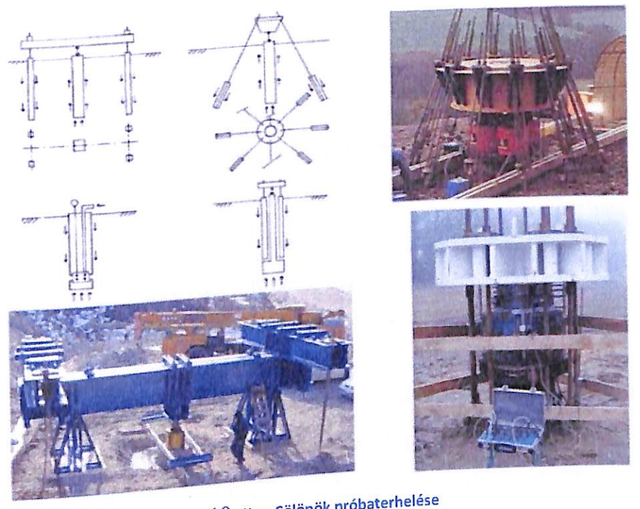
- az építési eljárás alkalmasságának megítélésére;

-a tervezett cölöp és a környező talaj terhelés alatti viselkedésének meghatározására, mind a süllyedések, mind a törőerő tekintetében;

- a cölöpalap egészének megítélésére.

(3) Ahol a terhelésváltozások modellezésének nehézsége miatt próbaterhelés nem hajtható végre (pl. ismétlődőterhelések esetében), ott az anyagjellemzők tervezési értékeit indokolt nagyon óvatosan felvenni.

(4)P Ha csak egyetlen cölöp-próbaterhelésre kerül sor, akkor annak helye általában ott legyen, ahol a legkedvezőtlenebbnek vélelmezhetők a talajviszonyok. Ha ez nem lehetséges, akkor ráhagyással kell megállapítani a nyomási ellenállás karakterisztikus értékét. [31]



10. ábra Cölöpök próbaterhelése

(5)P Két vagy több cölöp próbaterhelése esetén a cölöpalapozás területének egészére jellemző próbaterhelési
helyeket kell választani, az egyik cölöp-próbaterhelést pedig azon a helyen kell elvégezni, ahol a talajviszonyok
feltehetőleg a legkedvezőtlenebbek.

[31] Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

(6)P A próbacölöp elkészülte és a próbaterhelés kezdete között kellő időnek kell eltelnie ahhoz, hogy a cölöp
anyaga kellően megszilárduljon, és hogy a pórusvíznyomás az eredeti értékére visszaálljon.
(7) Bizonyos esetekben . a terhelés kezdési időpontjának helyes megválasztása céljából . szükséges lehet a próbacölöp készítése miatt keletkező pórusvíznyomások, illetve a készítés utáni csökkenésük mérése.

Statikus próbaterhelések

A terhelési eljárás

(1)P A cölöp-próbaterhelési eljárás, főként a terhelési lépcsők száma, ezek időtartama, valamint a terhelési ciklusok beiktatása olyan legyen, hogy a cölöpön mért adatokból következtetni lehessen a cölöpalapozás várható alakváltozási viselkedésére, kúszására és a tehermentesítése utáni visszarugózásra. Próbacölöpök esetében a terhelés olyan legyen, hogy a törőerőre is lehessen következtetni.
(2) Az erők, a feszültségek, az alakváltozások és az elmozdulások mérésére szolgáló eszközöket kívánatos a vizsgálat előtt kalibrálni.
(3) A nyomó vagy húzó igénybevételre vizsgált cölöpök próbaterhelésekor az alkalmazott erő a cölöp hossztengelyébe essék.
(4) A húzott cölöpökből álló alapozás megtervezése céljából végzett cölöp-próbaterheléseket általában a törési állapot eléréséig kell folytatni. Húzási vizsgálatok esetében általában nem engedhető meg az erő-elmozdulás görbe extrapolálása.

Próbacölöpök

(1)P A terv igazolásához szükséges próbacölöpök számát a következők alapján kell meghatározni:
- a talajviszonyok és változékonyságuk az építés helyén;
- a tartószerkezet geotechnikai kategóriája, ha ez lényeges;

- azonos típusú és hasonló talajadottságú cölöpök teljesítőképességét dokumentáló korábbi adatok;
- az alapozási tervben szereplő összes cölöp száma és típusa.

(2)P A próbacölöpözés helyének talajviszonyait alaposan meg kell vizsgálni. A fúrások vagy a terepi vizsgálatok mélysége legyen elégséges ahhoz, hogy mind a cölöp körüli, mind a csúcs alatti talajok jellemzőit meg lehessen ismerni. Meg kell vizsgálni a cölöp viselkedését jelentősen befolyásoló valamennyi réteget.

(3)P A próbacölöpök készítésére alkalmazott módszer legyen teljes részletességgel dokumentálva.

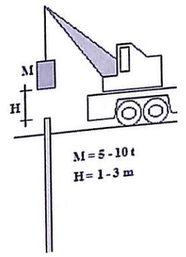
Szerkezeti cölöpök

(1)P Elő kell írni, hogy a próbaterhelésre kijelölendő szerkezeti cölöpök számát az építés közben jegyzőkönyvezett észlelések alapján kell meghatározni.

(2)P A vizsgálandó szerkezeti cölöpökre adandó teher legalább akkora legyen, mint az alapozásra jutó teher tervezési értéke.

[32]*Dinamikus cölöp-próbaterhelések*

(1) Dinamikus próbaterhelések eredményeit is felszabad használni a nyomási ellenállás meghatározására, feltéve hogy a helyszín vizsgálata megfelelő volt, és a módszert hasonló hosszúságú és keresztmetszetű, azonos típusú cölöpön



11. ábra Dinamikus próbaterhelés

[32] http://dynatest.hu/dynatest/142/Dinamikus-colop-probaterheles.html

összehasonlítható talajviszonyok mellett végzett statikus próbaterhelésekkel összevetve kalibrálták.

(2)P Ha többféle dinamikus vizsgálatot végeznek, akkor a különböző típusú dinamikus vizsgálatok eredményeit egymással is össze kell hasonlítani.

(3) A dinamikus próbaterhelések a cölöpök egyöntetűségének kimutatására, illetve a gyenge cölöpök felderítésére is használhatók.

Próbaterhelési jelentés

(1)P Elő kell írni, hogy mindegyik próbaterhelésről tényszerű jelentést kell készíteni. Az adottságokhoz igazodóan a következők álljanak a jelentésben:

- a helyszín ismertetése;
- a talajviszonyok, hivatkozással a talajvizsgálatokra;
- a cölöp típusa;
- a cölöpkészítés és bármely közben felmerült probléma ismertetése;
- a terhelő- és a mérőberendezés, valamint az ellentartás megoldásának ismertetése;
- a terhelőcellák, a sajtók és az elmozdulás mérő órák kalibrálását igazoló iratok;
- a vizsgált cölöpök készítésekor felvett jegyzőkönyvek;
- a vizsgált cölöp és a vizsgálat helyének fényképes bemutatása;
- a vizsgálati eredmények számszerű formában;
- az idő-süllyedés diagram mindegyik terhelési lépcsőre, ha lépcsős próbaterhelést végeztek;
- a mért erő-süllyedés görbe;
- az előző követelményektől való bármely eltérés indoklása.

Tengelyirányban terhelt cölöpök

Általános elvek:

Tervezés határállapotra

(1)P A tervben igazolni kell, hogy a következő határállapotok bármelyikének túllépése elfogadható mértékben
valószínűtlen:
- az egyedi cölöp nyomási vagy húzási ellenállásának kimerülése miatti teherbírási határállapotok;
- a cölöpalap mint egész szerkezet nyomási vagy húzási ellenállásának kimerülése miatti teherbírási határállapotok;
- a cölöpalap nagy elmozdulása vagy elmozdulás-különbségei által okozott, a tartószerkezet összeomlásával vagy súlyos károsodásával járó teherbírási határállapotok;
- a cölöpök elmozdulása miatt a tartószerkezetben bekövetkező használhatósági határállapotok.

(2) A tervezés során általában a nyomási vagy húzási ellenállás kimerüléséhez viszonyítva kell tartalékot biztosítani, melyek azt az állapotot jelentik, amelyben a cölöpök alig észlelhető ellenállás-növekedés mellett folyamatosan hatolnak be a talajba vagy húzódnak ki belőle.

(3) Nyomott cölöpök esetében gyakorta nehéz megállapítani a teherbírási határállapot elérését, ha az erősüllyedés összefüggést ábrázoló vonal folyamatosan görbül. Ilyen esetekben a cölöptalp átmérőjének 10%-át kitevő cölöpfej-süllyedést célszerű a törés kritériumaként elfogadni.

(4)P A nagy süllyedést elszenvedő cölöpök esetében a tartószerkezet teherbírási határállapota a cölöpök teljes ellenállásának mobilizálódása előtt bekövetkezhet. Az ilyen esetekben a süllyedések lehetséges tartományának óvatosan becsült értékét kell a tervezéshez felhasználni.

Általános állékonyság

(1)P A nyomott cölöpöket is magába foglaló alapozás általános állékonyságának elvesztése miatt bekövetkező törési állapot lehetőségét kell vizsgálni.

(2) Ahol állékonyságvesztés bekövetkezhet, ott ajánlatos megvizsgálni mind a cölöpök alatt haladó, mind a cölöpöket átmetsző törési felületeket.

(3)P A cölöpöket magába foglaló talajtömb felúszása miatti tönkremenetelt kell ellenőrizni.

A talajkörnyezetből származó nyomási ellenállás

Általános elvek

(1)P Annak igazolására, hogy a cölöpalap a teher tervezési értékét a nyomási ellenállásának kimerülésével
szemben kellő biztonsággal viseli, a következő egyenlőtlenség teljesülését kell valamennyi teherbírási határállapot
terhelési eseteire és teherkombinációra kimutatni:

$F_{c;d} \leq R_{c;d}$

(2) Elvileg az $F_{c;d}$-nek tartalmaznia kell a cölöp önsúlyát is, az $R_{c;d}$-nek pedig a cölöpöt körülvevő talajoknak a cölöptalp mélységében ható nyomását is. E két tételt azonban el lehet hanyagolni, ha megközelítően azonos nagyságúak. Nem hanyagolhatók el viszont, ha:

- a negatív köpenysúrlódás jelentős nagyságú;
- a talaj nagyon könnyű;
- a cölöpfej a terepszint fölé ér.

(3)P Cölöpcsoportok esetében két törési mechanizmust kell vizsgálni:

- az egyedi cölöpök nyomási ellenállásának kimerülését;
- a cölöpök és a köztük lévő talaj alkotta tömb nyomási ellenállásának kimerülését.

A kettő közül a kisebbet kell az ellenállás tervezési értékének tekinteni.

(4) A tömbként működő cölöpcsoport nyomási ellenállását általában úgy lehet számítani, mintha a tömb egyetlen nagy átmérőjű cölöp lenne.

(5)P Az alap nyomási ellenállásának meghatározásakor figyelembe kell venni a cölöpöket összefogó tartószerkezet merevségét és szilárdságát.

(6) Ha a cölöpök merev tartószerkezetet támasztanak alá, kihasználható a tartószerkezet azon képességéből származó kedvező körülmény, hogy a tartószerkezet a cölöpök között elosztja a terhelést. Határállapot ilyen esetben csak akkor következhet

be, ha több cölöp egyszerre kerül törési állapotba, ezért az egyedi cölöp törési állapotát nem kell vizsgálni.

(7) Ha a cölöpök hajlékony szerkezetet támasztanak alá, indokolt azt feltételezni, hogy a leggyengébb cölöp nyomási ellenállásától függ a határállapot bekövetkezése.

(8) Különös gonddal kell vizsgálni a szélső cölöpök törési állapotát, melyet az alátámasztott szerkezetről átadódó ferde vagy külpontos terhelés okozhat.

(9)P Ha a cölöpök által közvetlenül terhelt réteg alatt gyengébb réteg van, akkor a gyenge rétegnek az alapoz ás nyomási ellenállására kifejtett hatását figyelembe kell venni.

(10)P A cölöp talpellenállásának számításakor figyelembe kell venni a cölöptalp alatti és feletti talajzóna szilárdságát.

MEGJEGYZÉS: E talajzóna cölöpcsúcs alatti és feletti vastagsága a cölöp átmérőjének többszörösére terjedhet ki. Az ebben a zónában előforduló bármely gyenge talajnak viszonylag nagy a befolyása a talpellenállásra.

(11) Ha a cölöptalp alatt a négyszeres cölöpátmérőnek megfelelő mélységen belül van gyenge talaj, akkor indokolta cölöptalp alatti talaj átszúródásának lehetőségével számolni.

(12)P Ha a talp átmérője nagyobb a cölöptörzs átmérőjénél, akkor ennek lehetséges kedvezőtlen hatását vizsgálni kell.

(13) A nyitott végű, bármely irányban 500 mm-nél nagyobb nyílású, cső- vagy zárt szelvényű, vert cölöp esetében, ha a dugó kialakulásának elősegítésére nincs valamilyen speciális eszköz a cölöp belsejébe beépítve, akkor a talpellenállást a következő két érték közül a kisebbre kell felvenni:

- a talajdugó és a cölöp belső oldalfelülete közötti nyírási ellenállás;
- a cölöptalp keresztmetszeti területével számítható talpellenállás.

A nyomási ellenállás meghatározása statikus próbaterhelésekből

(1)P A próbaterhelés végrehajtásának módja legyen megadva a geotechnikai tervezési beszámolóban.

(2)P Az előzetesen vizsgálandó próbacölöpöket ugyanolyan módon kell készíteni és ugyanabba a rétegbe kell lejuttatni, mint az alapozás részeként készülő szerkezeti cölöpöket.

(3) Ha a próbacölöp átmérője különbözik a szerkezeti cölöpökétől, akkor a nyomási ellenállás megállapításakor szükséges számításba venni a különböző átmérőjű cölöpök teljesítőképességének lehetséges eltéréseit.

(4) Nagyon nagy átmérőjű cölöpök esetében általában gyakorlatilag lehetetlen a próbaterhelést az ilyen nagy átmérőjű próbacölöpön végrehajtani. Ilyenkor kisebb átmérőjű próbacölöpön is elvégezhető a próbaterhelés, feltéve hogy:

-a próbacölöp és a szerkezeti cölöp átmérőjének hányadosa legalább 0,5;

- a kisebb átmérőjű próbacölöpöt ugyanolyan módon készítik és juttatják a helyére, mint a szerkezeti cölöpöket;

- a próbacölöp műszerezése lehetővé teszi a talpellenállás és a palástellenállás elkülönített meghatározását.

Nyitott végű vert cölöpök esetében ajánlatos óvatosan kezelni ezt az eljárást, mert az átmérő befolyásolja a cölöpben lévő talajdugó nyomási ellenállásának a mobilizálódását.

(5)P Negatív köpenysúrlódással terhelt cölöpalap esetében a cölöpnek a próbaterhelésből meghatározott ellenállását módosítani kell, azt akár valódi talajtörést okozó erőként, akár valamely teherbírási határállapot igazolására megállapított kritériummal egyező elmozduláshoz tartozó erőként értelmezték. A módosítást úgy kell megvalósítani, hogy a cölöpfejnél mért erőből le kell vonni azt a pozitív palástellenállást, amely az összenyomhat ó rétegben és a fölötte lévő, a negatív köpenysúrlódásban szintén részes többi rétegben a próbaterheléskor keletkezett. Értékét méréssel lehet megállapítani, vagy a negatív köpenysúrlódás szempontjából legkedvezőtlenebbnek gondolható értékkel lehet kiszámítani.

(6) A negatív köpenysúrlódással is igénybe vett cölöp próbaterhelése során a cölöp teljes hosszában pozitív köpenysúrlódás működik. A szerkezeti cölöpök próbaterhelésekor a legnagyobb teher legyen nagyobb a külső erők tervezési értékének és a negatív köpenysúrlódásból számított erő kétszeresének az összegénél.

(7)P Ha a nyomási ellenállás *R*c;k karakterisztikus értékét egy vagy több próbaterhelés mért *R*c;m értékeiből határozzuk meg, számolni kell a talajadottságok és a cölöpkészítés hatásainak lehetséges változékonyságával.

(8)P Az olyan szerkezetek esetében, amelyek nem képesek átvinni az erős cölöpökre a gyengékre. jutó terheket, legalább a következő egyenlőségnek kell teljesülnie:

$$R_{c;k} = \text{Min}\left\{\frac{(R_{c;m})_{mean}}{\xi_1}; \frac{(R_{c;m})_{min}}{\xi_2}\right\}$$

[33]

amelyben ξ1 és ξ2 a vizsgált cölöpök számától függő korrelációs tényezők, melyek az *R*c;m-értékek (*R*c;m)mean átlagos,

illetve (*R*c;m)min legkisebb értékre vonatkoznak.

A9. táblázat: ξ korrelációs tényezők a karakterisztikus értékek statikus próbaterhelésből való származtatásához (*n* = a próbaterheléssel vizsgált cölöpök száma)

ξ, ha *n*	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

MEGJEGYZÉS: A korrelációs tényezők értékeit a nemzeti melléklet állapíthatja meg. Az A9. táblázat az ajánlott értékeket tartalmazza.

(9) Azon szerkezetek esetében, amelyek merevsége és szilárdsága elég nagy ahhoz, hogy a .gyenge. cölöpökről áthárítsanak terheket az .erősekre., a ξ1 és ξ2 értékeket szabad 1,1-del osztani, de ξ1 sohasem lehet 1,0-nél kisebb.

(10)P A cölöp-próbaterhelések értékelésekor figyelembe kell venni, hogy melyek a talaj változásának a trendjellegű és melyek a véletlenszerű elemei.

(11)P Ellenőrizni kell a próbacölöp(ök) készítéséről felvett jegyzőkönyveket, és a szokásos kivitelezési körülményektől való bármely eltérésről számot kell adni.

(12) A nyomási ellenállás *R*c;k karakterisztikus értéke származtatható a talpellenállás *R*b;k és a palástellenállás

[33] MSZ EN 1997-1-2006

Rs;k karakterisztikus értékeinek összegeként:

Rc;k = Rb;k + Rs;k

(13)

A6. táblázat: Az ellenállások (γ_R) parciális tényezői vert cölöpök esetében

Az ellenállás típusa	Jel	Értékcsoport			
		R1	*R2*	*R3*	*R4*
Talpellenállás	γ_b	1,0	1,1	1,0	1,3
Nyomott cölöp palástellenállása	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	γ_t	1,0	1,1	1,0	1,3
Húzott cölöp palástellenállása	$\gamma_{s;t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

A7. táblázat: Az ellenállások (γ_R) parciális tényezői fúrt cölöpök esetében

Az ellenállás típusa	Jel	Értékcsoport			
		R1	*R2*	*R3*	*R4*
Talpellenállás	γ_b	1,25	1,1	1,0	1,6
Nyomott cölöp palástellenállása	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	γ_t	1,15	1,1	1,0	1,5
Húzott cölöp palástellenállása	$\gamma_{s;t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

A8. táblázat: Az ellenállások (γ_R) parciális tényezői folytonos spirállal fúrt (CFA) cölöpök esetében

Az ellenállás típusa	Jel	Értékcsoport			
		R1	*R2*	*R3*	*R4*
Talpellenállás	γ_b	1,1	1,1	1,0	1,45
Nyomott cölöp palástellenállása	γ_s	1,0	1,1	1,0	1,3
Nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	γ_t	1,1	1,1	1,0	1,4
Húzott cölöp palástellenállása	$\gamma_{s;t}$	1,25	1,15	1,1	1,6

Ezek az összetevők származtathatók közvetlenül a statikus próbaterhelési eredményekből, vagy becsülhetők a talajvizsgálatok vagy dinamikus próbaterhelések eredményei alapján is.

(14)P Az ellenállás Rc;d tervezési értékét vagy az

Rc;d = Rc;k/ ƀt

vagy az

Rc;d = Rb;k/ϕb + Rs;k/ ϕs

összefüggésből kell meghatározni.

MEGJEGYZÉS: A parciális tényezők értékeit a nemzeti melléklet állapíthatja meg. A tartós, illetve ideiglenes helyzetekre ajánlott értékeket az A6., A7. és A8. táblázat tartalmazza"[34]

[34] MSZ EN 1997-1-2006

4. CPT alapú méretezés

A továbbiakban a CPT-n, vagyis a statikus szondázáson alapuló empirikus méretezési módszerekkel szeretnék foglalkozni.

Napjainkban ez a legáltalánosabban alkalmazott cölöpméretezési eljárás, hiszen számos összehasonlító elemzés is kimutatta, hogy ez a módszer általában hatékonyabb, mint a szemiempirikus módszerek. Az Eurocode 7-2-ben megjelent eljárás gyakorlatilag a holland módszer, amelyet a „Dutch cone-nal" mért „qc" csúcsellenállást felhasználva fejlesztették ki az ötvenes években, párhuzamosan végzett szondázások és próbaterhelések összevetésével. Fontos megjegyeznünk azonban, hogy ezt a módszert a hollandiai talajadottságok miatt csak a szemcsés talajokra dolgozták ki, jelenleg még kezdetleges a kötött talajokra való kiterjesztése.[35]

4.1 Méretezés menete

A CPT-n alapuló módszereket két csoportba oszthatjuk.

Egyrészt beszélhetünk közvetlen módszerekről. Az ilyen típusú módszerek CPT-vel mért „qc"ellenállásból állapítják meg a cölöpök talpellenállását, a cölöp „qc" palástellenállást pedig ugyanebből, vagy a szondával mért „fs" köpenysúrlódásból közvetlenül, valamely empirikus szorzót alkalmazva állapítják meg.[36]

Másrészt beszélhetünk közvetett módszerekről is. Ez esetben a „CPT-szonda qc csúcsellenállásából előbb valamilyen összefüggést alkalmazva a talaj nyírószilárdságát (<p' vagy cu) határozzuk meg, s aztán abból valamilyen szemiempirikus módszerrel számítjuk a cölöpellenállásokat."[37]

[35] Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei, Miskolc, 2007. június, 3.1. Áttekintés 19.o.
[36] Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei, 3.1. Áttekintés 19.o.
[37] Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei, 3.1. Áttekintés 19.o.

Koppejan kutatásai alapozták meg a holland módszert, amit az Eurocode 7-2 is átvett. Ezt az eljárást Van Tol jegyzetéből, illetve Everts és Luger szabványismertetőjéből ismerhetjük meg behatóan, de a háttérről bővebb információ nincs.[38]

„A fajlagos talpellenállást a

$$q_b = \alpha_b \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{clm} + q_{cIImean}}{2} + q_{cIIIm} \right)$$

képlettel lehet a<15 MPa korlátozással számítani, ahol a_b

a cölöp típusát veszi figyelembe a 3.7 táblázat

szerint,

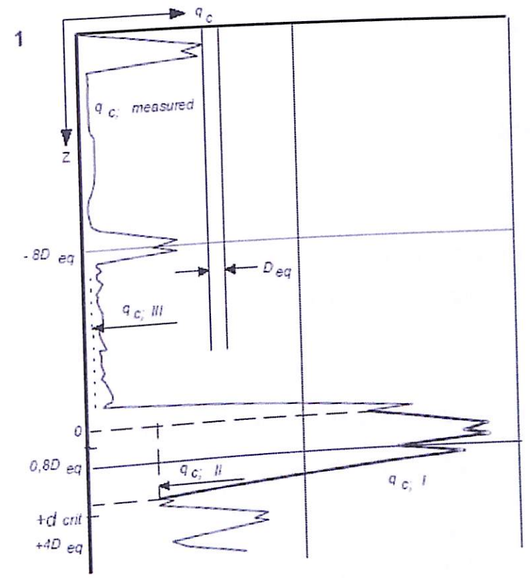
q_{clm} a cölöptalp alatti t zóna mért q_c-értékeinek az átlaga, mely t mélységet úgy kell 0,7-D és 4D között felvenni, hogy a számított q_b a legkisebb legyen,

q_{cIIm} a cölöptalp alatti t zóna legkisebb q_c-értékeinek átlaga, mely „legkisebb" értékeket úgy kell felvenni, hogy a t mélységtől a talpig felfelé haladva az előzőnél mindig csak kisebbeket szabad számításba venni,

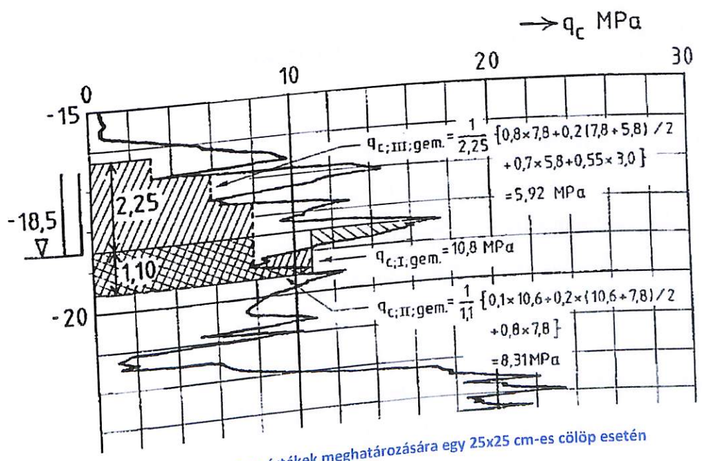
q_{cIIIm} a cölöptalp feletti 8 D zóna legkisebb qc-értékeinek az átlaga, mely „legkisebb" értékeket a talptól 8D-ig felfelé haladva az előbbi elv szerint kell felvenni, a talptól a qcII számításakor figyelembe vett utolsó értékből indulva.

Az előbbi qc-értékek értelmezéséhez az EC 7-2 a 3.6. ábrán látható értelmezést adja, mely azonban keveset segít. Jobban megérthető az eljárás a 3.7 ábráról mely van Tol (1993) művéből származik. Segíti továbbá az értelmezést, ha felismerjük, hogy a módszer tulajdonképpen Schmertmann eljárásával azonos, még ha a képletek különböznek is. Belátható ugyanis, hogy qc1=0,5^(qcIm+qcIIm) és qc2=qcIIm, s így Schmertmann javaslatát követve a 3.1. ábra szerint lefelé haladva kell a qcIm „igazi" átlagot meghatározni, míg í-től a minimumok vonalán felfelé haladva a qcIIm „átlagot"."[39]

[38] Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei, 3.1. Áttekintés 19.o.
[39] Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei, 3.1. Áttekintés 19.o.



12. ábra A jellemző qc értékek meghatározását magyarázó ábra az Eurocode 7-2-bol



13. ábra Példa a jellemző qc értékek meghatározására egy 25x25 cm-es cölöp esetén

Azt már tudjuk, hogy „a holland szabvány része a 3.4 ábrán látható redukció is, de az Eurocode 7-2-ből az kimaradt. A 3.4 ábra kapcsán a 3.1.2 fejezetben írtakat tehát e módszer alkalmazásakor is meg kell fontolni.

A palástellenállást az Eurocode 7-2, illetve a holland módszer a szokásos

$qs = \alpha s - qc$

képlettel számítja, amihez az as palástellenállási szorzót szemcsés talajok esetében szintén a 3.7, kötött talajok esetében a 3.8. táblázatból kell venni.

3.7 táblázat. A cölöpellenállások szorzója homoktalajokhoz az Eurocode 7-2 szerint

Cölöptípus		talpellenállási: α_b	palástellenállási: α_s (a)
talajkiszorításos cölöp	előregyártott vert vasbeton cölöp	1,0	0,010
	helyben betonozott cölöp	1,0	0,014
talajhelyettesítéses cölöp	CFA-cölöp	0,8	0,006 (b)
	fúróiszap védelmében fúrt cölöp	0,6	0,005

(a) Az értékek finom és durva homokra vonatkoznak, redukálni kell őket nagyon durva homok esetén 0,75, kavics esetén 0,5 szorzóval.

(b) Az érték a cölöpözés előtt készült CPT qc-értékeire alkalmazandó. Ha a CPT a kész cölöp közelében készült, akkor az érték 0,010-re növelhető.

Az Eurocode 7-2 itt 3.8 jelű táblázata kétségeket ébreszt. Az ajánlás önmagában is elég bátortalan, hiszen csak felső korlátokat tartalmaz, s a cölöptípusok tekintetében egyáltalán nem tesz különbséget. Az $1<qc<3$ MPa jellemzőjű agyagokra a szabványban $\alpha s<0,02$ van megadva, de az nagy valószínűséggel hibás, ezért helyette a jobban illeszkedő 0,04-et vezettük be. E javítással együtt is úgy tűnik, hogy e táblázat

alkalmazása nem biztonságos. Ennek nyilván az az oka, hogy - mint jeleztük - a módszert elsősorban homokokra dolgozták ki.

3.8 táblázat. A fajlagos palástellenállás szorzója kötött talajhoz az Eurocode 7-2 szerint

talajtípus	CPT súcsellenállás	palástellenállási szorzó
	qc MPa	αs
agyag	>3	< 0.030
	1 - 3	<0.040
	< 1	< 0.050
iszap		< 0,025
tőzeg		0

Az Eurocode 7-2-ből származó 3.7. táblázat megjegyzés rovatában már szerepel két korrekció, de még két további is van azonban a szövegben a palástellenállást illetően:

- ha 1.0 m-nél hosszabb szakaszon gc>15 MPa. akkor e szakaszon csak q_{ch}=15 MPa vehető figyelembe, ami pl. CFA-cölöp esetében a szokásos gc<120 kPa korlátozás.

- ha 1,0 m-nél rövidebb szakaszon gc>12 MPa. akkor e szakaszon csak q_{CH}=12 MPa vehető figyelembe legyen, ami a kiugró értékek kiszűrését célozza.

Az Eurocode 7-2-ben nem. a holland szabványban viszont szerepel még az a korrekció is, amely akkor alkalmazandó, ha a szondázáskor a terepszint magasabban van, mint lesz az üzemi állapotban a cölöp körül. Ekkor ugyanis a függőleges hatékony feszültség valamely mélységben σ'_{zc}-röl σ'_{z}-ra csökken, s ilyenkor a figyelembe vehető szondaellenállás:"[40]

$$q^{ch} = q^{c} \frac{\sigma'^{z}}{\sigma'^{zc}}$$

[40] Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei, 3.1. Áttekintés 19.o.

Érdemes még említeni, hogy a holland szabványban az Eurocode 7-2-höz képest további cölöptípusokra is vannak α_b és α_s szorzók, és pedig a következők:

- vert és bennmaradó zárt végű acélcső: αb=1,0 - αs=0.0100
- helyben betonozott cölöp vibrációval kiemelt acélcső helyén: αb=1,0 - αs=0.0100
- helyben betonozott csavart cölöp: αb=0,9 - αs=0.0060
- előregyártóit csavart cölöp: αb=0,8 - αs=0.0060
- acélprofilok és nyitott végű acélcső αb=1,0 - αs=0.0075
- markolt cölöp bennmaradó cső védelmében αb=0,5 - αs=0.0050[41]

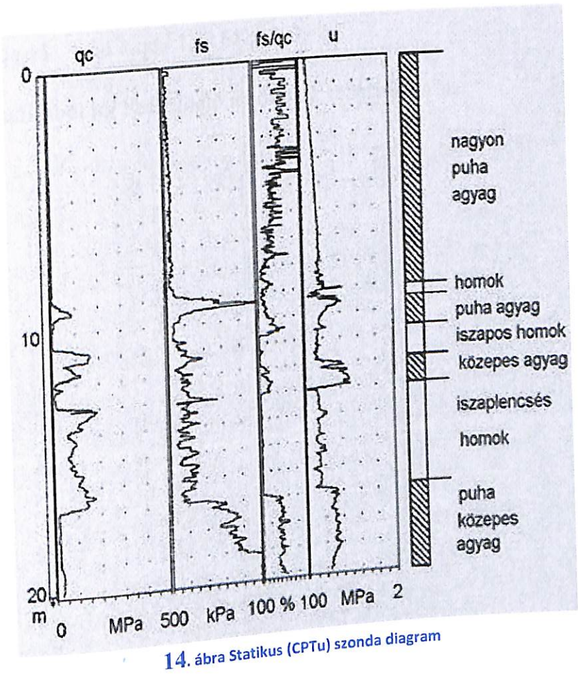
4.2 Statikus szonda

A CPT szonda más néven statikus szonda a legtöbbet használatos és legtöbb adatot nyújtó módszer. Csak fagyott talajban, nagyon kemény agyagban, törmeléket tartalmazó feltöltésben, durva kőzetben és kavicsban nem használható. Az elérhető mélység 20-25 méter is lehet. Vannak szabványosított részei amelyek például a: 60°-os kúpos csúcsa, az általános 10 cm-es keresztmetszete és a 150-350 cm2-es palástfelület.

Részletes működéséről és kiértékeléséről a Szepesházi Geotechnika C. könyvből szeretnék idézni:

[41] Dr. Szepesházi Róbert A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei

„A beleépített mérőeszközökkel elkülönítetten mérhető a fajlagos csúcsellenállás (qc) és fajlagos köpenysúrlódás (fs), sőt az újabb fejekben egy piezométerrel a víznyomás (u) is. A szondafejet egy rudazat segítségével, a talajba lecsavart horgonyokkal ellensúlyozva, folyamatosan nyomjuk a talajba, és a regisztráló, illetve kiíró szerkezet azonnal megadja a qc, fs, és u paraméterek, ill. az fs/qc hányados, az ún. súrlódási



14. ábra Statikus (CPTu) szonda diagram

arány mélység szerinti változását.

Példaként az ábrán mutatunk egy szondadiagramot, melyről sok minden megállapítható: a mért paraméterek markáns megváltozása rétegváltást jelez, a súrlódási arányból egy tapasztalati diagram alapján azonosítható a talajfajta is (például a homokra fs/qc~1%, az iszapra 2,5%, az agyagokra fs/qc>4% jellemző),

a qc csúcsellenállásból a szemcsés talajok tömörsége és a kötött talajok konzisztenciája is megítélhető, (pl. qc=2,5 MPa laza, 10 MPa közepesen tömör, qc=25 MPa nagyon tömör állapotot jelez),

a lehajtás közben fellépő pórusvíznyomás alapján különösen jól elkülöníthetők akár a legvékonyabb szemcsés és kötött rétegek is, mert az előbbiekben lényegében nincs, az utóbbiakban nagy a behatolás által okozott többlet a hidrosztatikus nyomáshoz képest, a csúcsellenállásból becsülhetők a fontosabb mechanikai jellemzők pl. a következő képletekkel (melyben az utóbbi két képlet konstansai kb. 13-17, ill. 1-5 között változhatnak),

« 26,8 + Inqc ±1 cu « qc / 15 ES « 2,5 • qc

a csúcsellenállásból jól becsülhető a cölöpök teherbírása”[42]

[42] Dr. Szepesházi Róbert Geotechnika 12.3.1. Statikus szondázás 176 o.

5. A helyszín részletes bemutatása

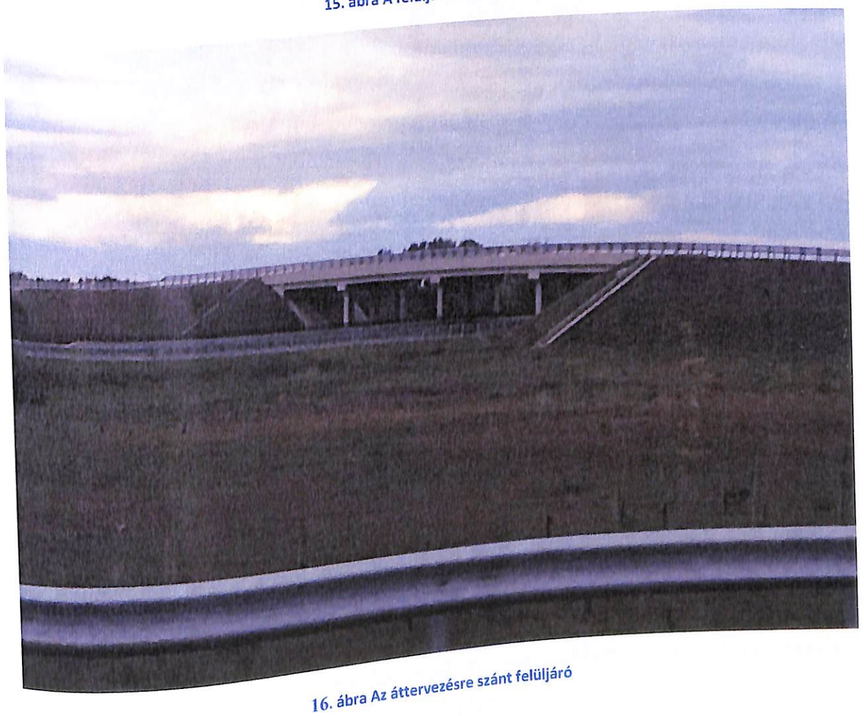
A következőkben szeretnék áttérni az általam kiválasztott felüljáró helyszínére amelyet be fogok mutatni geotechnikai, építésföldtani, vízföldtani és szeizmikai szempontból. Illetve szeretném részletezni a felüljáró közvetlen környezetét, elhelyezkedését és fontos adottságait.

5.1 Geotechnikai adottságok bemutatása

A következőkben a részletesen szeretném bemutatni az esettanulmányom környezetét, kitérve a terület helyszíni adottságaira, a földtani és építéstani viszonyaira, a domborzatára és vizeire.

Az általam vizsgált terület Nyíregyháza közelében található, ami Szabolcs-Szatmár-Bereg megye megyeszékhelye. A terület a város határain kívülre esik. Ezen a környéken a megművelt földterületet teszik ki a terület nagy százalékát, viszont helyenként előfordulnak lápos területek is. A térszín itt vízszintesnek mondható, a terepmagasság átlagosan 115,32 mBf. A térségben a legjellemzőbb növények a gyomok és különféle cserjés növények.

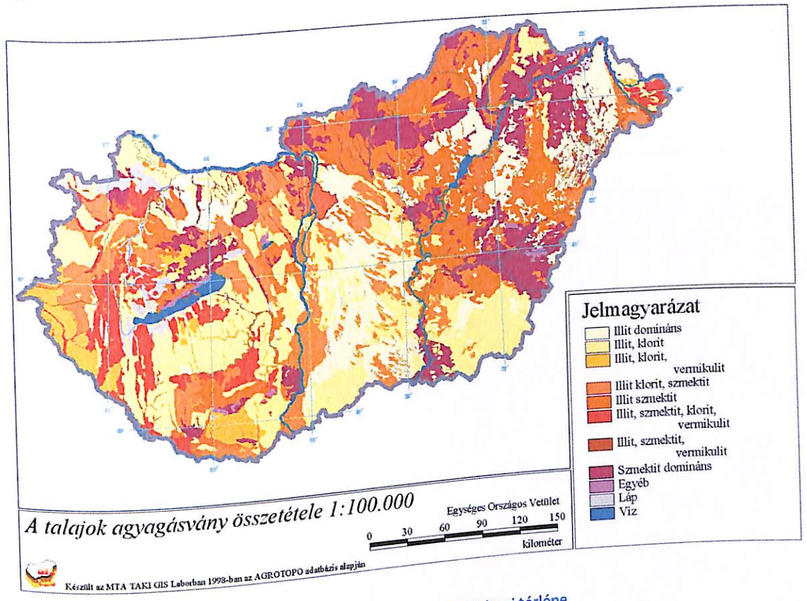
15. ábra A felüljáró helyszíne



16. ábra Az áttervezésre szánt felüljáró

5.1.1 A helyszín ismertetése

Szeretnék néhány szót ejteni magáról a megyéről. Szabolcs-Szatmár-Bereg megye az Magyarország legkeletibb részén helyezkedik el. Ez a megye az ország területének 6,4%-át teszi ki, ezzel az eredménnyel az ország hatodik legnagyobb megyéjének számít. Földrajzi elhelyezkedés szempontjából Szabolcs megye a magyar Alföldnek a legkeletibb részét foglalja el.[43]

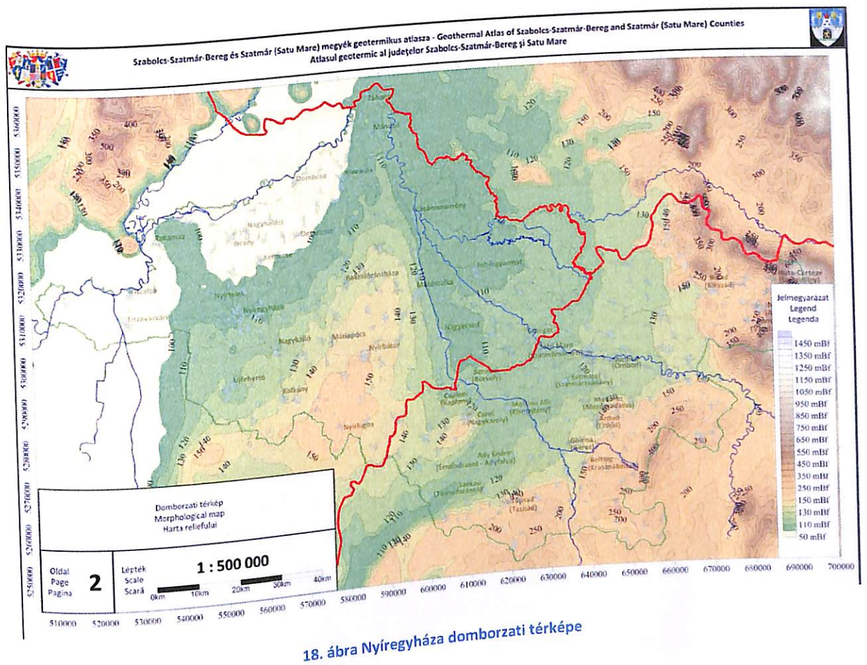


17. ábra Magyarország földtani térlépe

„A megye mérsékelten meleg, illetve mérsékelten hűvös zónák határán, nagyobb részt mérsékelten száraz területen fekszik. Mintegy 70 %-át a homokbuckás Nyírség, kb. 25 %- át a Felső-Tiszavidék magas talajvizű, vízrendezés által erősen átalakított sík területei, egy kis részét pedig a Hajdúhát löszsíksága illetve a Közép-Tiszavidék kultúrsztyeppje tölti ki. Dél felé haladva jellemzően csökken a csapadék mennyisége és nő a napsütéses órák száma. A középső részt a vízfolyásban való szegénység, de

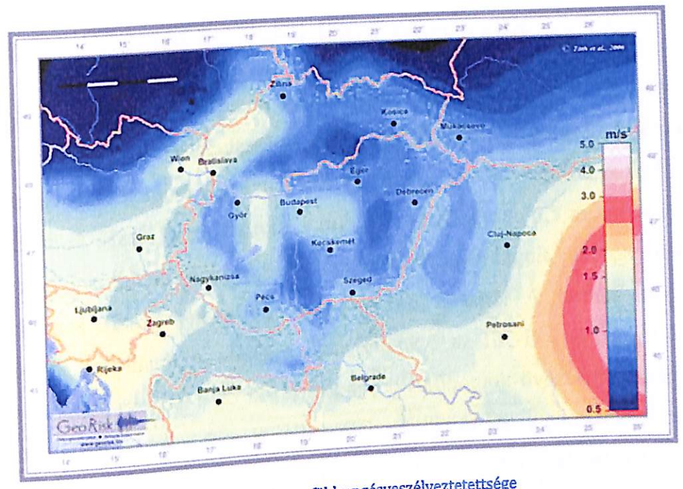
[43] Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Területfejlesztési Koncepció,2012. november

gazdag tórendszer jellemzi: a Közép-Nyírség területe igen gazdag természetes tavakban és mesterséges halastó- tározókban egyaránt. A megye peremterületei vízfolyásban gazdagok, ennek ellenére, a vízrendezésnek köszönhetően a vízben gazdag területeket is a vízhiány jellemzi. Holtágak sokasága gazdagítja a Beregi-sík és a Szatmári-sík területét továbbá a Taktaköz keleti, megyére eső peremét. 5 Az Alföld legkeletibb részét alkotó Nyírség kb. 78%-a tartozik a megyéhez, a Felső-Tiszavidék kistájai közül a Rétköz teljes mértékben, a Szatmári-síkságnak, a Beregi-síkságnak és az Ecsedi-lápnak pedig egy-egy része tartozik a megyéhez. A megye legmagasabb pontja a Kaszonyi-hegy, mely 240 m magas."[44]



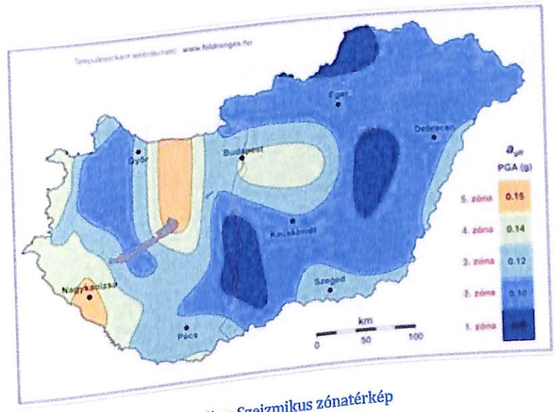
18. ábra Nyíregyháza domborzati térképe

[44] Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Területfejlesztési Koncepció,2012. november



19. ábra A Kárpát-medence földrengésveszélyeztetettsége

„A földrengésre vonatkozó szabványokat az MSZ EN 1998-1 (EC 8) szabvány tartalmazza, melyben megtalálható a zónatérkép. A vizsgált terület földrengés veszélyezettség alapján a mellékelt ábrán látható 2-es zónába tartozik."[45]



20. ábra Szeizmikus zónatérkép

[45] Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Területfejlesztési Koncepció,2012. november

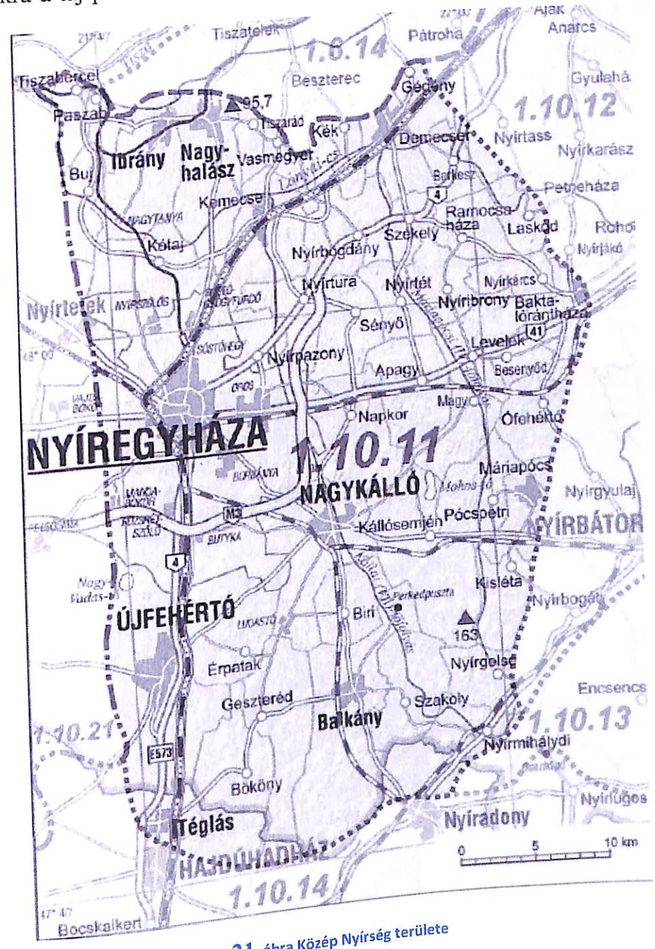
5.1.2 építésföldtani és vízföldtani viszonyok

A következőkben részletesen szeretnék beszélni a térség domborzatáról. Ez a nyírségi táj 95,7 és 163 m közti tszf-i magasságú. Ezt a kúpsíkságot félig kötött futóhomok, valamint lösz és löszös homokkal fedett hordalék takarja, ami enyhén Észak felé lejt. A kistáj felszínének északi része kis relatív reliefű – ez átlagosan 3,5 m/km2-t jelent-, síkság, amely enyhén hullámos, középső és déli része enyhén tagolt, alacsony fekvésű valamint hullámos síkság –itt a relatív relief 3,5 m/km2. A terület orográfiai domborzattípusba sorolható. A térségre igen jellemző az ÉK-DNy-i irányú löszös homokövezetek és az ezeknél 5-25 m-rel magasabb futóhomok-övezetek váltakozása. A térségre a következő típusos formák jellemzőek: szélbarázdák, a garmadák, amelyek a 12-16 m-t is elérhetik, maradékgerincek és ÉÉNy-DDK-i irányú elzárt medencéket alkotó völgyek, amelyek egykor folyóvölgyek voltak. [46]

A terület földtanáról a következők mondhatók el: az alaphegység anyaga feltételezhetően szenon-paleogén flis, amelyre igen jelentős magasságban – közel 2-3 km-ben- riolit, dácit, valamint andezit anyagú rétegvulkánok települtek a középső-miocénben. Ezt a felszínt általában vastag rétegben löszös homok fedi, ez a löszös homokréteg főként a Bodrogot összetevő folyók hordalékkúpjára települt. A kistáj déli részén a löszös homok gyakran átmehet futóhomokfelszínekbe. A felszíneket borító üledékek fiatalok, egészen a pleisztocén legvégéhez kapcsolhatók. [47]

[46] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, Budapest, 2010. 1.10 Nyírség, 222.o.
[47] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 222.o.

Ezek után szeretnék pár szót szólni a térség vizeiről is. A Nyírségnek ezt a középső, észak felé lejtő területét olyan főfolyások, illetve csatornák tagolják, amelyek a Lónyai-csatornához tartanak. A főgyűjtő a területen tehát a Lónyai-főcsatorna.[48] „De ettől északra a táj pereme eléri a Belfő-csatornának(53 km, 636 km2) a balról beléje torkoló



21. ábra Közép Nyírség területe

Nagyhalász-Pátrohai-csatorna (21 km, 118km2) alatti szakaszát is, sőt Tiszaberceltől Ny-ra néhány km hosszon kifut a Tiszáig.A Lónyai-főcsatornába tartó főfolyások, K-

[48] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 222.o.

ről indulva:III. sz. (47 km, 310 km2), IV.sz. (37 km, 336 km2), V. sz.(5 km, 9 km2), VI. sz. (18 km,65 km2), VII. sz. (55 km, 426km2), VII/3. sz. mellékág (30km, 118 km2), Vin. sz. (46 km, 352 km2), IX. sz.(32 km, 305 km2)."[49]

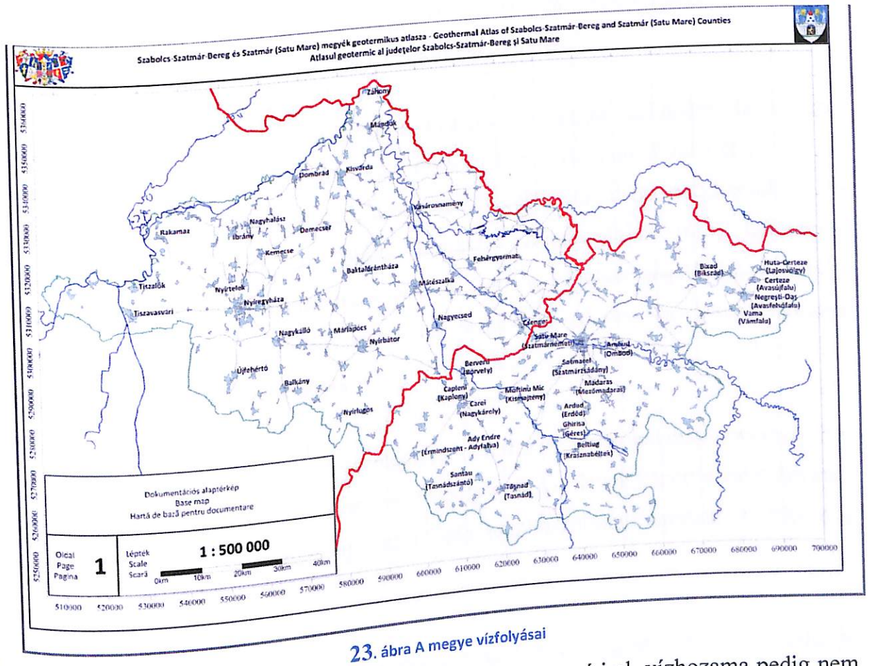
Összességében elmondható, hogy a szóban forgó terület száraz, gyér lefolyású, vízhiányos terület. A területen a nagyvizek évente egyszer, a tavaszi időszakban gyakoriak, kisvizek ősszel fordulnak elő. A víz minősége itt a 3. osztályú kategóriába sorolható. 1200 km körüli a belvízelvezető csatornahálózat hossza, amelyek torkolatain 11 szivattyútelep van működésben. A térség állóvizei közül 12 természetes jellegű, amelyek felülete összesen 273 ha. Ezek közül a legnagyobb tó az Újfehértói Nagyvadas Tó, ami 124 ha. A területen az utóbbi években számos nagy területű tározó is létesült, ezeket halastóként is hasznosítják. Ennek a 15 halastó-tározónak a felszíne együttesen közel 1500 ha. A térség kedvelt üdülőközpontjának is számító Sóstói-tó 8 ha felületű.[50]

Vízfolyás	Vízmérce	LKV	LNV	KQ	KÖQ	NQ
		cm		m^3/s		
Lónyai-főcsatorna	Kótaj	25	230	0,070	1,80	40
IV. sz. főfolyás	Levelek	8	150	0,035	0,20	–
VII. sz. főfolyás	Nagykálló	0	110	0,040	0,22	–
VIII. sz. főfolyás	Nyíregyháza	20	182	0,045	0,30	–

22. ábra A terület vízfolyásai

[49] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 222.o.
[50] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 222.o.

A talajvíz mennyisége a területen elhanyagolható, mélysége a homokbucka-vonulatok alatt 4-6 m, más részeken 2 és 4 méter közötti. A víz kémiai jellege a IV. sz. főfolyás mentén és a Lónyai-főcsatorna torkolati szakasza környékén nátrium-karbonátos, más szakaszokon viszont kalcium-magnézium-hidrogénkarbonátos. A területen a víz keménysége általában 15-25 nk° között van, de ez a szám a települések környékén 45 nk° fölé is emelkedik. A víz szulfáttartalma 60-300 mg/1 között ingadozik, de a VIII. sz. főfolyás Nyíregyháza alatti szakaszán a szulfáttartalom a 300 mg/l-t is meghaladja. A térségben jelenlévő rétegvizek mennyisége nem jelentős. Az itt nagy számban



23. ábra A megye vízfolyásai

található artézi kutak átlagos mélysége a 100 métert sem éri el, vízhozama pedig nem éri el a 100 1/p-et. A vizek hőmérséklete a térségben 40 és 50 Celsius fok között mozog, Baktalórántházán 45 °C, Nagykállón 41 °C, Nyíregyházán 50 és 52 °C hőmérsékletű vizet tártak fel. A térségben a közüzemi vízellátás tulajdonképpen megoldott, a csatornázással azonban nem ilyen egyszerű a helyzet, ez a térség 263-ad

részén megoldott csupán. Ez az arány azt jelenti, hogy 2008-ban a települések 2/3-ában volt már közüzemi csatornahálózat, és ekkor a lakások 65,5%-a volt csatornázott.[51]

A következőkben a talajviszonyokról szeretnék pár szót ejteni. A többségében homok talajképző kőzeten az itteni térség területének több mint a felét kovárványos barna erdőtalaj alkotja. Ez a típusú talaj gyengén savas kémhatású, és szelvényében barnás-vörös kolloidválásokkal színezett rétegek találhatóak. A talaj hasznosítása a következőképp oszlik meg: 50 %-a szántóként hasznosított, 35%-át erdőterületként használják, 5-5%-ban legelőként illetve szőlőként hasznosított. Az itteni szántóföldeken az elsődleges termény a burgonya és a rozs.[52]

„A finomszemű (0,2 mm átmérőjű) kvarcot és kevés szilikátot tartalmazó, mészmentes, ún. savanyú homokon - a terület 13%-án – futóhomok talajok vannak. A 0,5-1% szerves anyagot tartalmazó, hosszabb-rövidebb ideje megkötött homokon 20-30 (int.) termékenységi besorolású humuszos homoktalajok (6%) találhatók. Hasznosításuk futóhomok-humuszos homok sor- c rendben legelőként (1-15%), erdőként (45-15%), szántóként (50-65%), szőlőként (0-5%) és gyümölcsösként (almáskertként) (5-5%) lehetséges."[53]

A Nyíregyházi Kísérleti Állomás szolgálta a tájtermelés színvonalának növelését. Ezt a létesítményt Westsik Vilmos alapított. Itt dolgozták ki többek között a zöldtrágyázás módszerét, a csillagfürt zöldtrágyaként való alkalmazásának módszerét, illetve a vetésforgós trágyázást.[54]

„A kistáj E-i határa menti löszös üledéken homokos vályog szemcse-összetételű, jó vízgazdálkodás ú, 2-3% vagy 3-4% humusztartalmú, jó termékenységű (int. 65-90) réti csernozjom talajok fordulnak elő 5% kiterjedésben. A csernozjom talajon kívül a

[51] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 223-224.o.
[52] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 224.o.
[53] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 225.
[54] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 225.o.

magasabb térszín löszös anyagán néhány kisebb foltban (<1%) a bamaföld is előfordul. A széles mélyedések hidromorf talajképződményei közül az öntésanyagokon, vagy helyenként löszös üledékeken képződött, általában homokos vályog vagy vályog fizikai féleségű, 2-3% szerves anyagot tartalmazó, általában meszes réti talajok találhatók a legnagyobb kiterjedésben (16%). Termékenységi besorolásuk a 45-60 (int.) talajminőségi kategória. Hasznosításuk 50%-ban szántóként, és 25-25%-ban erdő és rétlegelő területként lehetséges. A hasonló termőhelyeken kialakult, lényegesen több szerves anyagot tartalmazó lápos réti talajok részaránya 2%. Földminőségi besorolásuk a felszín közeli talajvíz miatt korlátozott termőréteg vastagság következtében a 20-35 (int.) kategória. A kb. 60%-nyi szántóként hasznosítható területükön termeszthető zöldségfélék között specialitás a káposzta és a torma. A fennmaradó területük rétként hasznosulhat. A szikes talajvizű területeken kialakult szikes talajok összterülete 1%, amelyet két szikes talajtípus, a szoloncsák és néhány kisebb foltban a szolonyeces réti talaj alkot. A szikes talajok is öntésanyagokon képződtek és mechanikai összetételük is a réti talajokéval azonosan vályog és agyagos vályog. A szoloncsák talajok 80%-a legelőként hasznosítható."[55]

Az általam vizsgált felüljáró közvetlen vízrajza a Tóth Roland által írt Talajvizsgálati jelentésben olvasható részletesen.

„A műtárgynál készített fúrás alapján a felszín felső 20,0 m vastag részének csaknem teljes egészében homoklisztes finomhomok és iszapos, finomhomokos homokliszt váltja egymást, s csak a fúrás aljában, 19,1 m-től volt iszap.

A homoklisztes finomhomok iszaptartalma 0-8%, homokliszt-tartalma 13-38%, egyenlőtlenségi mutatója pedig U=1,84-5,35 között változott.

Az iszapos, finomhomokos homokliszt iszaptartalma 7-15%, finomhomok tartalma 27-44%, egyenlőtlenségi mutatója pedig U=4,16-4,68 között változott."[56]

[55] Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere, 1.10 Nyírség, 225.o.
[56] Tóth Roland: Talajvizsgálati Jelentés, Budapest, 2010. december

5.1.3 A helyszínen mért talajok tömörsége

A CPTu szonda által mért csúcsellenállási értékek alapján a feltárt rétegek az alábbi tömörséggel jellemezhetők:

2209/1 CPT szonda

0,0-6,0m	közepesen tömör
6,0-9,2 m	tömör
9,2-12,0 m	közepesen tömör
12,0-15,2 m	tömör
15,2-21,2 m	közepesen tömör
21,2-24,0 m	tömör-nagyon tömör
24,0-25,0 m	közepesen tömör-tömör

5.2 A helyszínen végzett szondázás

Az M3-as autópálya 221 km-nél lévő felüljáró építését megelőzően is végeztek statikus (CPT) szondázást amelyet fel tudtam használni a cölöp alapok áttervezésénél. A szondázás alapján a nyírségre jellemző homokos iszap talajokat észlelt a szonda közepesen tömör és tömör formákban 19,1-nél jelentkezett az iszap. A felüljáró jelenlegi alapozása 50 cm-es vasbeton vert cölöp amelynek a teherbírást leellenőriztem a szondázási eredményekből, a Szepesházi Róbert Geotechnika tervezés C. könyvben bemutatott példa alapján.

6. Cölöpteherbírás számításainak és eredményeinek összehasonlítása

6.1 1.Talajmodell

A Felüljárónál adott volt két fúrás és két CPT diagram amelyeknél a talaj összetétele hasonló volt de a rétegek elhelyezkedése eltéréseket mutattak. Az 1-es számú rétegszelvényen a 10m-es cölöp csúcsa egy olyan rétegben volt amely teherbíró képessége sokkal csekélyebb a 2. számú rétegszelvénynél, ez nagyban befolyásolja a cölöpcsúcsra eső teherbírás részét. Ezért mindkét rétegződéssel elvégeztem a számításokat amelyeket össze tudtam vetni. Elsőként a 2-es számú talajmodellt fogom vizsgálni.

6.1.1 Plaxis 8.2

A Plaxis 8.2 programmal a külső konzulensem segítségével sikerült modellezni. A tengely szimmetrikusan felvett modell méretei 15x20m, ami figyelembe veszi a cölöp geometriáját (24. ábra - generált háló). A numerikus számítás során az MSZ EN 1997-2:2008 szabvány szerint meghatározott egyenértékű cölöpátmérővel (Deq = 2*0,282 m = 0,565 m) számoltunk. A cölöpöt „cluster" –ként modelleztük (tábl. 1. a)

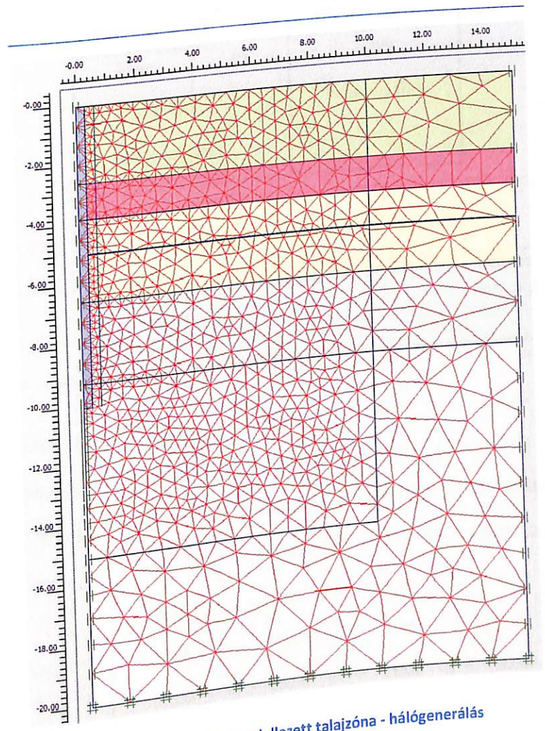
A talajrétegződést és talajparamétereket a rendelkezésre álló 2.sz. CPT szondázási eredmények (forrás) alapján határoztuk meg, melyeket a (scan-nelt CPT) melléklet tartalmazza.

A számítás során a Hardening Soil felkeményedő anyagmodellt használtuk, melynek bemenő praméterei a (1.b táblázat) foglalja össze. A cölöp és talaj kapcsolatát a köpeny mentén Rinter=0,9 –es szorzóval vettük figyelembe.

A vizsgált cölöp süllyedés-erő görbéjének meghatározásához a törőerőhöz tartozó max. 50 mm (10%*D) függőleges elmozdulást adtunk meg. Az egész cölöp keresztmetszetére vonatkozó eredményeket a (*Excel-ben*) diagramm ábrázolja.

A görbéből meghatározható a cölöp átmérőjének 1és 2%-nak megfelelő süllyedéshez (5, ill. 10 mm) szükséges erő is.

A numerikus modellezés eredményei alapján kijelenthető, hogy a fent leírt módon történő számítás - az EC7-tel számolt értékhez viszonyítva - alulbecsüli a köpenymenti súrlódás nagyságát, amely megközelítőleg az EC-7 által számított érték csupán 50%-át adja.



24. ábra A cölöp és a modellezett talajzóna - hálógenerálás

1.a. táblázat A cölöp paraméterei

Linear Elastic		VB cölöp
Type		Non-porous
γ_{unsat}	[kN/m³]	25,00
γ_{sat}	[kN/m³]	25,00
E_{ref}	[kN/m²]	30000000,00
ν	[-]	0,200
G_{ref}	[kN/m²]	12500000,000
E_{oed}	[kN/m²]	33333333,333
R_{inter}	[-]	1,000
Interface permeability		Impermeable

1.b. tábl. Talajparaméterek

Hardening Soil		iszapos Homok	puha Agyag	Homok	iszapos Homok 2	Homok 2
Type		Drained	Drained	Drained	Drained	Drained
γ_{unsat}	[kN/m³]	19,00	21,00	19,50	19,50	19,50
γ_{sat}	[kN/m³]	20,00	21,00	20,00	20,00	20,00
E_{50}^{ref}	[kN/m²]	8000,00	3000,00	22000,00	14000,00	30000,00
E_{oed}^{ref}	[kN/m²]	8000,00	3000,00	22000,00	14000,00	30000,00
power (m)	[-]	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
c_{ref}	[kN/m²]	2,00	10,00	1,00	1,00	1,00
φ	[°]	29,00	16,00	31,00	30,00	32,00
ψ	[°]	0,00	0,00	1,00	0,00	2,00
E_{ur}^{ref}	[kN/m²]	24000,00	9000,00	66000,00	42000,00	90000,00
$\nu_{ur}^{(nu)}$	[-]	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200

Hardening Soil		iszapos Homok	puha Agyag	Homok	iszapos Homok 2	Homok 2
p^{ref}	[kN/m²]	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
R_f	[-]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
R_{inter}	[-]	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
Interface permeability		Neutral	Neutral	Neutral	Neutral	Neutral

Fy [kN/rad]	Uy [m]
0,000	0,000
0,000	0,000
0,000	0,000
0,000	0,000
-55,249	-0,003
-85,897	**-0,005**
-85,897	0,000
-55,237	-0,003
-85,882	-0,005
-92,191	-0,006
-96,594	-0,008
-100,118	-0,009
-103,421	**-0,010**
-103,421	0,000
-52,414	-0,002
-83,969	-0,005
-90,241	-0,006
-92,459	-0,006
-96,412	-0,008
-99,823	-0,009
-103,090	-0,010
-103,885	-0,010
-104,651	-0,010
-105,412	-0,011
-106,166	-0,011
-106,878	-0,011
-107,566	-0,012
-108,917	-0,012
-110,178	-0,013
-111,347	-0,013
-112,470	-0,014
-113,529	-0,014
-114,467	-0,015
-116,173	-0,016
-117,750	-0,017
-118,422	-0,018

Uy (mm)	Fy (kN/rad) 5 mm	Fy (kN/rad) 10 mm	Fy (kN/rad) 50 mm
0	**0,00**		
-2,5	**-55,25**		
-5	**-85,90**		
0		0,00	
-2,5		-55,24	
-5		-85,88	
-6,25		-92,19	
-7,5		-96,59	
-8,75		-100,12	
-10		-103,42	
0			0
-2,31			-52,41
-4,62			-83,97
-5,78			-90,24
-6,36			-92,46
-7,51			-96,41
-8,67			-99,82
-9,83			-103,09
-10,11			-103,89
-10,40			-104,65
-10,69			-105,41
-10,98			-106,17
-11,27			-106,88
-11,56			-107,57
-12,14			-108,92
-12,71			-110,18
-13,29			-111,35
-13,87			-112,47
-14,45			-113,53
-15,03			-114,47
-16,18			-116,17
-17,34			-117,75
-17,92			-118,42

-119,666	-0,019
-120,308	-0,020
-121,582	-0,021
-122,216	-0,021
-123,470	-0,023
-124,679	-0,024
-125,270	-0,024
-126,434	-0,025
-127,563	-0,027
-128,642	-0,028
-129,701	-0,029
-130,743	-0,030
-131,740	-0,031
-132,704	-0,032
-133,203	-0,033
-134,187	-0,034
-135,108	-0,035
-136,020	-0,036
-136,930	-0,038
-137,814	-0,039
-138,676	-0,040
-139,526	-0,041
-140,361	-0,042
-141,180	-0,043
-141,989	-0,045
-142,775	-0,046
-143,552	-0,047
-144,329	-0,048
-145,670	-0,050

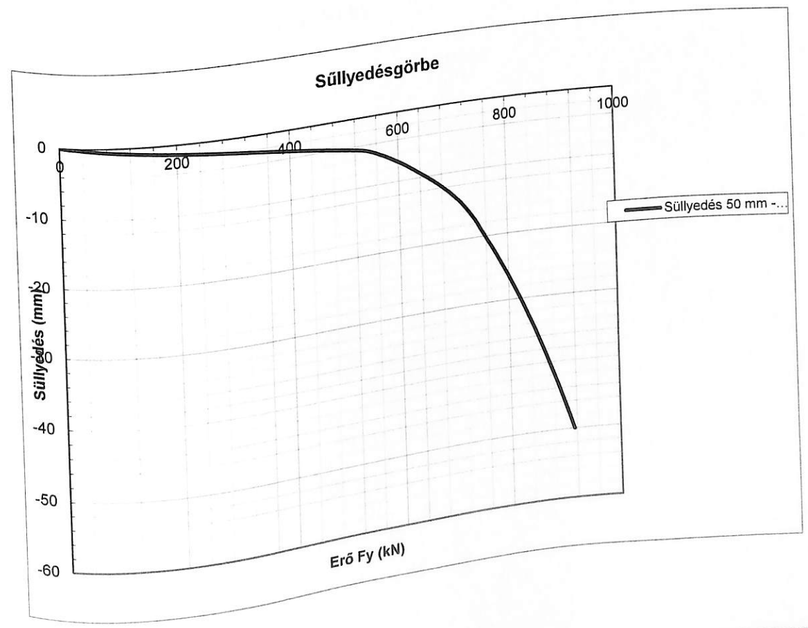
-19,07
-19,65
-20,81
-21,38
-22,54
-23,70
-24,27
-25,43
-26,59
-27,74
-28,90
-30,05
-31,21
-32,36
-32,94
-34,10
-35,25
-36,41
-37,57
-38,72
-39,88
-41,03
-42,19
-43,35
-44,50
-45,66
-46,81
-47,97
-50,00

-119,67
-120,31
-121,58
-122,22
-123,47
-124,68
-125,27
-126,43
-127,56
-128,64
-129,70
-130,74
-131,74
-132,70
-133,20
-134,19
-135,11
-136,02
-136,93
-137,81
-138,68
-139,53
-140,36
-141,18
-141,99
-142,78
-143,55
-144,33
-145,67

Fy (kN) 5 mm -	Fy (kN) 10 mm -	Fy (kN) 50 mm -	Fy (kN) 5 mm +	Fy (kN) 10 mm +	Fy (kN) 50 mm +
			0		
0			347,14		
-					
347,14045			**539,71**		
-				0,00	
539,70758					
	0			347,07	
	-				
	347,06688			539,61	
	-			579,25	
	539,61312				
	-579,2526			606,92	
	-			629,06	
	606,91935				
	-629,059			**649,81**	
	-				0,00
	649,81081				
		0			329,33
		-			
		329,32968			

-527,59467	527,59
-566,99985	567,00
-580,93693	580,94
-605,77155	605,77
-627,20403	627,20
-647,73427	647,73
-652,72951	652,73
-657,54231	657,54
-662,32257	662,32
-667,06269	667,06
-671,5322	671,53
-675,85666	675,86
-684,34402	684,34
-692,26676	692,27
-699,61328	699,61
-706,6707	706,67
-713,32465	713,32
-719,21555	719,22
-729,93888	729,94
-739,84519	739,85
-744,06542	744,07
-751,88587	751,89
-755,91661	755,92
-763,92168	763,92
-767,90608	767,91
-775,78795	775,79
-783,38408	783,38
-787,09321	787,09
-794,40563	794,41
-801,49916	801,50
-808,28369	808,28

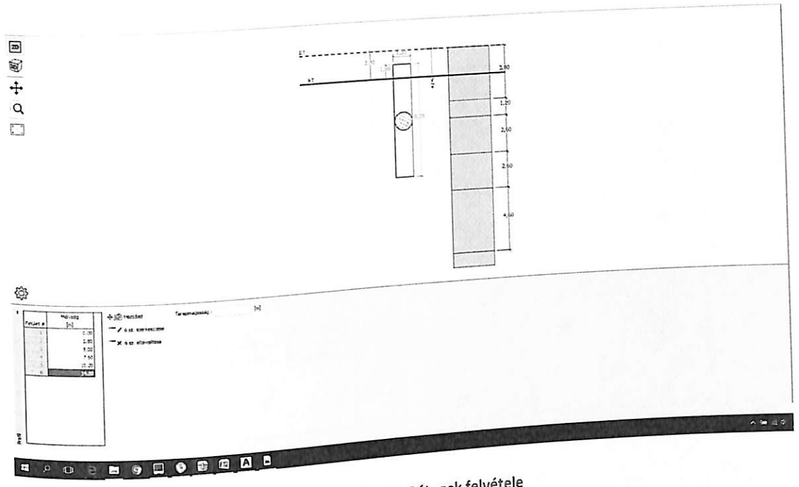
-814,9333	814,93
-	821,48
821,48119	827,75
-827,7484	833,80
-	836,94
833,80085	843,12
-	848,91
836,93644	854,64
-843,1192	860,35
-	865,91
848,90619	871,33
-	876,66
854,63844	881,91
-	887,06
860,35447	892,15
-	897,08
865,90857	901,96
-	906,84
871,32754	**915,27**
-	
876,66495	
-	
881,91223	
-	
887,06291	
-	
892,14624	
-	
897,08261	
-	
901,96129	
-	
906,84463	
-	
915,26879	



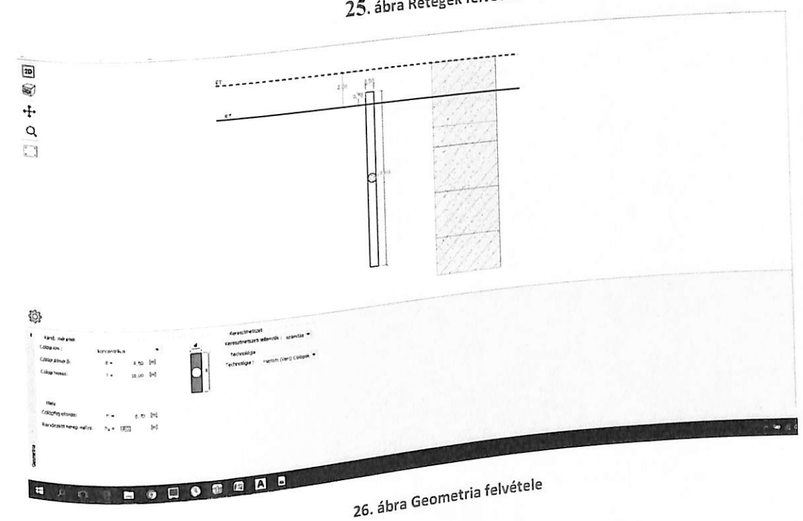
539,7 kN	5 mm
649,8 kN	10 mm
915,3 kN	50 mm

6.1.2 GEO5

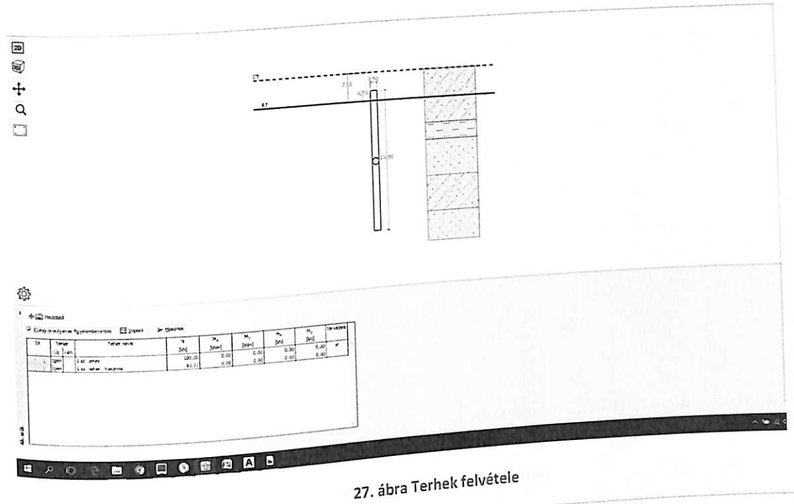
Első lépéként kiválasztottam a megfelelő szabványt ami az összes biztossági tényezőt tartalmazza, amelyet a számításnál használok.
Majd ahogy a fúrásszelvényen fel van tüntetve bevittem a rétegeket 20 m mélységig.
Mivel a meglévő fúrásszelvényen még a régi Magyar Szabvány szerinti osztályozást alkalmazták ezt EuroCode szerintire átírtam a paramétereket meghagyva és úgy vittem be a talajokat amelyek a következők: finom homok, iszapos finom homok és iszap.
Majd a megfelelő sorrendben hozzárendeltem a rétegrendhez.
Ez után egy 100kN-os terhet felvettem és az önsúllyal, amely segítségével a számításban meghatározható a cölöp teherbírása.
A Cölöp geometriáját beállítottam honnan kezdődjön a talajban milyen hosszú legyen és milyen átmérőjű.
Ez után kiválasztottam az anyagokat, a betont és a beton acélt.
Végezetül a talajvízszintet beállítottam majd lefuttattam a számítást.
A cölöp teherbírása: 1144kN ra jött ki.



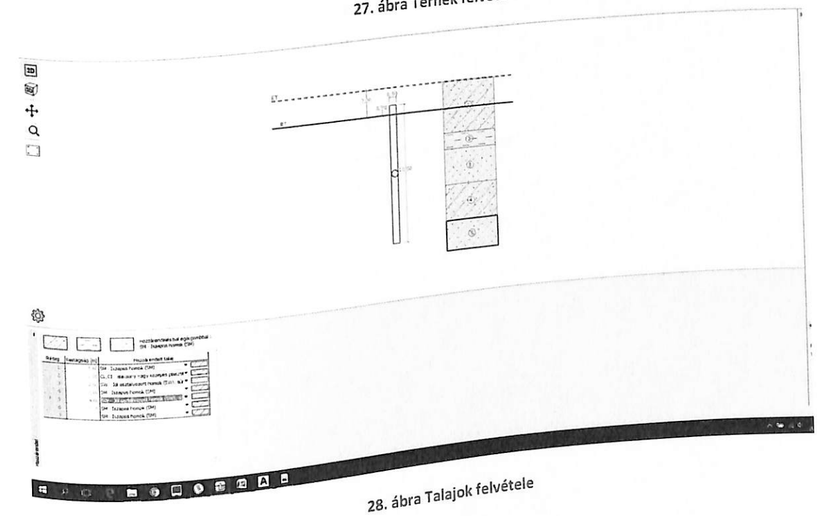
25. ábra Rétegek felvétele



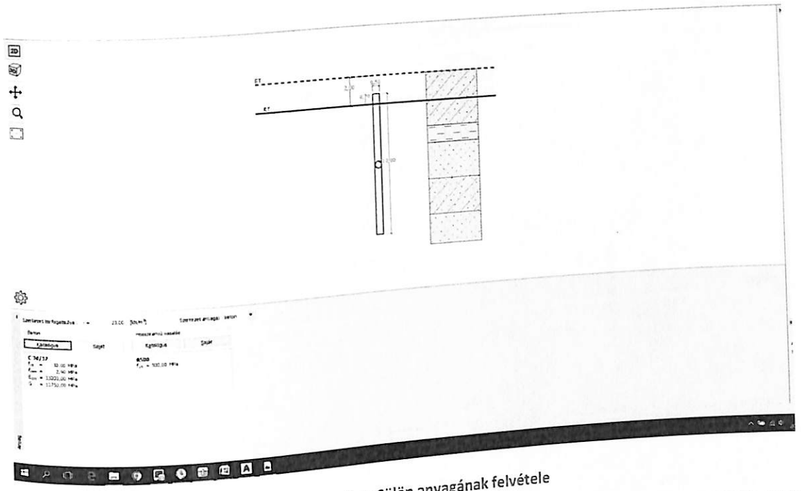
26. ábra Geometria felvétele



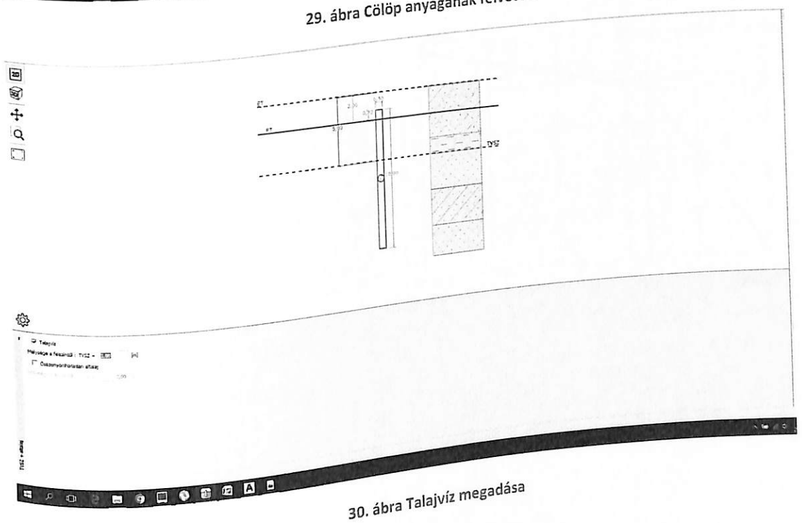
27. ábra Terhek felvétele



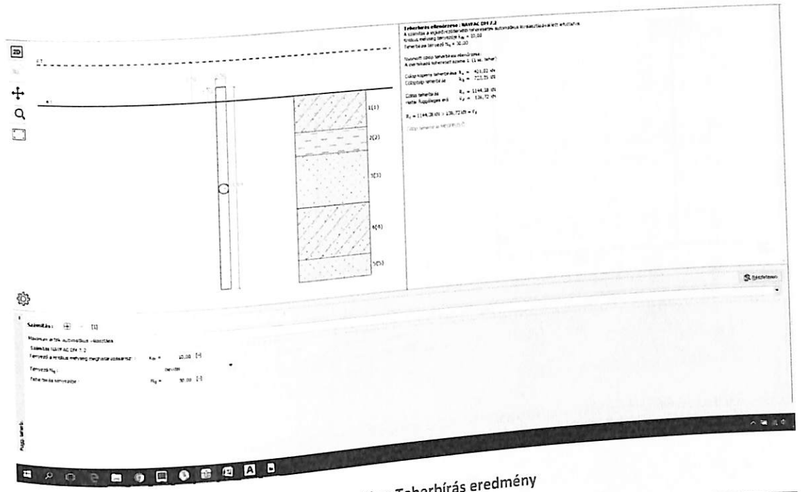
28. ábra Talajok felvétele



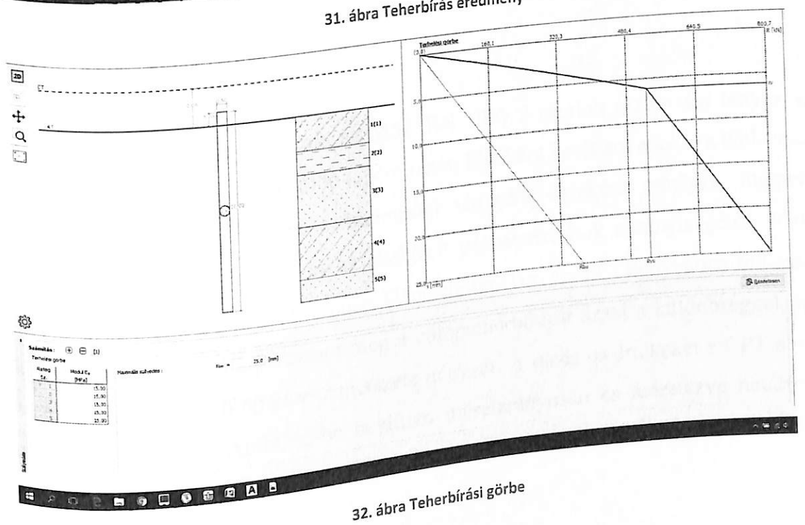
29. ábra Cölöp anyagának felvétele



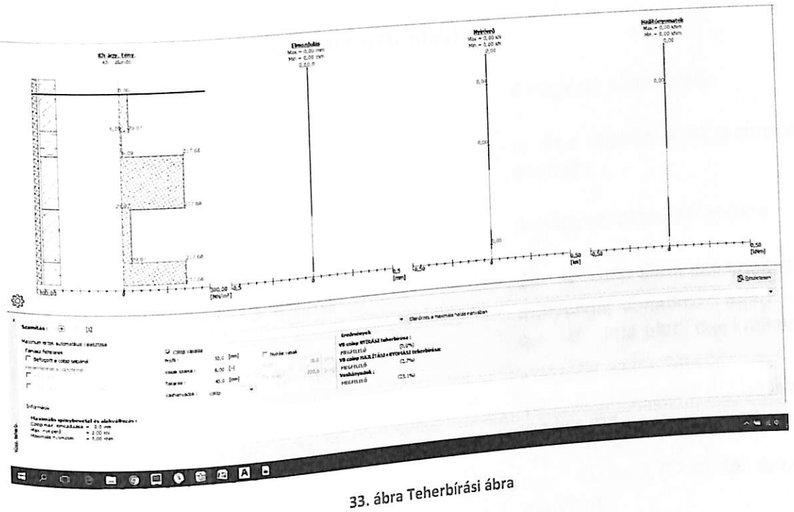
30. ábra Talajvíz megadása



31. ábra Teherbírás eredmény



32. ábra Teherbírási görbe



33. ábra Teherbírási ábra

6.1.3 CPT

Az excel táblázat amelyet írtam az MSZ EN 1997-2 szerinti biztonsági tényezők és képletek alapján számolja a cölöp teherbírását. Elsőként bevittem azokat a táblázatokat amelyekből szükségem volt a biztonsági tényezők értékére amelyek függtek a cölöpözési módtól a talajtól és az elvégzett próbaterhelések mennyiségétől. Majd a szabványban és a Szepesházi Róbert Geotechnika Tervezés C. könyvében felhasznált képletek segítségével határoztam meg a cölöpteherbírását azzal a különbséggel, hogy az általam vizsgált cölöp keresztmetszete négyzet. A qc és qs értékeket a CPT ábráról olvastam le melyet AutoCad-be bevittem méretarányosan és méretezve határoztam meg a szabvány szerint a szükséges értékeket.

Vert cölöpök fajlagos cölöpellenállásainak meghatározása CPT alapján

Talpellenállás

$$q_b = \alpha_b \cdot \beta \cdot s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right)$$

A cölöpellenállás tervezési értékének

számítása a karakterisztikus értékből

1	s négyzet alapú cölöp
1	α_{ab} *és a* talpellenállás technológiai szorzója
0,75	β négyzet alapú cölöpökre
1513 kN/m2	q_{cI} a talp alatti d_{crit} kritikus mélységre vonatkozó átlag
7433 kN/m2	q_{cII} a talp alatti d_{crit} kritikus mélység minimuma
5962 kN/m2	q_{cIII} a talp feletti 8D hossz minimuma, de legfeljebb 2 MPa
7433 kN/m2	d_{crit} 4D és 0,7D közötti azon mélység, mely a legkisebb qb értéket adja
3913,125 kN/m2	q_b talpellenállás

Palástellenállás

$$q_s = \alpha_s \cdot q_c$$

αs	0,01	α_s a palástellenállás technológiai szorzója
		qcH korrekciója
	3579 kN/m2	talajrétegenkénti átlagolt csúcsellenállás
qc,1=	949 kN/m2	
qc,2=	14220 kN/m2	
qc,3=	6840 kN/m2	
qc,4=	14120 kN/m2	
qc,5=		

qs,1	35,79 kN/m2
qs,2	9,49 kN/m2
qs,3	142,2 kN/m2
qs,4	68,4 kN/m2
qs,5	141,2 kN/m2

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékel

Palástellenállás számított értéke

$$R_{s;cal} = D \cdot \pi \cdot \sum q_{si;cal;i} \cdot H_i$$

$$R_{sk} = \frac{R_{s;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rs,cal	1621,61 kN
Rs,k	1158,292857 kN
D, oldalhossza	0,5
Hi, rétegek magassága	2,3 m 1,2 m 2,7 m 2,6 m 1,1 m

0,25 m²

A_b=0,5²

Talpellenállás számított értéke

$$R_{b;cal} = A_b \cdot q_{b;cal}$$

$$R_{b;k} = \frac{R_{b;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rb,cal 978,28125 kN
Rb,k 698,7723214 kN

Nyomási ellenállás

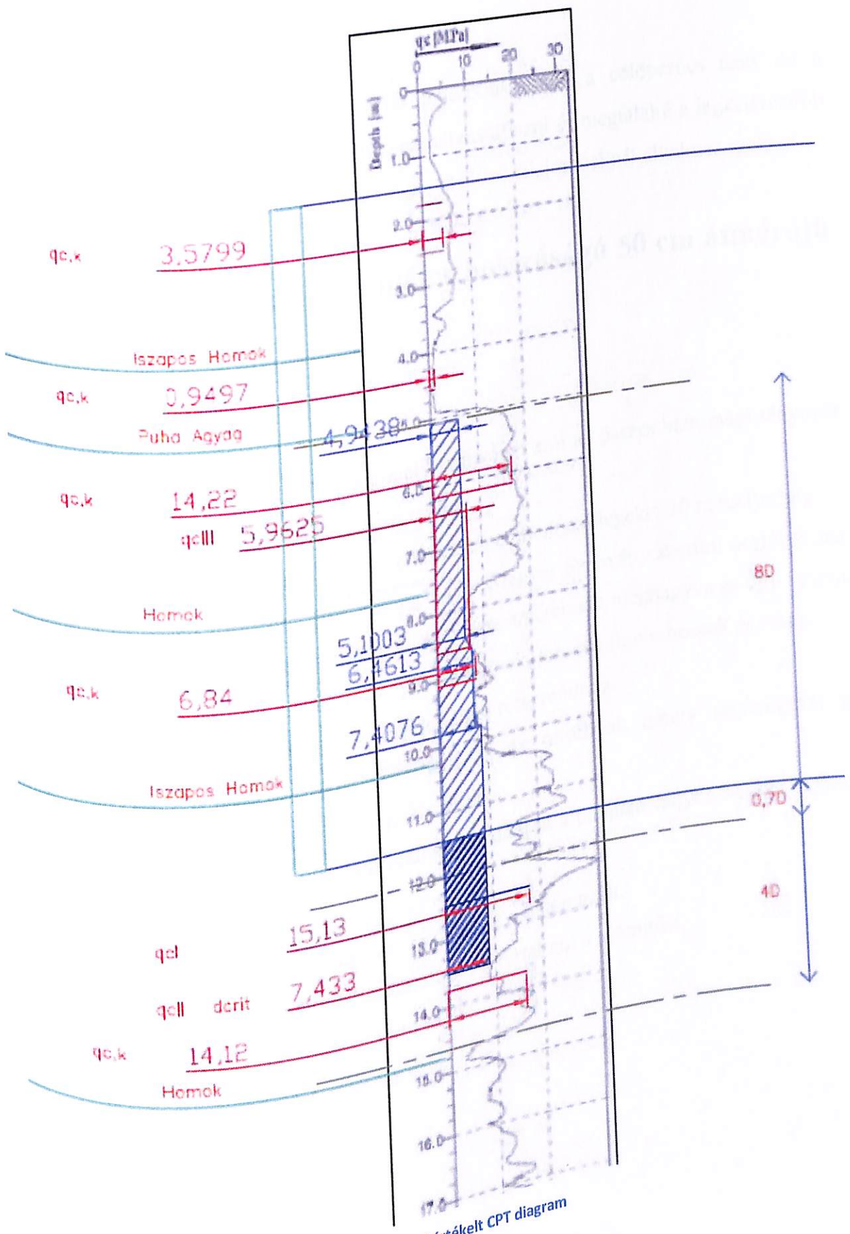
$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

Rc,d 1534,76461 kN

Parciális tényezők a cölöpök tervezéséhez		cölöptípus	
cölöpellenállás	jel	vert	fúrt
talpellenállás	Yb	1,1	1,25
nyomott cölöp palástellenállása	Ys	1,1	1,1
nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	Yt	1,1	1,20
húzott cölöp palástellenállása	Ys;t	1,25	1,25

Cölöpök szemcsés talajbeli fajlagos ellenállásait a statikus szonda csúcsellenállásából adó szorzó			
készítési mód	típus	talpellenállásra ^{a}b " ^{q}b / ^{q}c	palástellenállásra $^{a}s - {}^{q}s$ *1* ^{q}c
talajkiszorítással	előregyártott vert vb. vagy acél	1,0	0,010
	helyszíni vert (Franki, Simplex)	1,0	0,014
	előregyártott csavart	0,8	0,012
részleges talajkiszorítással	vert acélprofil, nyitott cső	1,0	0,0075
talajhelyettesítéssel	folyamatos (CFA, SOB)	0,8	0,006
	béléscsővel fúrt cölöp	0,6	0,006
	fúróiszappal fúrt cölöp	0,6	0,005

Az ellenállás meghatározási eljárása	próbaterhelések ill. talajvizsgálatok száma	Az átlagra vonatkozóan	A minimumra vonatkozóan
		ξ_{mean}	ξ_{min}
statikus[1,4] próbaterhelés	1	1,40	1,40
	2	1,30	1,20
	3	1,20	1,05
	4	1,10	1,00
	> 5	1,00	1,00



34. ábra Kiértékelt CPT diagram

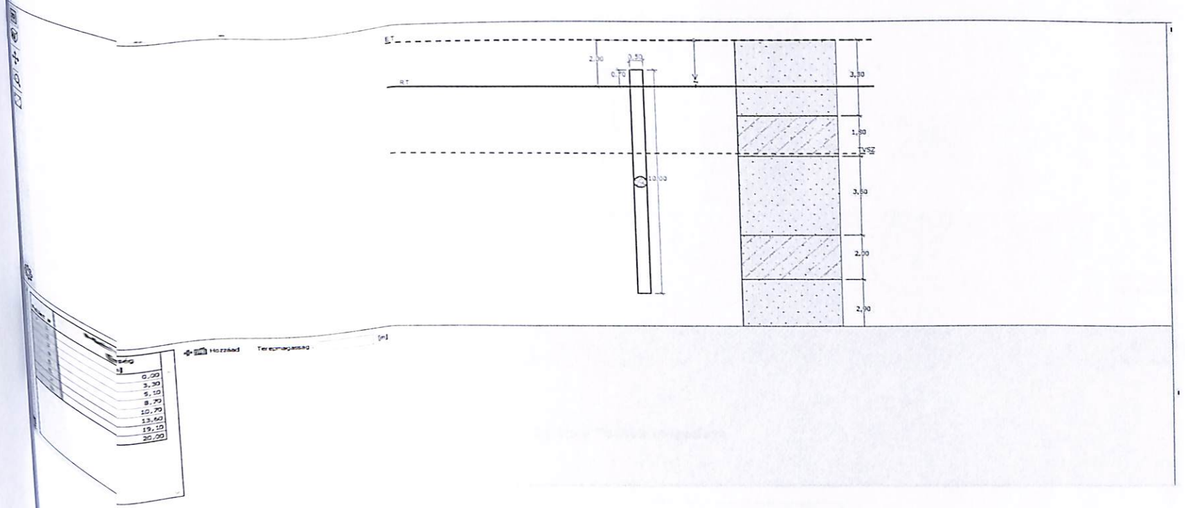
6.2 2. Talajmodell

A 2. talajmodellnél van a gyengébb teherbírású talaj a cölöpcsúcs alatt de a paraméterek változtatásával próbáltam ezt ellensúlyozni és megtalálni a legkedvezőbb változatot. A számítás menete megegyezik az előző talajmodellnél alkalmazottakkal.

6.2.1 1.Variáció 10 méter hosszúságú 50 cm átmérőjű cölöp

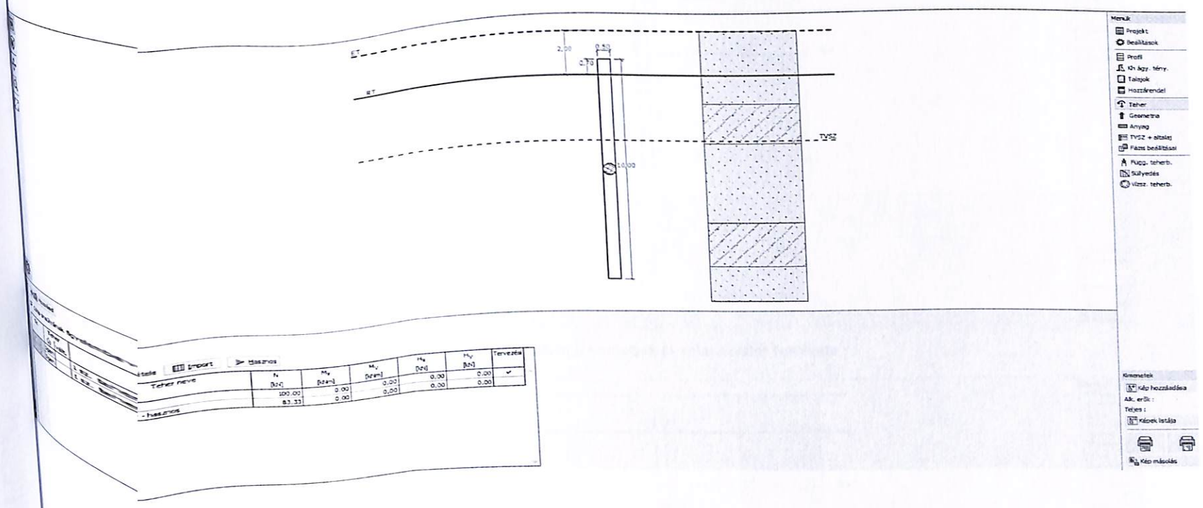
6.2.1.1 GEO5:

Első lépéként kiválasztottam a megfelelő szabványt ami az összes biztossági tényezőt tartalmazza, amelyet a számításnál használok.
Majd ahogy a fúrásszelvényen fel van tüntetve bevittem a rétegeket 20 m mélységig.
Mivel a meglévő fúrásszelvénynél még a régi Magyar Szabvány szerinti osztályozást alkalmazták ezt EuroCode szerintire átírtam a paramétereket meghagyva és úgy vittem be a talajokat amelyek a következők: finom homok, iszapos finom homok és iszap.
Majd a megfelelő sorrendben hozzárendeltem a rétegrendhez.
Ez után egy 100kN-os terhet felvettem és az önsúllyal, amely segítségével a számításban meghatározható a cölöp teherbírása.
A Cölöp geometriáját beállítottam honnan kezdődjön a talajban milyen hosszú legyen és milyen átmérőjű.
Ez után kiválasztottam az anyagokat a betont és a beton acélt.
Végezetül a talajvízszintet beállítottam majd lefuttattam a számítást.
A cölöp teherbírása: 989,50 kN-ra jött ki.

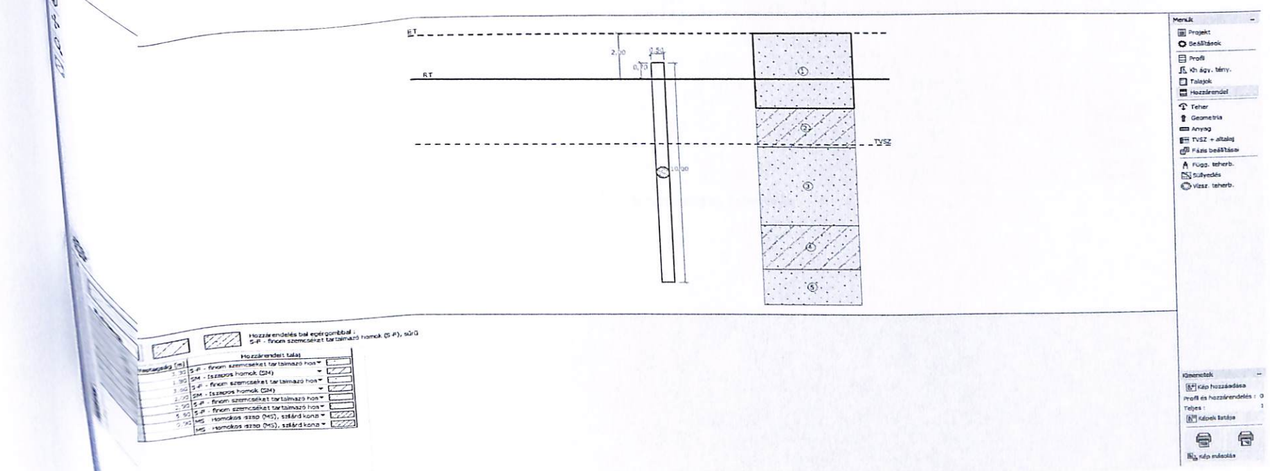


35. ábra Rétegek felvétele

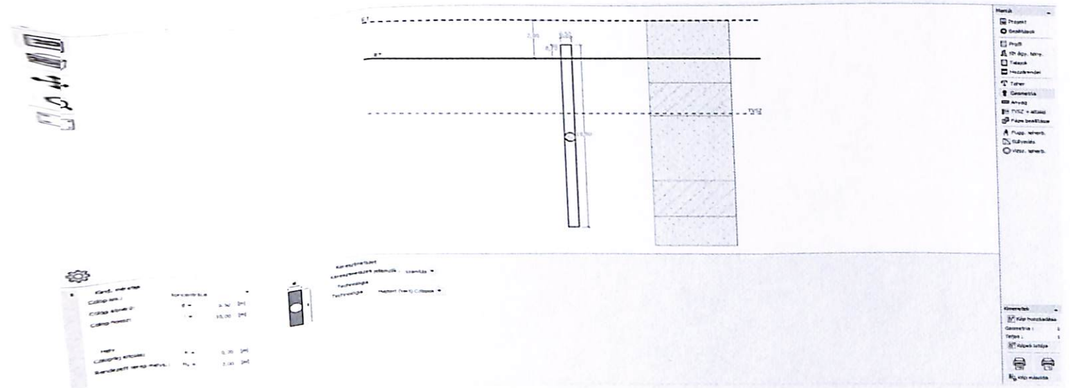
35. ábra Rétegek felvétele



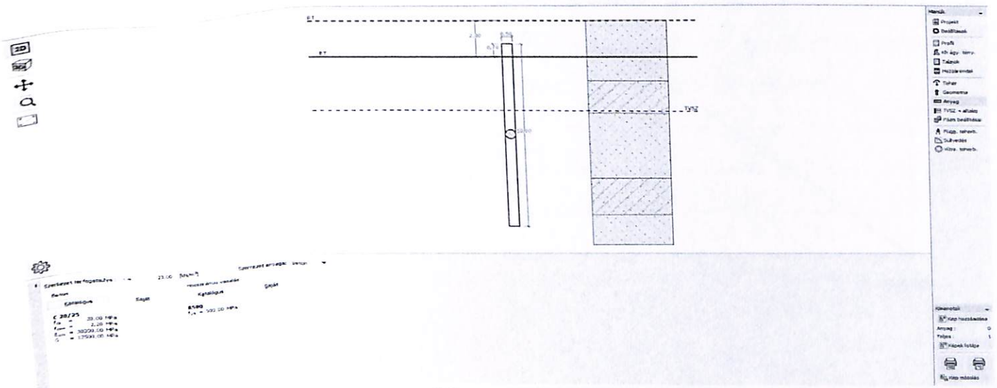
36. ábra Terhek megadása



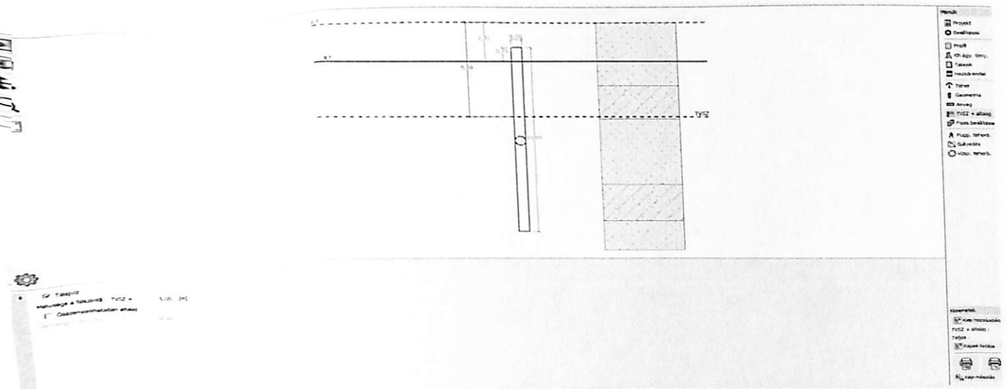
37. ábra talajok hozzárendelése



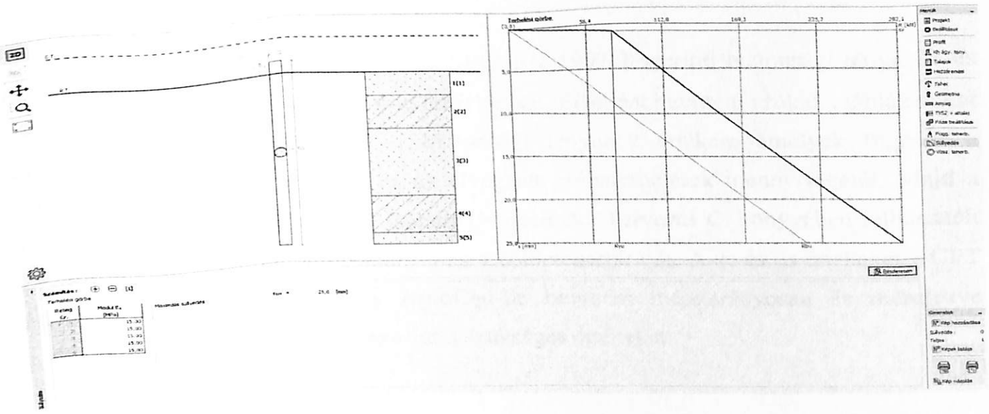
38. ábra Geometria és talajvízszint felvétele



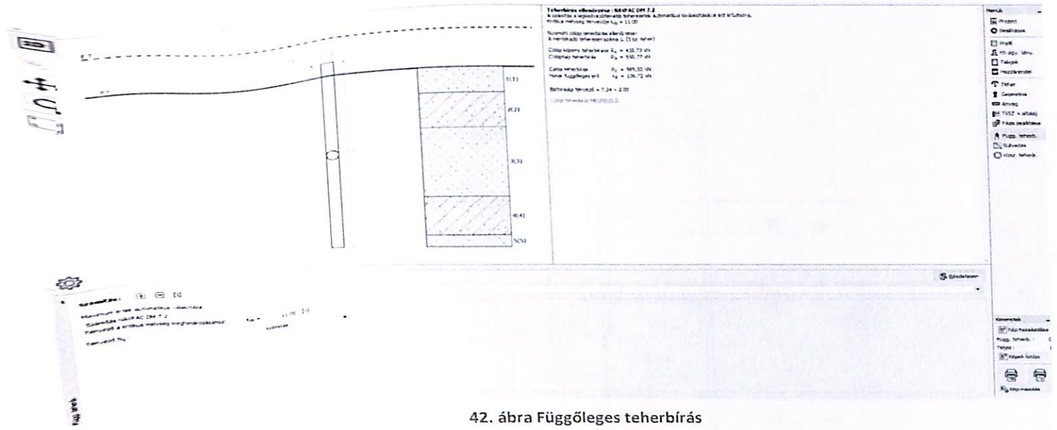
39. ábra Anyagok felvétele



40. ábra Talajvízszint megadása



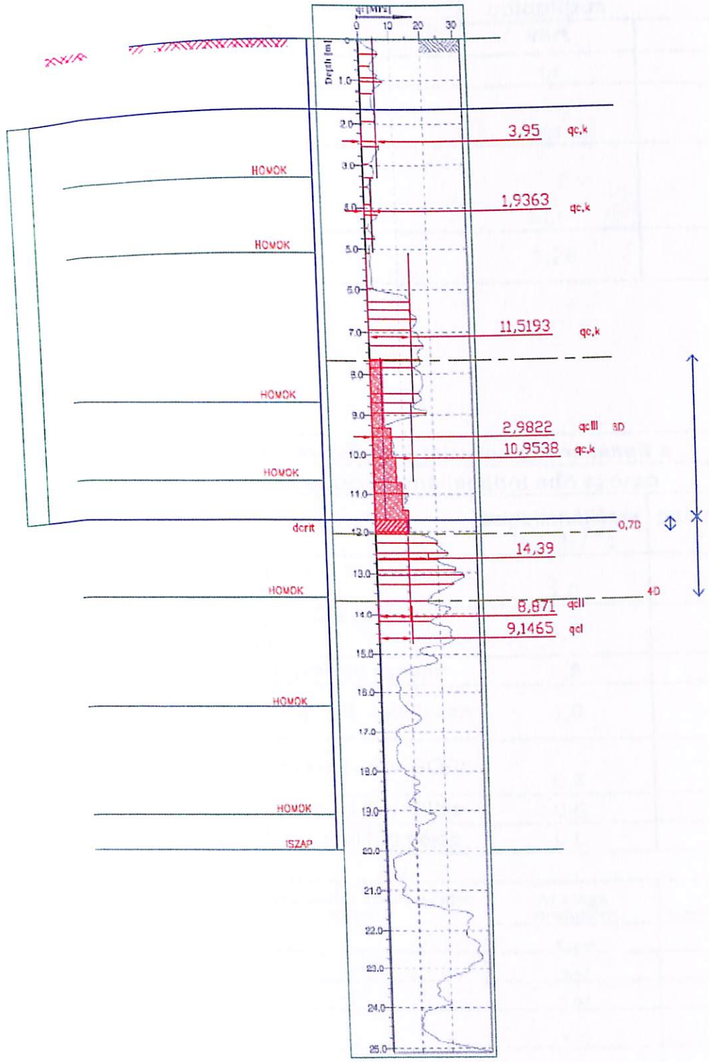
41. ábra Sülyledés görbe



42. ábra Függőleges teherbírás

6.2.1.2 CPT :

Az excel táblázat amelyet írtam az MSZ EN 1997-2 szerinti biztonsági tényezők és képletek alapján számolja a cölöp teherbírását. Elsőként bevittem azokat a táblázatokat amelyekből szükségem volt a biztonsági tényezők értékére amelyek függtek a cölöpözési módtól a talajtól és az elvégzett próbaterhelések mennyiségétől. Majd a szabványban és a Szepesházi Róbert Geotechnika Tervezés C. könyvében felhasznált képletek segítségével határoztam meg a cölöpteherbírását. A qc és qs értékeket a CPT ábráról olvastam le melyet AutoCad-be bevittem méretarányosan és méretezve határoztam meg a szabvány szerint a szükséges értékeket.



43. ábra A kiértékelt CPT diagramm

Parciális tényezők a cölöpök tervezéséhez

cölöpellenállás	jel	cölöptípus	
		vert	fúrt
talpellenállás	Yb	1,1	1,25
nyomott cölöp palástellenállása	Ys	1,1	1,1
nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	Yt	1,1	1,20
húzott cölöp palástellenállása	Ys;t	1,25	1,25

Cölöpök szemcsés talajbeli fajlagos ellenállásait a statikus szonda csúcsellenállásából adó szorzó

készítési mód	típus	talpellenállásra ^{a}b " ^{q}b / ^{q}c	palástellenállásra ^{a}s – ^{q}s *1* ^{q}c
talajkiszorítással	előregyártott vert vb. vagy acél	1,0	0,010
	helyszíni vert (Franki, Simplex)	1,0	0,014
	előregyártott csavart	0,8	0,012
részleges talajkiszorítással	vert acélprofil, nyitott cső	1,0	0,0075
talajhelyettesítéssel	folyamatos (CFA, SOB)	0,8	0,006
	béléscsővel fúrt cölöp	0,6	0,006
	fúróiszappal fúrt cölöp	0,6	0,005

Az ellenállás meghatározási eljárása	próbaterhelések ill. talajvizsgálatok száma	Az átlagra vonatkozóan	A minimumra vonatkozóan
		ξ_{mean}	ξ_{min}
statikus[1,4] próbaterhelés	1	1,40	1,40
	2	1,30	1,20
	3	1,20	1,05
	4	1,10	1,00
	> 5	1,00	1,00

Vert cölöpök fajlagos cölöpellenállásainak meghatározása CPT alapján

Talpellenállás

$$q_b = \alpha_b \cdot \beta \cdot s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right)$$

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékből

1		s köralakú cölöpökre
1		α_b *és a* talpellenállás technológiai szorzója
0,75		β köralakú cölöpökre
9146	kN/m2	q_{cI} a talp alatti d_{crit} kritikus mélységre vonatkozó átlag
8871	kN/m2	q_{cII} a talp alatti d_{crit} kritikus mélység minimuma
2982	kN/m2	q_{cIII} a talp feletti 8D hossz minimuma, de legfeljebb 2 MPa
9146	kN/m2	d_{crit} 4D és 0,7D közötti azon mélység, mely a legkisebb qb értéket adja
4496	kN/m2	q_b talpellenállás

Palástellenállás

$$q_s = \alpha_s \cdot q_c$$

αs		0,01	αs a palástellenállás technológiai szorzója qcH korrekciója
qc,1=		3952	kN/m2 talajrétegenkénti átlagolt csúcsellenállás
qc,2=		1936	kN/m2
qc,3=		11519	kN/m2
qc,4=		7962	kN/m2

qc,5=	14390 kN/m2
qs,1	39,52 kN/m2
qs,2	19,36 kN/m2
qs,3	115,19 kN/m2
qs,4	79,62 kN/m2
qs,5	143,9 kN/m2

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékel

Palástellenállás számított értéke

$$R_{s;cal} = D \cdot \pi \cdot \sum_i q_{s;cal;i} \cdot H_i$$

$$R_{s;k} = \frac{R_{s;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rs,cal	1296,67498 kN
Rs,k	926,196414 kN
D, cölöp átmérője	0,5
Hi, rétegek magassága	1,6 m 1,7 m 3,7 m 2 m 1 m
A_b=0,5²*pi/4	0,19635 m²

Talpellenállás számított értéke

$$R_{b;cal} = A_b \cdot q_{b;cal}$$

$$R_{b;k} = \frac{R_{b;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rb,cal	882,8755031 kN
Rb,k	630,6253594 kN

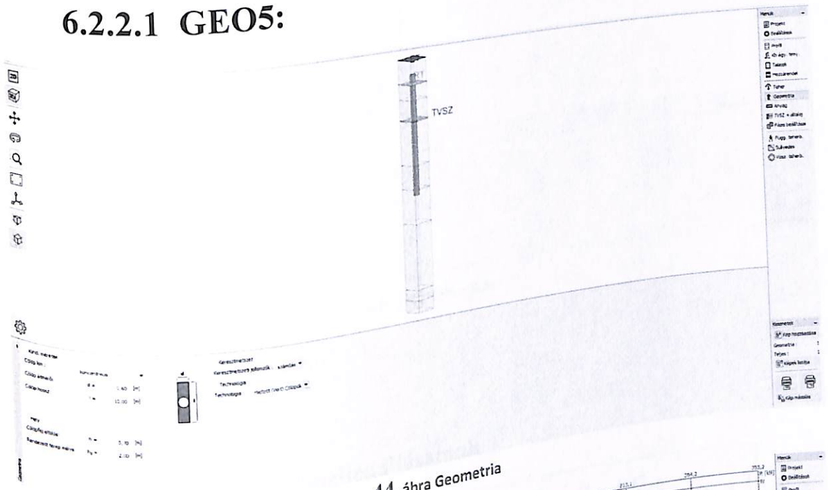
Nyomási ellenállás

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

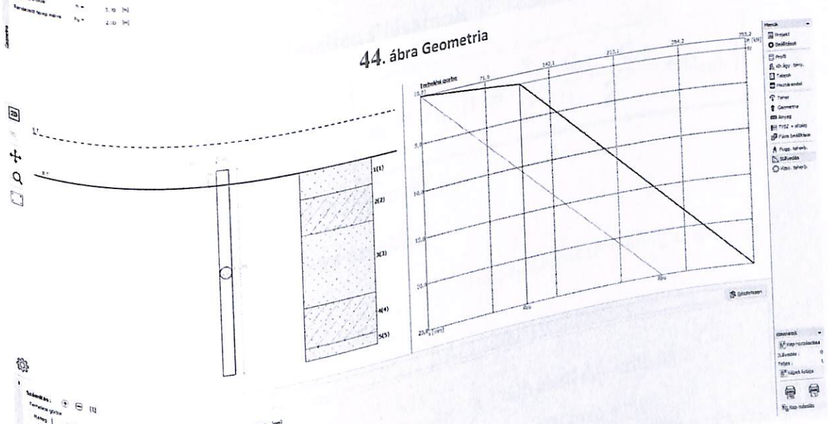
Rc,d	1286,629565 kN

6.2.2. 2.Variáció 10 méter hosszúságú 60 cm átmérőjű cölöp

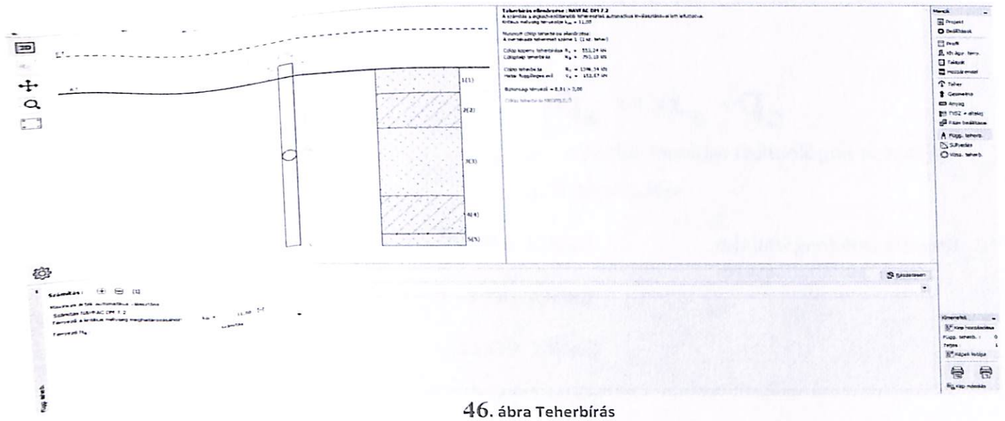
6.2.2.1 GEO5:



44. ábra Geometria



45. ábra Süllyedés



46. ábra Teherbírás

6.2.2.2 CPT:

vert cölöpök fajlagos cölöpellenállásainak tapasztalati értékei

Talpellenállás

$$q_b = \alpha_b \cdot \beta \cdot s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right)$$

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékből

1	α_b *a* talpellenállás technológiai szorzója
0,75	β és s köralakú cölöpökre
9146 kN/m2	q_{cI} a talp alatti d_{crit} kritikus mélységre vonatkozó átlag
8871 kN/m2	q_{cII} a talp alatti d_{crit} kritikus mélység minimuma
2982 kN/m2	q_{cIII} a talp feletti 8D hossz minimuma, de legfeljebb 2 MPa
9146 kN/m2	d_{crit} 4D és 0,7D közötti azon mélység, mely a legkisebb qb értéket adja
4496,4375 kN/m2	q_b talpellenállás

Palástellenállás

$$q_s = \alpha_s \cdot q_c$$

0,01 α_b a palástellenállás technológiai szorzója

qcH korrekciója

α_s		
$q_{c,1}$=	3952 kN/m2	talajrétegenkénti átlagolt csúcsellenállás
$q_{c,2}$=	1936 kN/m2	
$q_{c,3}$=	11519 kN/m2	
$q_{c,4}$=	7962 kN/m2	
$q_{c,5}$=	14390 kN/m2	
$q_{s,1}$	39,52 kN/m2	
$q_{s,2}$	19,36 kN/m2	
$q_{s,3}$	115,19 kN/m2	
$q_{s,4}$	79,62 kN/m2	
$q_{s,5}$	143,9 kN/m2	

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékel

Palástellenállás számított értéke

$$R_{s\,cal} = D \cdot \pi \cdot \sum_i q_{s;calc,i} \cdot H_i =$$

$$R_{sk} = \frac{R_{s;cal}}{\xi_{5\,mean}}$$

Rs,cal	1556,009976 kN
Rs,k	1111,435697 kN
D, cölöp átmérője	0,6
Hi, rétegek magassága	1,6 m 1,7 m 3,7 m 2 m 1 m
A_b=0,5²*pi/4	0,282744 m²

Talpellenállás számított értéke

$$R_{b;cal} = A_b \cdot q_{b;cal} \qquad R_{b;k} = \frac{R_{b;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rb,cal	1271,340725 kN
Rb,k	908,1005175 kN

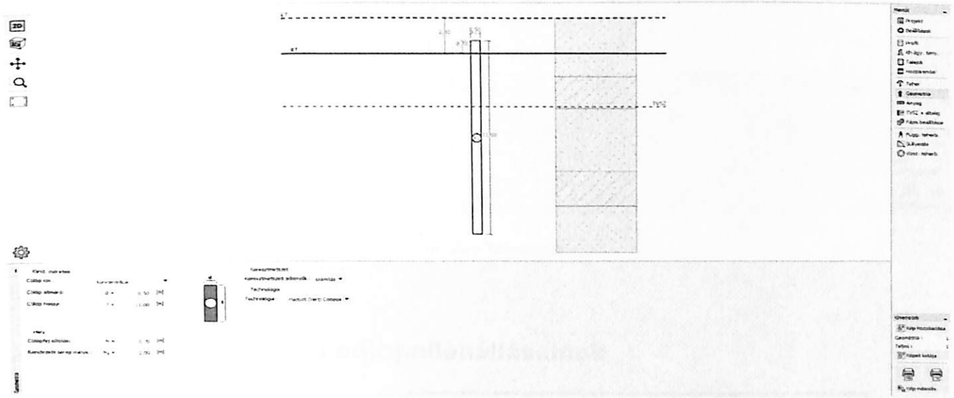
Nyomási ellenállás

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

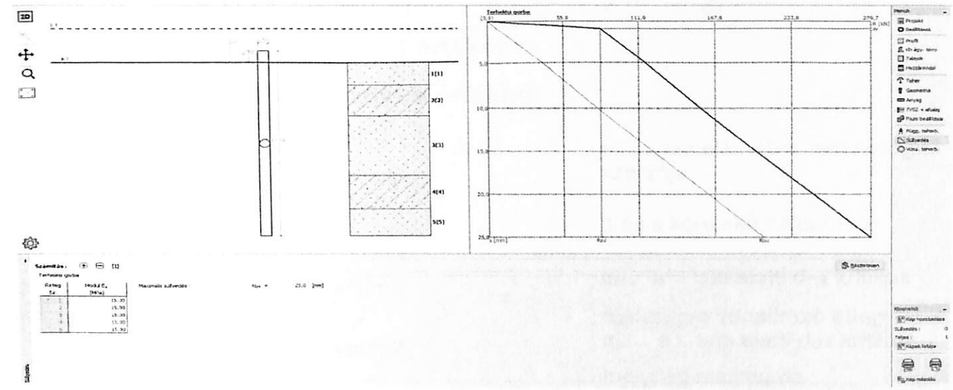
Rc,d	1669,038194 kN

6.2.3 3.Variáció 11 méter hosszúságú 50 cm átmérőjű cölöp

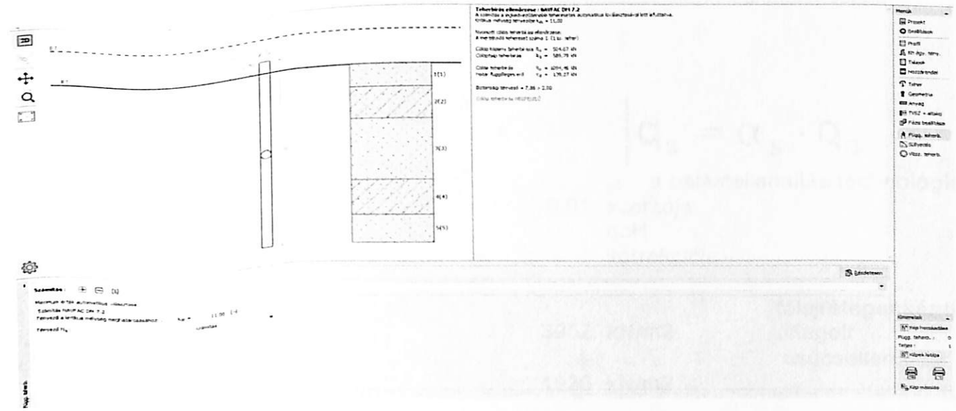
6.2.3.1 GEO5



47. ábra Geometria



48. ábra Süllyedés



49. ábra Teherbírás

6.2.3.2 CPT:

vert cölöpök fajlagos cölöpellenállásainak tapasztalati értékei

Talpellenállás

$$q_b = \alpha_b \cdot \beta \cdot s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right)$$

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékből

1	α_b *a* talpellenállás technológiai szorzója
0,75	β és s köralakú cölöpökre
14997 kN/m2	q_{cI} a talp alatti d_{crit} kritikus mélységre vonatkozó átlag
13749 kN/m2	q_{cII} a talp alatti d_{crit} kritikus mélység minimuma
7700 kN/m2	q_{cIII} a talp feletti 8D hossz minimuma, de legfeljebb 2 MPa
9146 kN/m2	d_{crit} 4D és 0,7D közötti azon mélység, mely a legkisebb qb értéket adja
8277,375 kN/m2	q_b talpellenállás

Palástellenállás

$$q_s = \alpha_s \cdot q_c$$

α_b a palástellenállás technológiai szorzója

0,01 qcH korrekciója

αs		talajrétegenkénti átlagolt csúcsellenállás
qc,1=	3952 kN/m2	
qc,2=	1936 kN/m2	
qc,3=	11519 kN/m2	
qc,4=	7962 kN/m2	
qc,5=	14390 kN/m2	
qs,1	39,52 kN/m2	
qs,2	19,36 kN/m2	
qs,3	115,19 kN/m2	
qs,4	79,62 kN/m2	
qs,5	143,9 kN/m2	

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékel

Palástellenállás számított értéke

$$R_{s,cal} = D \cdot \pi \cdot \sum q_{si,calc,i} \cdot H_i =$$

$$R_{sk} = \frac{R_{s;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rs,cal	1522,7131 kN
Rs,k	1087,652214 kN
D, cölöp átmérője	0,5
Hi, rétegek magassága	1,6 m 1,7 m 3,7 m 2 m 2 m
$A_b=0,5^2*pi/4$	0,19635 m²

Talpellenállás számított értéke

$$R_{b;cal} = A_b \cdot q_{b;cal}$$

$$R_{b;k} = \frac{R_{b;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rb,cal	1625,262581 kN
Rb,k	1160,901844 kN

Nyomási ellenállás

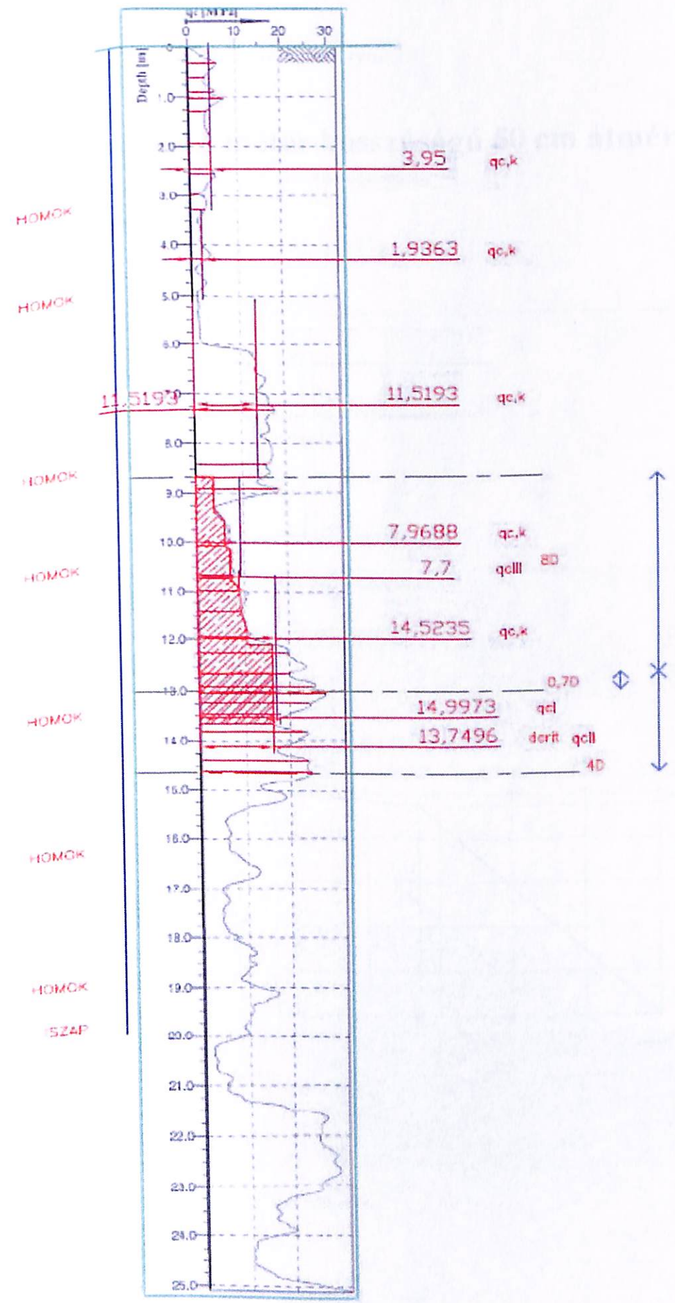
$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} = \frac{\frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}}{}$$

Rc,d	1858,309139 kN

Parciális tényezők a cölöpök tervezéséhez			
cölöpellenállás	**jel**	**cölöptípus**	
		vert	**fúrt**
talpellenállás	Yb	1,1	1,25
nyomott cölöp palástellenállása	Ys	1,1	1,1
nyomott cölöp teljes/kombinált ellenállása	Yt	1,1	1,20
húzott cölöp palástellenállása	Ys;t	1,25	1,25

Cölöpök szemcsés talajbeli fajlagos ellenállásait a statikus szonda csúcsellenállásából adó szorzó			
készítési mód	típus	talpellenállásra ^{a}b " ^{q}b / ^{q}c	palástellenállásra $^{a}s - {}^{q}s$ *1* ^{q}c
talajkiszorítással	előregyártott vert vb. vagy acél	1,0	0,010
	helyszíni vert (Franki, Simplex)	1,0	0,014
	előregyártott csavart	0,8	0,012
részleges talajkiszorítással	vert acélprofil, nyitott cső	1,0	0,0075
	folyamatos (CFA, SOB)	0,8	0,006
talajhelyettesítéssel	béléscsővel fúrt cölöp	0,6	0,006
	fúróiszappal fúrt cölöp	0,6	0,005

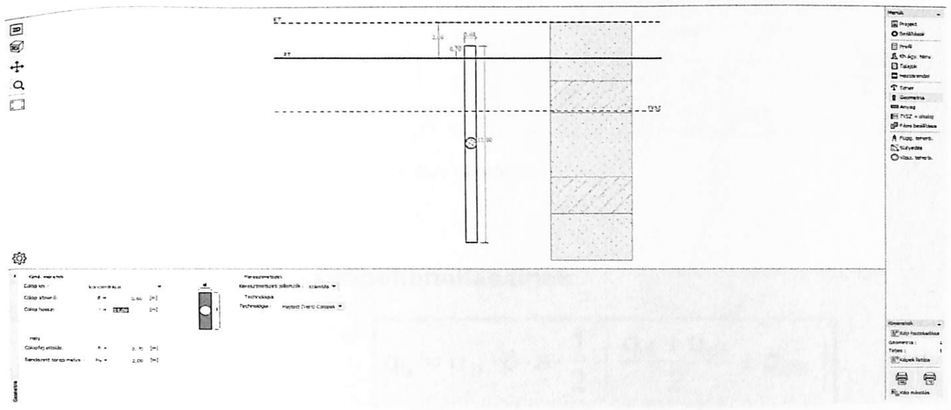
Az ellenállás meghatározási eljárása	próbaterhelések ill. talajvizsgálatok száma	Az átlagra vonatkozóan	A minimumra vonatkozóan
		ξ_{mean}	ξ_{min}
statikus[1,4] próbaterhelés	1	1,40	1,40
	2	1,40	1,20
	3	1,30	1,05
	4	1,20	1,00
	> 5	1,10	1,00
		1,00	



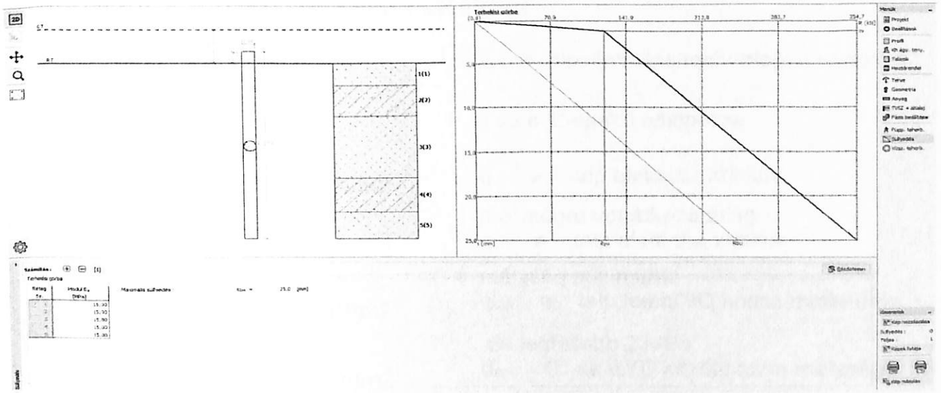
50. ábra A kiértékelt CPT diagram

6.2.4 4.Variáció 11 méter hosszúságú 50 cm átmérőjű cölöp

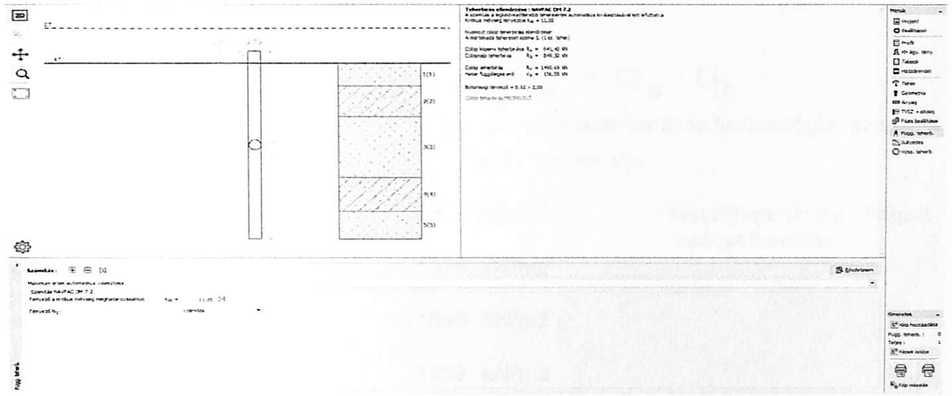
6.2.4.1 GEO5:



51. ábra Geometria



52. ábra Süllyedés



53. ábra Teherbírás

6.2.4.2 CPT:

vert cölöpök fajlagos cölöpellenállásainak tapasztalati értékei

Talpellenállás

$$q_b = \alpha_b \cdot \beta \cdot s \cdot \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{q_{cI} + q_{cII}}{2} + q_{cIII} \right)$$

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékből

1	α_b *a* talpellenállás technológiai szorzója
0,75	β és s köralakú cölöpökre
14997 kN/m2	q_{cI} a talp alatti d_{crit} kritikus mélységre vonatkozó átlag
13749 kN/m2	q_{cII} a talp alatti d_{crit} kritikus mélység minimuma
7700 kN/m2	q_{cIII} a talp feletti 8D hossz minimuma, de legfeljebb 2 MPa
9146 kN/m2	d_{crit} 4D és 0,7D közötti azon mélység, mely a legkisebb qb értéket adja
8277,375 kN/m2	q_b talpellenállás

Palástellenállás

$$q_s = \alpha_s \cdot q_c$$

αs	0,01	αb	a palástellenállás technológiai szorzója
			qcH korrekciója
qc,1=	3952	kN/m2	talajrétegenkénti átlagolt csúcsellenállás
qc,2=	1936	kN/m2	
qc,3=	11519	kN/m2	
qc,4=	7962	kN/m2	
qc,5=	14390	kN/m2	

qs,1	39,52	kN/m2
qs,2	19,36	kN/m2
qs,3	115,19	kN/m2
qs,4	79,62	kN/m2
qs,5	143,9	kN/m2

A cölöpellenállás tervezési értékének számítása a karakterisztikus értékel

Palástellenállás számított értéke

$$R_{s,cal} = D \cdot \pi \cdot \sum q_{s;calc,i} \cdot H_i$$

$$R_{sk} = \frac{R_{s;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rs,cal	1827,25572	kN

Rs,k	1305,182657	kN
D, cölöp átmérője	0,6	
Hi, rétegek magassága	1,6	m
	1,7	m
	3,7	m
	2	m
	2	m
A_b=0,5²*pi/4	0,282744	m²

Talpellenállás számított értéke

$$R_{b;cal} = A_b \cdot q_{b;cal} \qquad R_{b;k} = \frac{R_{b;cal}}{\xi_{mean}}$$

Rb,cal	2340,378117	kN
Rb,k	1671,698655	kN

Nyomási ellenállás

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma_t} = \frac{R_{b;k}}{\gamma_b} + \frac{R_{s;k}}{\gamma_s}$$

Rc,d	2460,232489	kN

6.3 Számítási eredmény összehasonlítása

Az összes számítás végeztével szeretném összegezni az eredményeket egy táblázatban amelyből a végső értékeket jobban összetudjuk vetni.

6.3.1 I.Talajmodell

Itt megfigyelhető, hogy a számítógépes programmal számolt teherbírás közel azonos de a CPT által kapott értéktől eltérő. Ez azért lehet, mert a programmal nem tudjuk biztosan az adott paramétereket betáplálni, hiszen ha ezt szerettük volna, a fúrásnál a helyszínen kellet volna lennünk. Mivel a CPT szondánál a kész diagramot kapjuk ebből tudunk a legpontosabb becslést végezni a cölöp teherbírására, ha még ez az érték lett is a legmagasabb. A programoknál a megengedett legnagyobb süllyedés 50mm-es volt.

10m hosszú 50cm-es oldalhosszal rendelkező cölöp			
Módszer	Plaxis 8.2	GEO 5	CPT
Mértékegység	kN	kN	kN
Teherbírás	**915,3**	**1144**	**1534,76**

6.3.2 II. Talajmodell

Ennél a talajmodellnél látható, hogy ha nem rendelkezünk a megfelelő paraméterekkel akkor a csak a programmal végzet számításra nem szabad hagyatkozni. A kapott GEO5-ös eredmények feltehetőleg nem tükrözik a valóságot bár ugyan ezzel a talajmodellel a plaxis program még jobban alábecsülni a cölöp teherbíró képességét. A meglévő teherbírási értékekhez a CPT által kapott teherbírási érték közelebb van de mivel a cölöpcsúcs nem a legjobb teherbíró képességekkel rendelkező talajban van, ezért választottam ki az előző talajmodellben kapott teherbírási értéket mértékadónak.

10m hosszúságú 50cm-es átmérővel rendelkező cölöp		
Módszer	GEO 5	CPT
Mértékegység	kN	kN
Teherbírás	**989,50**	**1286,62**
10m hosszúságú 60cm-es átmérővel rendelkező cölöp		
Módszer	GEO 5	CPT
Mértékegység	kN	kN
Teherbírás	**1346,34**	**1669,03**
11m hosszúságú 50cm-es átmérővel rendelkező cölöp		
Módszer	GEO 5	CPT
Mértékegység	kN	kN
Teherbírás	**1094,46**	**1858,30**
11m hosszúságú 60cm-es átmérővel rendelkező cölöp		
Módszer	GEO 5	CPT
Mértékegység	kN	kN
Teherbírás	**1490,69**	**2460,23**

7. Cölöp vasalás számítása

A vasalás számításához a biztosabb I. talajmodellben méretezett cölöpöt választottam, mivel abban mind három számítási módszerrel reális képet kaptunk a cölöp teherbírásáról, de a végső felhasznált mértékadó teher a CPT szondadiagram alapján kapott érték. Mivel a felüljáró terheit nem kaptam meg ezért a külső konzulens ajánlásával és a szabvány minimumok figyelembe vételével választottam meg a vasakat és a szerkesztési szabályokat.

Hossz vasalás: 4db ϕ 20

kengyel vas: ϕ5 129m

távolságtartó vas: ϕ8 17db

Cölöpcsúcs erősítési vasalás: 0,6m

verési erősítés acél lemezből készült a gyártó által megadott fajta.

A hossz vasakon kívül a minimum átmérőket alkalmaztam a cölöphöz.

A cölöp betonfedését 400mm re vettem fel.

8. Összegzés

Szakdolgozatomban egy cölöp megtervezése volt a cél, melyet alapozással kezdve a mélyalapozásig majd a cölöpalapozási technológiákon keresztül mutattam be a dolgozatom elején. Majd áttértem a próba terhelésekre, amelyeket bemutattam a szabványon és szakirodalmakon keresztül is. Ezeket alkalmazva magam is kiszámoltam a cölöp teherbírását és vasalását.

A dolgozatom második felében három féle számítási módszerrel két program és a CPT diagram alapú cölöp teherbírás meghatározási módszer összehasonlításával számoltam ki a cölöp teherbírását. Erről kijelenthetjük, hogy mind a szabványban leírt és szakirodalmakban is ajánlott CPT alapú cölöpteherbírás meghatározás bizonyult a legpontosabbnak a három közül. Ezért mint a mai legelfogadottabb számítási módszer, én is ez alapján számítottam a cölöp vasalását és ezt az értéket vettem a mértékadónak.

9. Jelölések:

Latin betűk

A'	hatékony alapfelület
*A*b	a cölöp talpfelülete
*A*c	a teljes nyomott alapfelület
*A*s;i	a cölöp palástfelülete az i-edik rétegben
*a*d	a geometriai adat tervezési értéke
c	kohézió
c'	hatékony kohézió
*c*u	drénezetlen nyírószilárdság
*c*u;d	a drénezetlen nyírószilárdság tervezési értéke
d	takarási mélység
*E*d	az igénybevétel tervezési értéke
*E*stb;d	az állékonyságnövelő igénybevételek tervezési értéke
Edst;d	az állékonyságcsökkentő igénybevételek tervezési értéke
Fc;d	a cölöpre vagy cölöpcsoportra ható tengelyirányú nyomóerő tervezési értéke
Fd	a hatás tervezési értéke
*F*k	a hatás karakterisztikus értéke
*F*rep	a hatás reprezentatív értéke
*F*t;d	a cölöpre vagy cölöpcsoportra ható tengelyirányú húzóerő tervezési értéke
*F*tr;d	a cölöpre vagy a cölöpcsoportra ható keresztirányú erő tervezési értéke
*q*b;k	a cölöpök fajlagos talpellenállásának karakterisztikus értéke
*q*s;i;k	a cölöpök fajlagos palástellenállásának karakterisztikus értéke az i-edik rétegben
*R*a;d	*R*a tervezési értéke
*R*a;k	*R*a karakterisztikus értéke
*R*b;cal	a cölöp talpellenállása talajvizsgálati eredményekből számítva
*R*b;d	a cölöp talpellenállásának tervezési értéke
*R*b;k	a cölöp talpellenállásának karakterisztikus értéke

$R_{c\,a}$ cölöp talajkörnyezetének nyomási ellenállása

$R_{c;cal}$ R_c számított értéke

$R_{c;d}$ R_c tervezési értéke

$R_{c;k}$ R_c karakterisztikus értéke

$R_{c;m}$ R_c egy vagy több cölöp-próbaterheléssel meghatározott értéke

R_d az ellenállás tervezési értéke valamely hatással szemben

$R_{s;d}$ a cölöp palástellenállásának tervezési értéke

$R_{s;cal}$ a cölöp palástellenállása talajvizsgálati eredményekből számítva

$R_{s;k}$ a cölöp palástellenállásának karakterisztikus értéke

s süllyedés

s_0 azonnali süllyedés

s_1 konszolidációs süllyedés

s_2 a kúszás okozta (másodlagos) süllyedés

T_d a teljes nyírási ellenállás tervezési értéke, amely a cölöpcsoportot befogadó talajtömb peremén, avagy a tartószerkezet talajjal érintkező részén működik

V függőleges erő, vagy egy összegzett hatásnak az alapfelületre merőleges összetevője

V_d V tervezési értéke

X_d az anyagjellemző tervezési értéke

X_k az anyagjellemző karakterisztikus értéke

z függőleges távolság

Görög betűk

α az alapfelület vízszintessel bezárt szöge

δ a tartószerkezet és a talaj közötti súrlódási szög

δ_d δ tervezési értéke

γ térfogatsúly

γ' hatékony térfogatsúly

γ_b a cölöpök talpellenállásának parciális tényezője

$\gamma_{c'}$ a hatékony kohézió parciális tényezője

γ_{cu} a drénezetlen nyírószilárdság parciális tényezője

γE az igénybevétel parciális tényezője

γm a talajparaméter (anyagjellemző) parciális tényezője

$\gamma m;i$ az i-edik réteg talajjellemzőjének parciális tényezője

γM a talajparaméter (anyagjellemző) parciális tényezője, mely figyelembe veszi a modellbizonytalanságot is

γQ az esetleges hatás parciális tényezője

γqu az egyirányú nyomószilárdság parciális tényezője

γs a cölöp palástellenállásának parciális tényezője

$\gamma S;d$ az igénybevétel modellbizonytalanságának parciális tényezője

γw a víz térfogatsúlya

$\gamma \phi'$ a hatékony súrlódási szög (tanϕ.) parciális tényezője

$\gamma \gamma$ a térfogatsúly parciális tényezője

ξ a vizsgált cölöpök számától vagy a vizsgált talajszelvények számától függő korrelációs tényező

$\xi 1$; $\xi 2$ a statikus próbaterhelésekkel meghatározott cölöpellenállás korrelációs tényezője

$\xi 3$; $\xi 4$ a talajvizsgálatok alapján meghatározott cölöpellenállás korrelációs tényezője, ha nem végeznek próbaterhelést

$\xi 5$; $\xi 6$ a dinamikus próbaterhelésekkel meghatározott cölöpellenállás korrelációs tényezője

ϕ' hatékony súrlódási szög

ϕcv a kritikus állapothoz tartozó súrlódási szög

10. Ábrák jegyzéke

1.ábra Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III.

2.ábra http://slideplayer.hu/slide/2088975/

3.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

4.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

5.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

6.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

7.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

8.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

9.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

10.ábra Geotechnika Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre

11.ábra http://dynatest.hu/dynatest/142/Dinamikus-colop-probaterheles.html

12.ábra Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei

13.ábra Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei

14.ábra Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika Tervezés

15.ábra https://www.google.hu/maps/@47.9072627,21.6508407,15z?hl=hu

16.ábra http://fold1.ftt.uni-miskolc.hu/~foldshe/mof04.htm

17.ábra Szabolcs-Szatmár-Bereg és Szatmár megyék geotermikus atlasza

18.ábra Szabolcs-Szatmár-Bereg és Szatmár megyék geotermikus atlasza

19.ábra Talajvizsgálati jelentésNagymaros, Váci út 141-es címen található épület bővítéséhez

20.ábra Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere

21.ábra Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere

22.ábra Szabolcs-Szatmár-Bereg és Szatmár megyék geotermikus atlasza

11.Felhasznált irodalom

- Dr. Bartos Sándor, Králik Béla: Mélyépítés III. 1985. Budapest
- Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika, Egyetemi jegyzet, harmadik korszerűsített kiadás, 2008. Győr
- Faur Krisztina Beáta, Szabó Imre: Geotechnika , Miskolci Egyetem Földtudományi kar, 2011.
- http://dynatest.hu/dynatest/142/Dinamikus-colop-probaterheles.html
- MSZ EN 1997-1-2006 Cölöpök próbaterhelése
- Dr. Szepesházi Róbert: A cölöpök törőerejének számítási lehetőségei 2007. Miskolc
- Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei Területfejlesztési Koncepció
- Dövényi Zoltán: Magyarország kistájainak katasztere MTA FKI 2010. Budapest
- Tóth Roland: Talajvizsgálati Jelentés, Budapest
- Dr. Szepesházi Róbert : Geotechnika Tervezés 2011. Győr