



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

Óbudai Egyetem
Ybl Miklós Építéstudományi Kar
Építőmérnöki Intézet

SZAKDOLGOZAT FELADATLAP

Hallgató neve: Dormán Boldizsár

Szakdolgozat száma: [REDACTED]

Törzskönyvi száma: [REDACTED]

Neptun kódja: [REDACTED]

Szak: Építőmérnöki

Specializáció: Geotechnika

A dolgozat címe: Munkatérhatárolás és végleges támfal tervezése hézagos cölöpfallal és ideiglenes horgonyzással

A dolgozat címe angolul: Designing of the demarcation of the construction site and the permanent retaining wall using with gapped pile wall and temporary anchoring

A feladat részletezése: A szakdolgozat témája egy hézagos cölöpfalas munkatérhatárolás, melynek felső szakasza a tervezett épület körüli kerengő végleges támfala is lesz egyben. A tervezési helyszín az MCC új épületénél van. Címe: 1016 Budapest, Szent Sebestyén köz 1. - Somlói út 49-53 - Alsóhegy utca 10-16.

Intézményi konzulens neve: Kaczvinszki-Szabó Vera

Külső konzulens neve: Dési Attila

Munkahelye: Force Plan Kft.

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

Beadási határidő: 2024. 12. 15.

A szakdolgozat: Nem titkos.

Kiadva: Budapest, 2024. 10. 21.

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

Intézetigazgató

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

[Signature]

belső konzulens

[Signature]

külső konzulens

SZAKDOLGOZAT KONZULTÁCIÓS NAPLÓ

Hallgató neve: Dormán Boldizsár

Dolgozat száma:

Oktatási azonosítója:

Szak, specializáció megnevezése:

Neptun azonosítója:

Építőmérnöki

Törzskönyvi száma:

Geotechnika

A dolgozat címe magyar nyelven: Munkatérhatárolás és végleges támfal tervezése hézagos cölöpfallal és ideiglenes horgonyzással

A dolgozat címe angol nyelven: Designing of the demarcation of the construction site and the permanent retaining wall using with gapped pile wall and temporary anchoring

Belső (kari) konzulens neve: Kaczvinszki-Szabó Vera

Külső konzulens neve: Dési Attila

Külső konzulens munkahelye: Force Plan Kft.

ALK.	DÁTUM	KONZULTÁCIÓ TÉMÁJA, TARTALMA	KONZULENS ALÁÍRÁSA
1.	Dátum 2024.09.24.	Feladat kiadása	Dés. Attila
2.	Dátum 2024.10.10.	Ismerkedés a feladattal, geotézis, horgonyzó elemek kiválasztása.	Chh-Chh
3.	Dátum 2024.11.20.	Tervező programok átbeszélése	Dés. Attila
4.	Dátum 2024.12.05.	Szakdolgozat végző formájának kidolgozása	Chh-Chh

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

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

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

Kelt: Budapest, 2024.12.12.
(hely), (datum)



belső (kari) konzulens

HALLGATÓI NYILATKOZAT

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

Kelt: Budapest (hely), 2024. 12. 14. (dátum)



hallgató

SZAKDOLGOZAT

ÓE-YBL

2024.

Hallgató neve:

Dormán Boldizsár

Hallgató törzskönyvi száma:

TARTALOMJEGYZÉK

1.	BEVEZETÉS	5
2.	SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	6
2.1.	Munkatér határoló szerkezetek	6
2.1.1.	Rézsűs kialakítás	7
2.1.2.	Széles munkagödör megtámasztása hagyományos dúcolattal	8
2.1.3.	Siemens (berlini) dúcolás	8
2.1.4.	Munkatérhatárolás élővízben	9
2.1.5.	Talajszegezéssel eljárás	10
2.1.6.	Szádfal	11
2.1.7.	Jet-grouting fal	13
2.1.8.	Munkagödör határolása talajfagyasztással vagy injektálással	14
2.1.9.	Résfalak	15
2.1.10.	Cölöpfalak	17
2.2.	Alkalmazható megtámasztó szerkezetek	22
2.2.1.	Acél csőtámaszok	22
2.2.2.	Milánói módszer	23
2.2.3.	Talajhorgonyok	24
2.3.	Munkatérhatárolás kőzetben	26
3.	HAZAI ÉS NEMZETKÖZI PÉLDÁK BEMUTATÁSA	28
3.1.	Törökország, Gaziantep, Antepia projekt	28
3.2.	Portugália, Porto, Aliados metróállomás	29
3.3.	Szlovénia, Trojane alagút	32
3.4.	Magyarország, Budapest, Várbazár mélygarázs	33
4.	ALAPADATOK	37
4.1.	Kiindulási adatok	37
4.2.	Az építési hely története	38
4.3.	Földtani viszonyok	39
4.4.	Hidrogeológiai viszonyok	40
4.5.	Szeizmitási adatok	41
4.6.	Térszín alatti barlangok, üregek, vetők	43
4.7.	Geotechnikai kategória	43
4.8.	Talajfeltárás, talajvizsgálat, mintavétel	43

4.8.1.	Terepi vizsgálatok.....	45
4.9.	Elvégzett laboratóriumi vizsgálatok	46
4.10.	Feltárt kőzetek értékelése	47
4.11.	Karakterisztikus geotechnikai/mérnökgeológiai paraméterek.....	48
4.12.	Környezetvédelmi információk	50
5.	A KIVÁLASZTOTT TECHNOLOGIA ISMERTETÉSE.....	51
5.1.	Lehetséges munkatérhatárolási módok.....	51
5.2.	A kiválasztott munkatérhatárolás szerkezeti rendszere.....	52
5.3.	Tereprendezés, lavírsíkok kialakítása	52
5.4.	Rézsűk kialakítása, cölöpvezető gerenda.....	53
5.5.	Cölöp fúrása.....	54
5.6.	Furatmegtámasztás	56
5.7.	Cölöparmatúra behelyezése, betonozás	56
5.8.	Cölöpösszefogó gerenda.....	58
5.9.	Földkiemelés, talajhorgonyzás.....	58
6.	A KIVÁLASZTOTT SZERKEZETI RENDSZER MÉRETEZÉSE	59
6.1.	A tervezési feladat ismertetése.....	59
6.2.	Alkalmazott szabványok.....	59
6.3.	Felhasználandó anyagok, anyagjellemzők.....	60
6.4.	Számítási módszer, szoftver	60
6.5.	Vizsgált metszetek	61
6.6.	Tervezés beállításai a programban.....	61
6.7.	Talajparaméterek felvétele.....	64
6.8.	Geometria, anyag.....	64
6.9.	Rézsű, felszíni terhek megadása	65
6.10.	Földkiemelés, horgonyzás	67
6.11.	Földvisszatöltés, ideiglenes horgonyok elvágása	68
6.12.	Távlati kitámasztó gerendarács megépítése.....	69
6.13.	Nyugalmi földnyomásból származó nyomaték, koncentrált erő.....	70
6.14.	Földrengési terhek meghatározása.....	71
6.15.	Külső stabilitás ellenőrzése.....	72
6.16.	Belső stabilitás ellenőrzése	73
6.17.	Horgonyok ellenőrzése	74
6.18.	Vasalás számítása.....	74

6.19.	Repedéstágasság vizsgálata	75
6.20.	Elmozdulások várható értéke.....	76
6.21.	Kiviteli tervek elkészítése.....	76
7.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	80
8.	SUMMARY	81
9.	IRODALOMJEGYZÉK.....	81
10.	KÉPJEGYZÉK.....	85
11.	MELLÉKLETEK.....	88

1. BEVEZETÉS

A szakdolgozatom témája egy hézagos cölöpfalas munkatérhatárolás megtervezése és méretezése, amelynek felső szakasza egyben a tervezett épület kerengőjének végleges támfalaként is funkcionál majd. A projekt helyszíne Budapesten található, a Mathias Corvinus Collegium (MCC) új épülete, amely a 1016 Budapest, Szent Sebestyén köz 1. – Somlói út 49-53 – Alsóhegy utca 10-16. cím alatt található. A feladat során részletesen feldolgozom a munkatérhatárolási megoldásokkal kapcsolatos hazai és nemzetközi szakirodalmat, miközben konkrét példákon keresztül vizsgálom az alkalmazott technológiák tapasztalatait. A kapott talajparaméterek alapján négy különböző metszetben végzem el a szerkezet statikai méretezését, és elkészítem a hozzájuk tartozó szükséges műszaki terveket.

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Munkatér határoló szerkezetek

Amikor az alapozási sík a terepszint alatt helyezkedik el, a felette lévő talajtömeget el kell távolítani, vagyis ki kell emelni a munkagödröt. Keskenyebb munkagödrök esetében gyakran használjuk a "munkaárok" kifejezést. Jelen áttekintésben a széles munkagödröket tanulmányozom. [2]

A munkagödör nagysága több tényezőtől függ. Az építmény méretei mellett figyelembe kell venni a közlekedési, raktározási és szállítási igényeket, valamint a víztelenítés szükségességét is. Az oldalkialakítás módját a rendelkezésre álló terület, a talaj minősége, a talajvíz viszonyok, a nyitvatartás időtartama, a környezet beépítettsége, az építési technológiai viszonyok és az építési létesítmény méretei határozzák meg. Emellett a munkálatokhoz rendelkezésre álló eszközök is befolyásolják a megfelelő technológia kiválasztását. [2]

A szerkezetek stabilitását többféle módszer biztosíthatja, ezek közé tartozhat a belső megtámasztás (dúcolatok), a szerkezet alsó részének altalajba való befogása, vagy a szerkezet súlyával biztosított stabilitás (támfalak). Gyakran kombinálják ezeket a megoldásokat, például befogott és hátrahorgonyozott szerkezetek esetében. Ezek a szerkezetek ideiglenes vagy végleges funkcióval bírhatnak. Ideiglenes szerkezetként a munkaterület (árkok, gödrök) határolására szolgálnak, amelyeket a felszín alatti munkák befejezése után elbontanak. Végleges esetben például mélygarázsok vagy aluljárók oldalfalaként működhetnek. [1]

A munkagödrök oldalfalainak kialakítása többféle módon történhet. Az egyik lehetőség a rézsűs kialakítás, amely lehet burkolatlan, füvesített, löveltt betonnal megerősített vagy burkolt. Ha a rézsűs kialakítás nem megfelelő, akkor dúcolással oldható meg a munkagödör határolása. A dúcolás földmegtámasztást jelent, amelynél a gödört határoló - általában függőleges - földfalak nyomását pallók, ezekre merőleges hevederek és a megtámasztó dúcolok rendszere veszi fel. Ehhez fa, vasbeton, acél vagy műanyag elemeket használhatunk. Másik lehetőség a szádfalak alkalmazása, amelyek szintén készülhetnek

fából, acélból vagy vasbetonból. További technikák közé tartozik a réselt falak, cölöpfalak vagy akár gátak építése, illetve speciális esetekben a falak fagyasztása vagy vegyileg történő szilárdítása is megoldás lehet. Egyes projektek esetén talajszegezés, munkatérhatárolás élővízben vagy jet- grouting fal is alkalmazható a stabilitás érdekében. [2]

2.1.1. Rézsűs kialakítás

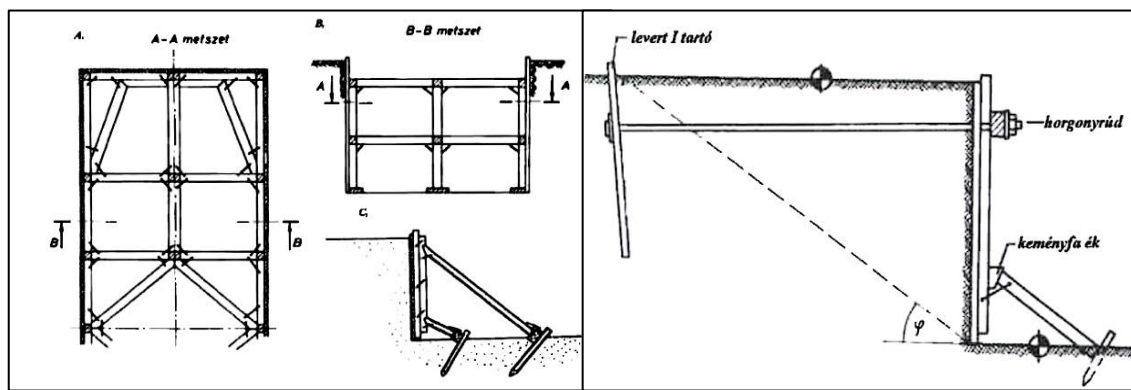
A legegyszerűbb megoldás, de nagy helyigénye van, és több földmunkát igényel, mint a függőleges falnál. A rézsű hajlását stabilitási vizsgálatokkal kell meghatározni, figyelembe véve a felszíni terheléseket is. Rétegzett talaj esetén veszélyes lehet, különösen, ha befelé lejtő agyagréteg található. A kiemelt földet a rézsűn kívül kell elhelyezni. A talajvíz emelkedése is okozhat rézsűmozgást. A szádfalak vagy cölöpverés, valamint a forgalom okozta dinamikus hatások csökkenthetik a stabilitást. Fontos felhívni a figyelmet a tereprendezés jelentőségére, továbbá ügyelni kell arra is, hogy a csapadékvíz ne folyjon be a munkagödörbe. [2]



1. kép Rézsűs munkagödör határolás. Forrás: [15]

2.1.2. Széles munkagödör megtámasztása hagyományos dúcolattal

Amennyiben a gödör szélessége meghaladja a 3 métert, figyelembe kell venni a dúcok kihajlásának (kibicsaklásának) lehetőségét, ezért azokat minden irányban stabilizálni kell. Nagyobb szélességnél ez a megoldás meglehetősen bonyolulttá válik, mivel nagyméretű dúcokra vagy nagyon sűrű dúcolásra lenne szükség, ami a munkavégzést a gödörben szinte lehetetlenné tenné. Ilyen esetekben, ha a munkagödörben elegendő hely van, alkalmazható a ferde megtámasztás, ahogyan az ábrán is látható. [2]



2. kép Széles munkagödör megtámasztásának lehetőségei. Belső megtámasztás (bal oldalon), hátrahorgonyzás (jobb oldalon). Forrás: [2]

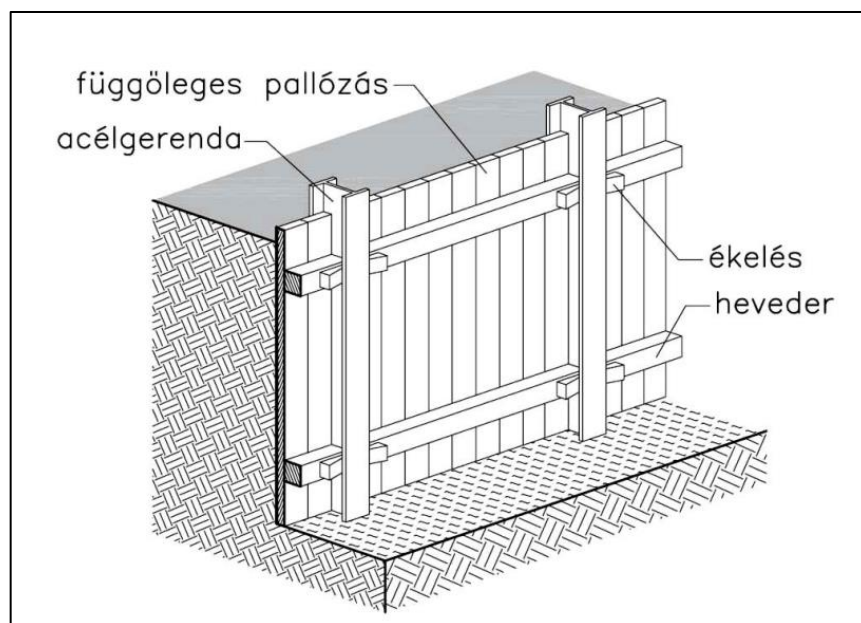
Sokszor előnyös lehet az építendő műtárgy alaplemezőnek felhasználása a megtámasztásra. Ha a ferde kitámasztásra nincs elegendő hely, akkor a függőleges hevederek pozícióját kihorgonyzással kell biztosítani. A horgonyrudakat általában megfelelő távolságban levert acél gerendákhoz rögzítik. [2]

2.1.3. Siemens (berlini) dúcolás

A hengerelt acél „I” szelvények ideális választást jelentenek a száraz és sekély munkaárkok, valamint munkagödrök stabilizálására. Ezen szelvényeket általában 2 méter távolságra, de 1-3 méteres távolságok között, a talaj típusától függően, veréssel vagy furatba helyezéssel juttatják a talajba. Nagyobb terhelés esetén sűrűbb tartókiosztásra van szükség. Elsősorban olyan munkagödröknél előnyös, amelyek mélysége meghaladja a 6 métert, és szélessége 3-4 méternél szélesebb. A kiosztás távolságának mezőről mezőre legfeljebb 50 cm eltérést szabad engedni. Ez azért fontos, mert a különböző irányokból érkező aszimmetrikus terhelés gyenge talajviszonyok között a tartók kifordulásához

vezethet. A tartók hosszát és a talajba juttatás mélységét földstatikai számítások segítségével kell meghatározni, akárcsak a kiosztás távolságát és a szelvények méretét. A zajvédelmi előírások miatt a legtöbb esetben a furatba helyezés a preferált eljárás, mivel ez elkerüli a verés által okozott nehézségeket, különösen az áthatolhatatlan rétegeknél. A furatok lehetnek szabadon állók, vagy folyadékkal támogatottak. A beépített acél elemek után fontos, hogy a furatokat megfelelően töltsük ki, különösen a kiemelési szint alatti részeknél. [3]

Az acélgerendák függőleges konzoltartóként működnek, amelyeket dúcokkal vagy talajhorgonyokkal lehet megtámasztani. A gerendák közé vízszintes pallókat csúsztatnak, amelyek az emelés során kielekelhetők a gerendák övlemezeihez. [3]



3. kép Siemens (berlini) dúcolat függőleges pallózással. Forrás: [16]

2.1.4. Munkatérhatárolás élővízben

Az élővízben történő alapozás és műtárgyépítés során elengedhetetlen, hogy olyan szerkezeteket alakítsunk ki, amelyek távol tartják a vizet és képesek felvenni annak nyomását. A leggyakoribb megoldások közé tartoznak a földgátak, amelyek vízzáró talajból készülnek, rézsús határolással és szokványos töltésépítési technológiákkal. Ezen kívül találkozhatunk jászolgátakkal is, amelyek az elmosást gátló acéllemezfalak közé

épített vízzáró talajból állnak, így hatékonyan megakadályozzák a víz átszivárgását. A kettős zárógátak szintén fontos szerepet játszanak a vízszigetelésben, ahol az acélfal biztosítja a vízzárást, míg a közéjük épített talaj stabilitást nyújt. Hasonló, de zárt sejtekből álló szerkezet a sejtfalas zárógát, amely szintén hatékonyan védi az alapozást az élővíz hatásaitól. [1]



4. kép Jászolagt. Forrás: [17]

2.1.5. Talajszegezési eljárás

A talaj megtámasztására használt szegek (általában acélrudak) különféle erőhatásoknak vannak kitéve, mint a húzó-, nyíró- és hajlító erők. A munkagödör oldalát gyakran vékony rétegben lövellt betonnal fedik, amit drót- vagy acélhálóval erősítenek meg. Ez a módszer megakadályozza a talaj kipergését és kiszáradását, így ideiglenesen biztosítja a földfal stabilitását. A gödör mélyítését általában 90-180 cm magas szakaszokban végzik. [2]

Két szegezési módszert használnak:

- Rövid szegek: 5-8 méter hosszú acélrudakat (pl. betonvasat vagy zárt szelvényű rudakat) vernek, vibrálnak vagy sűrített levegővel lönek a talajba. Négyzetméterenként 1-3 szeget helyeznek el.

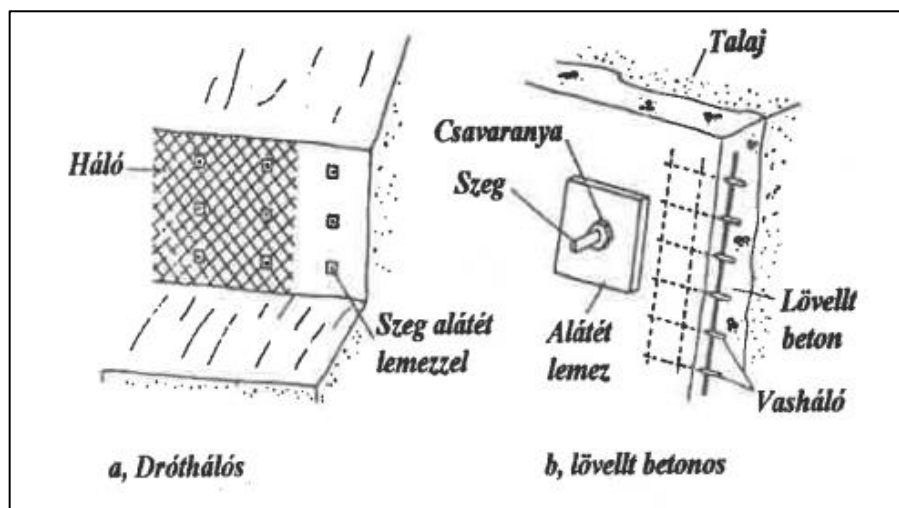
- Injektált szegezés: Ebben a módszerben 12-36 mm átmérőjű, nagyszilárdságú acélrudakat helyeznek egy 10-15 cm-es fűrt lyukba, majd az üreget kiinjektálják.

Egy H mélységű gödör esetén a szegek hossza $0,8-1,2 H$ között változik. Négyzetméterenként $0,15-0,9$ injektált szeget használnak.

A felületet kétféleképpen alakíthatják ki:

- Dróthálós borítással (ha a talaj állékony).
- 5-20 cm vastag lövellt betonréteggel, amit 8-10 mm-es egy- vagy kétsoros betonvas hálóval erősítenek meg. [2]

A talajból a fal irányába szivárgó víz elvezetésére gyakran alkalmaznak textíliát, vagy 1-2 méter hosszú, majdnem vízszintes furatokat készítenek, amelyekbe dréncsöveket helyeznek. Ezeket a csöveket a falon keresztül vezetik át a megfelelő vízelvezetés biztosítása érdekében. Talajszegezést nem ajánlott használni vízzel telített, puha talajok esetén. [1], [2]



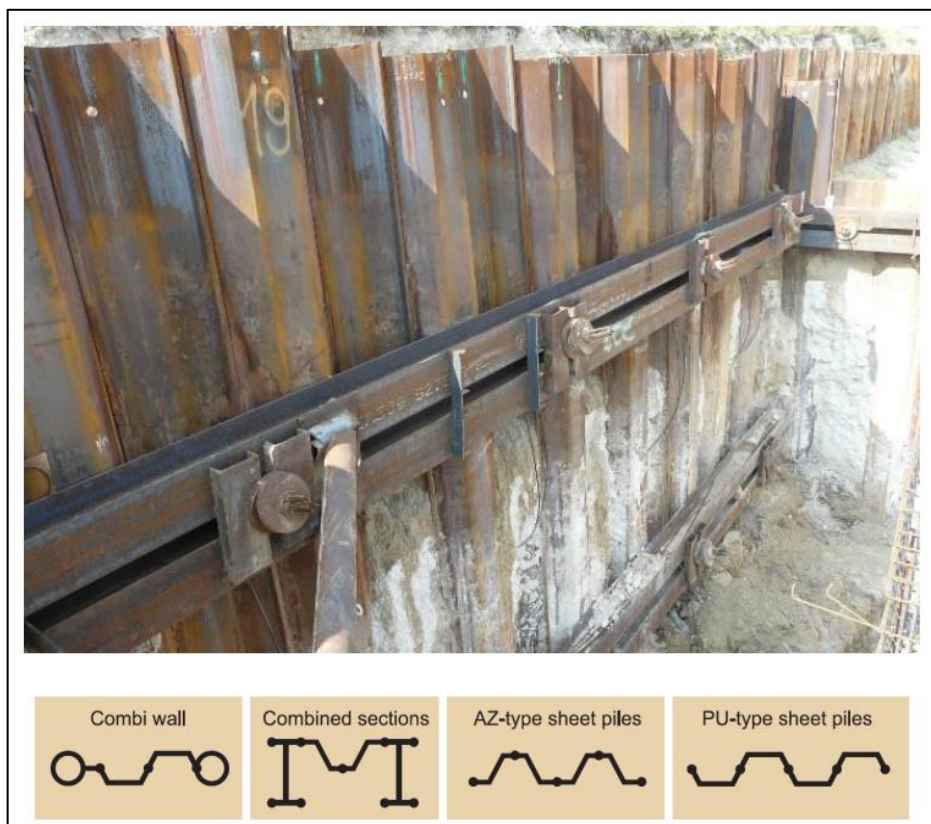
5. kép Szegezett talajfelszín felületkialakításainak lehetőségei. Forrás: [2]

2.1.6. Szádfal

A szádfalak olyan vízzáró kapcsolattal is rendelkező, főként acélból készült pallók, amelyeket különböző technikákkal, mint például veréssel, vibrálással vagy sajtolással juttatnak a talajba, hogy megfelelő stabilitást biztosítsanak. Gyakran hátrahorgonyozzák

vagy belső támaszokkal erősítik meg őket. A pallók hullámos kialakítása növeli az inerciát, bár léteznek egyenes elemek is. Előfordul, hogy fából vagy vasbetonból készült pallókat is használnak. A verést általában dízel- vagy hidraulikus üzemű eszközökkel végzik, de szemcsés talajnál a vibrálás hatékonyabb lehet. Több pallót egy táblában helyeznek le, és az egymás melletti táblákat lépcsősen verik be, ami gyakran szükségtelemmé teszi állványok és vezetősínek használatát. A zajcsökkentés érdekében újabban zajárnyékoló hengereket alkalmaznak, vagy sajtolással helyezik el az elemeket. [1]

A szádfalak használatának feltétele, hogy a talaj vagy építési maradványok ne akadályozzák a leverést. Ideiglenes munkatérhatárolásként hasznosak lehetnek, különösen, ha a talajvíz mélyebben található, és víz kizárása is szükséges. A vízepítési projektekben is gyakran alkalmazzák, például kikötők, mólók és partfalak kialakításához. Manapság közlekedési útvonalak mentén is egyre gyakrabban készülnek végleges szerkezetként, korrózióvédelemmel és esztétikus színezéssel ellátva. [1]



6. kép Horgonyzott és kitámasztott szádfal (felül), valamint szádfalelemek jellegzetes keresztmetszeti kialakítása (alul). Forrás: [3]

2.1.7. Jet-grouting fal

Ez egy a berlini dúcolathoz hasonló szerkezet, amelynél az acél elemeket jet habarccsal megerősített oszlopokba helyezik. Mivel a jetelt talaj szilárdulása előtt még sűrű, folyékony állapotú, az acél elemek mérete – a jet oszlop átmérőjétől függetlenül – korlátozott. Jellemzően csak a fúrószerszám által létrehozott függőleges tengely és annak közvetlen, 15-20 cm átmérőjű környezete alkalmas az acélelemek elhelyezésére. A kívánt teherbírás az acél elemek elrendezésének megfelelő megválasztásával érhető el. [3]

A talaj jellemzőitől függően a jet oszlopok 60-120 cm átmérőjűek lehetnek. A vízzárást az átmérőnél 10-20 cm-rel kisebb osztástávolság nyújtja, így a jet-grouting falak egyik fő előnye a hagyományos berlini dúcolattal szemben, hogy vízzáró kivitelben is alkalmazhatók. További előny, hogy az acélelemeket szilárd „talajbeton” veszi körül, így elmarad a berlini dúcolatnál szükséges pótlólagos furatkitöltés, és egymást keresztező oszlopok esetén nincs szükség pallózásra sem. [3]



7. kép Acéltag beépítése jet-grouting falba. Forrás: [3]

2.1.8. Munkagödör határolása talajfagyasztással vagy injektálással

Ez a módszer akkor alkalmazható, amikor talajvíz alatti homok vagy kavicsrétegben kell mély munkagödröt ásni, és a vízzáró réteg túl mélyen van ahhoz, hogy más módszerekkel gazdaságosan elérhető legyen. A technika során mesterséges hűtéssel megfagyasztják a talajban lévő vizet, így szilárd, vízzáró fal jön létre, ami ideiglenesen megtartja a talaj falát. [2]

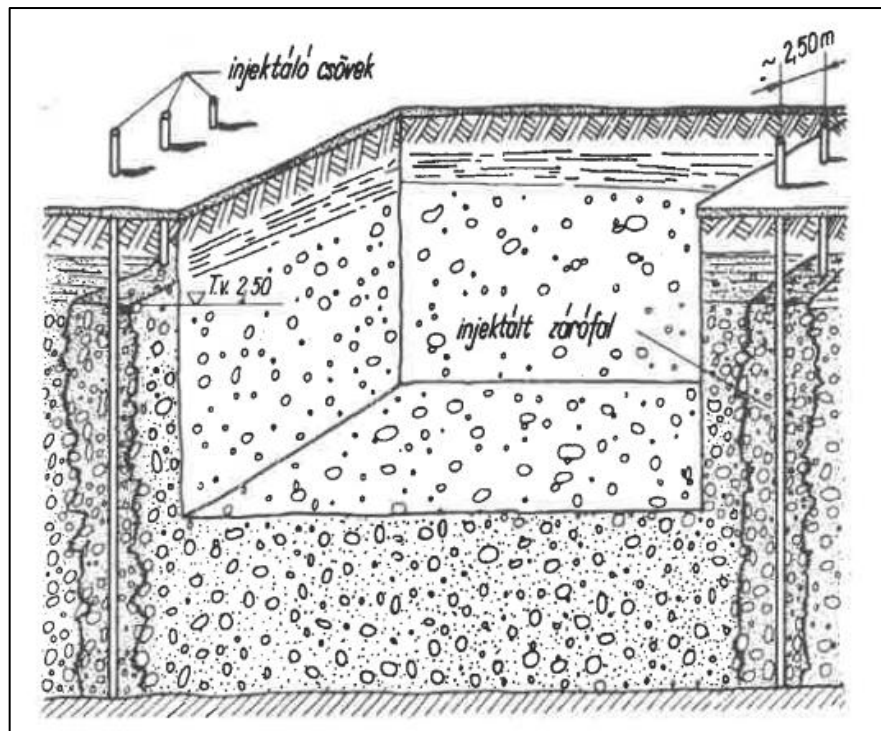
Előnyök:

- Tökéletes vízzárást biztosít
- Nincs szükség egyéb támasztéokra
- Szinte bármilyen talajban alkalmazható
- Rövid gépházi üzemzavar nem befolyásolja a munkát

Hátrányok:

- Bonyolult és költséges gépeket igényel
- Hosszadalmas előkészítést igényel, a fal kialakítása akár 2-3 hónapig is eltarthat
- Áramló vagy sós víz esetén kevésbé hatékony
- A fagyott talaj felengedése évekig tarthat
- Fagyásveszély miatt a szerkezeteket szigetelni kell

Az injektálás során a munkagödör körül egy vízzáró réteget hoznak létre úgy, hogy idegen anyagokat juttatnak a talajba, amelyeket beszajtolnak. Ez a megerősítés kiterjedhet mind a munkagödör oldalfalára, mind az aljára. Az injektáláshoz használt anyagokat a talaj áteresztőképessége (k) alapján választják ki, például cement- agyag keveréket, vízüveget vagy műanyagokat. [2]



8. kép Injektálással határolt munkagödör. Forrás: [2]

2.1.9. Résfalak

A résfal olyan vasalt falszerkezet, amelyet a talajba mélyített, keskeny résben helyeznek el, és előregyártott vagy helyben betonozott formában készíthető. Fő funkciója lehet ideiglenes vagy végleges megtámasztás és vízzáróság biztosítása. A beton résfalak nagy teherbírásuknak köszönhetően alkalmasak jelentős függőleges és vízszintes erők átvitelére, miközben csak minimális alakváltozást szenvednek. [3]

Útépítésnél résfalakat elsősorban műtárgyak (aluljárók, hidak) munkatérhatároló szerkezeteként, valamint függőleges teherviselő elemeiként alkalmaznak, mind ideiglenes, mind végleges állapotban. Gyalogos és közúti aluljárók kivitelezése gyakran ezzel a technológiával történik, hogy biztosítsák a szükséges vízzárósági követelményeket. Ugyanakkor bevágási résűk esetén a vízzáróság miatt, mivel a víznyomás nem kezelhető, nem használják ezt a módszert. Városi környezetben általában olyan mély munkagödrök partfalmegtámasztására alkalmazzák, ahol a földkiemelés szintje a környező talajvíz szintje alatt van. Ilyen esetekben a résfalat egy mélyen fekvő,

vízzáró talajrétegbe telepítik, hogy minimalizálják a talajvíz beszivárgását a víztelenítés során. Ha a területen nincs vízzáró talajréteg, lebegő résfal készülhet, amely nem csatlakozik a vízzáró réteghez, és a beáramló víz megfelelő kezelése érdekében szivattyúrendszert használnak. [3]

Technológia előnyei közé tartozik, hogy hátrahorgonyzás vagy belső dúcolás esetén a vízszintes deformációk jól kontrollálhatók, és 25 méteres mélységtől ez a leggazdaságosabb alapozási és megtámasztási módszer. A top-down megtámasztással kombinált horgonyzott résfalak különösen időtakarékos megoldást jelentenek a munkatér határolásában. Hátrányként említhető a magas anyagfelhasználás és a megtámasztó folyadék kezelésének szükségessége. [3]

Minden esetben függőleges kivitelezésben készülnek, különböző eszközök alkalmazásával, mint például köteles vagy hidraulikus kanalas réskiemelő kanalak, illetve hidrofrezerek, amelyek folyadékáramlásos talajeltávolítást végeznek. Magyarországon a kanalas vagy hidraulikus kanalas módszert alkalmazzák, ahol a résfalak vastagsága 40–80 cm, míg hidrofrezeres módszerrel akár 3,0 méter vastagságú fal is készíthető. A résfal mélysége kanalas módszerrel 30-40 méter, hidrofrezerral akár 100-150 méter is lehet. A helyben betonozott résfal készítésének egyik legfontosabb technológiai szempontja a megfelelő megtámasztó folyadék alkalmazása és annak folyamatos fenntartása a betonozás során. A résalapok előregyártott vasbeton elemekből is készülhetnek. Ebben az esetben a kiásott és bentonitos zaggyal kitöltött részbe előregyártott, horonnyal egymáshoz csatlakozó vasbeton pallókat vagy függőlegesen elhelyezett T keresztmetszetű vasbeton gerendákat kell elhelyezni adott távolságra egymástól. A bentonitos zagy egy speciális folyékony keverék, amely vízből és bentonitból (duzzadó agyagásvány) áll, és elsősorban résfalazásnál, fúrásnál vagy egyéb mélyépítési munkáknál alkalmazzák, mivel kiváló szuszpenziós és tömítő tulajdonságai miatt stabilizálja a falakat és megakadályozza a talaj omlását. A közökbe vasbeton pallókat kell süllyeszteni úgy, hogy azokat a T gerendák peremei támasztják meg. A résfal kialakítása történhet pontszerűen, tömbszerűen, folyamatos egyenes, tört vonalú, íves vagy bordamerevítéses jelleggel. [3],[4]



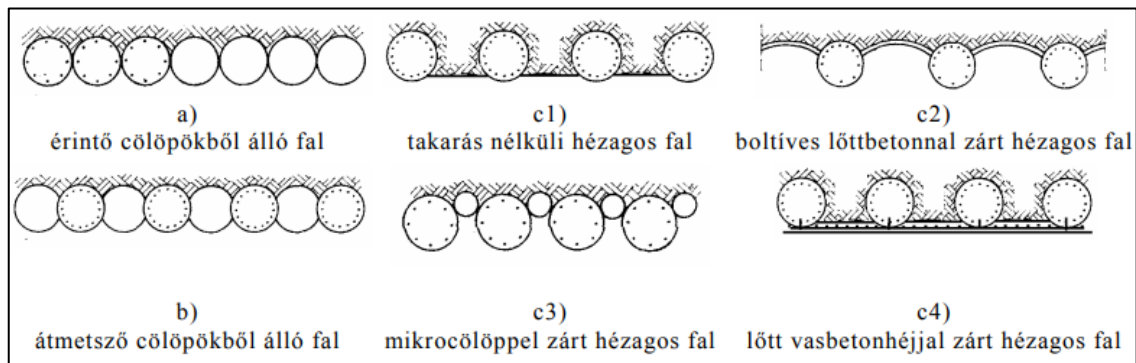
9. kép Résfal kivitelezésének munkafolyamatai. Forrás: [18]

2.1.10. Cölöpfalak

A cölöpfalak lehetnek hézagosak vagy zártak (érintkező vagy összemetsző), és jellemzően talajhelyettesítési fúrási technológiával készülnek helyszíni vasbetonból. Ritkább esetben vert vagy vibrált előregyártott vasbeton, illetve acél cölöpök is felhasználhatók a falszerkezet kialakítására. Magyarországon elsősorban talajvízszint feletti vagy szezonális rétegvizekkel érintett földkiemelések ideiglenes vagy végleges, nem vízzáró munkatérhatároló falaként alkalmazzák. [3]

Hazánkban leginkább a hézagos kialakítás terjedt el, amely különösen alkalmas nagyon kemény talajokban vagy puha kőzetekben tervezett földalatti terek építésénél, valamint olyan városi munkaterületeken, ahol a talajvíz nem jelent problémát, és a rendelkezésre álló szervezési terület szűkös. Ez a technológia gyakran optimális megoldás útépítési projektek bevágásaiban tervezett falszerkezetek esetében is, mivel robusztus, de vízáteresztő szerkezetet biztosít. [3]

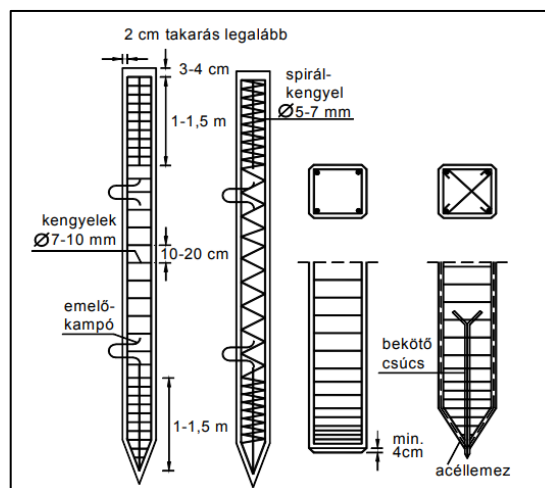
Az összemetsző kialakítás – szemben a résfalas technológiával – csak speciális esetekben gazdaságos, ezért ritkábban alkalmazzák. A hézagokat jet-grouting oszlopokkal kitöltve nem vízzáró, de vízteleníthető munkaterületek hozhatók létre, kisebb technológiai ráfordítással, mint az összemetsző cölöpfalak esetében. [1]



10. kép A cölöpfalak szerkezeti típusai. Forrás: [1]

A cölöpök csoportosítása különböző szempontok szerint történik. Teherátadás módja szerint megkülönböztetünk álló cölöpöket, lebegő cölöpöket, és vegyes cölöpöket. Az igénybevétel módja szerint a cölöpök lehetnek nyomottak, húzottak vagy hajlítottak. Anyaguk szerint beszélhetünk fa, acél, beton, illetve vasbeton cölöpökről. A készítés módja szerint vannak előregyártott és helyben készülő cölöpök. Méreteiket tekintve a rövid cölöpök (3-5 m), mikrocölöpök ($d < 30$ cm), normál cölöpök ($30 \text{ cm} \leq d \leq 80 \text{ cm}$) és a nagy átmérőjű cölöpök ($d > 80 \text{ cm}$) fordulhatnak elő. A készítési technológia szerint pedig létezik talajhelyettesítéssel és talajkiszorítással készült cölöp. [1]

Talajkiszorítással készülő cölöpök: A talajkiszorítással készülő cölöpök technológiája olyan megoldás, amelynél a cölöp behajtásakor a talajt nem távolítják el, hanem eltolják, kiszorítják az elemek bejuttatásával. Ezen eljárás esetében két speciális feladat emelhető ki: a talajkiszorító elem gondos kiválasztása és kialakítása, valamint a lehajtás technológiájának helyes megválasztása. [1]



11. kép Előregyártott, vert vasbeton cölöp kialakítása. Forrás: [1]

Talajhelyettesítéssel készülő cölöpök: A technológiai feladatok a földkiemeléssel kezdődnek, amelyet többféle módszerrel lehet elvégezni, például fúrással, markolással vagy vízöblítéssel. Fúrás esetén a talajtípushoz igazodva kell kiválasztani a megfelelő szerszámot. Szemcsés talajokban a kanál- vagy dobfúró a leghatékonyabb, amelynek az alja fel van hasítva, így a talaj bejut az edénybe, és a kiemelés során sem hullik ki. Kötött talajoknál a spirálfúró használata célszerű, mivel a talaj kohézióval megmarad a spirálon. Nedves homok esetén is hatékonyan működik a lapos emelkedésű spirálfúró. Létezik egy speciális "végtelen spirál" változat is, amely 12-25 méter hosszú, és a tengelye egyben betonozócsőként is funkcionál, amivel minden talajtípus kiemelhető. Egyes változatok esetében a tengelycső átmérője közel azonos a spirál külső átmérőjével, így a spirál lehajtása közben ki is szorítja a talajt. Ritkábban előfordul, hogy öblítéses fúrás alkalmaznak, ilyenkor a fúrófej felnyitja a furattalpat, és az anyagot az öblítőfolyadék hozza a felszínre, miközben a furat falát is megtámasztja. Minden eljárásnál kiemelten fontos, hogy a furat alján ne maradjon laza, leomlott talaj, mivel ez a stabilitást veszélyeztetheti. A következő lépés a furatfal biztosítása, hogy elkerüljük az omlást. A furatállékonyság fenntartása az egyik legfontosabb feladat az építkezési folyamatban, mivel a furatfal beomlása komoly problémákat okozhat. Például megnehezítheti a szerszám kiemelését, folytonossági hiányokat idézhet elő a cölöp szerkezetében, gyengítheti a vasalat és a beton közötti kötést, illetve növelheti a betonfelhasználást. Emellett a talaj fellazulása csökkentheti a palástellenállást, és a furat alján kompresszibilis „párnát” képezhet, amely szintén problémás lehet. [1]

A furat megtámasztására többféle megoldás létezik. Kötött talajok esetében, ha a furatfal elég stabil, a megtámasztás akár el is hagyható, bár ilyenkor fontos, hogy a furatot gyorsan betonozzák ki. Végtelen spirálos fúrásnál a furat stabilitását a bennmaradó talajdugó biztosítja, így külön megtámasztó eszközre nincs szükség, ami jelentős előny. [1]

Szemcsés talajok esetén gyakran fúróiszap, például bentonit szuszpenzió használatos a furatfal megtámasztására, amit más mélyalapozási technikáknál is alkalmaznak, mint például a horgonyfúrás vagy a réselés. A legbiztonságosabb módszer a béléscső használata, azonban ennek mozgatása és toldása időigényes és külön eszközöket igényel, ami lassíthatja a munkafolyamatot. [1]

Ezután történik a beton bevitele és tömörítése, amely szintén kulcsfontosságú a szerkezet szilárdságának biztosításához. Végül a vasalás beillesztésére kerül sor, amely megerősíti a betonozott szerkezetet, növelve annak teherbírását és ellenálló képességét. [1]

CFA-cölöpözés: Az utóbbi időben Magyarországon a CFA-cölöpözés vált egyre népszerűbbé. Noha a CFA elnevezés angol eredetű, a német nyelvterületeken SOB, a francia nyelvterületeken pedig STARSOL néven ismert módszert már régóta használják. Az eljárás alapja a „végtelen” spirálfúró, amely egyúttal betonozócsőként is funkcionál. A fúrás során a furatot a bent maradó talajdugó támasztja meg, miközben a betonozás egy betonszivattyú segítségével történik, amely túlnyomással juttatja be a betont a fúrószáron keresztül. Ahogy a beton bekerül, az felnyomja a spirált és a talajdugót, melyet húzással kell segíteni. A vasalást utólag vibrálják a folyós betonba. A cölöp átmérője 30-80 (100) cm között változhat, hossza pedig 12-25 méter lehet, és a nagyobb méretekhez már erős gépekre van szükség. [1]



12. kép CFA cölöpözés megvalósítása. Forrás: [18]

Soil-Mec cölöpözés: A Soil-Mec cölöpözési eljárás idehaza is ismert és alkalmazott módszer. Az eljárás során a 80-150 cm átmérőjű furatot a talaj típusától függően dob- vagy spirálfúróval mélyítik. A furat falát béléscsővel vagy bentonitsuszpenzióval támasztják meg, és betonozó tölcser segítségével betonoznak. A betont merülővibrátorral tömörítik, a vasalást pedig a betonozás előtt helyezik el. [1]

A béléscső mozgatása speciális megfogó és sajtoló berendezést igényel. Szemcsés talajban a béléscsövet a dobfúró alá sajtolják, míg kötött talajban a cső követi a spirálfúrót. Különösen fontos, hogy a furatból eltávolított talajjal kiemelt vizet pótolják, hogy a talajba áramló víz ne okozzon hidraulikus talajtörést. [1]

Bentonitsuszpenzió alkalmazása esetén a helyszínen állandó rendszert kell telepíteni, amely tartalmazza a friss anyag elkészítésére szolgáló bentonitsilót, keverő és keringető szivattyúkat, kádakat és homoktalanító berendezéseket. A szuszpenzió minősége kulcsfontosságú a furat állékonyságának biztosítása érdekében. [1]



13. kép Dobfúróval felszerelt cölöpöző gép. Forrás: [19]

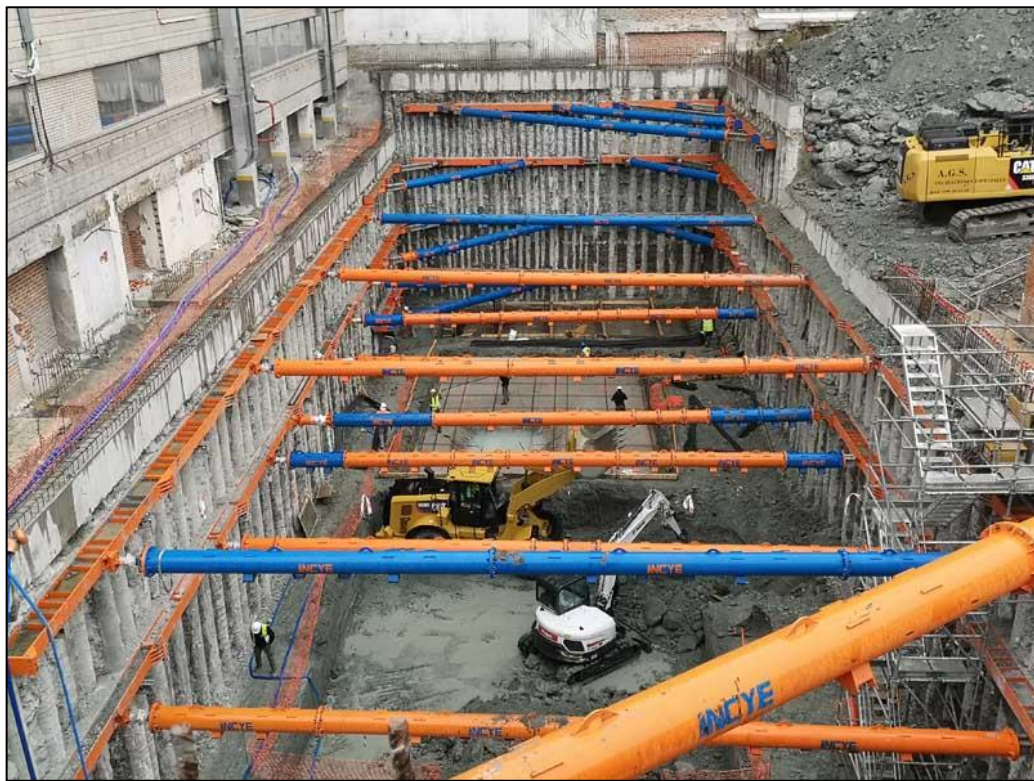
A cölöpfalak kialakíthatók konzolos formában, illetve ideiglenes vagy végleges megtámasztásokkal is (például acél csőtámaszokkal, talajhorgonyokkal vagy szerkezeti támaszokkal). Ezek a megtámasztások általában a cölöpök felső síkját összekötő vasbeton fejgerendához, esetenként pedig a cölöpök oldalára mélyebb szinteken rögzített vasbeton vagy acél mellgerendákhoz kapcsolódnak. Különleges alkalmakkal a cölöpök egyenként is megtámaszthatók teherelosztó fej- vagy mellgerenda nélkül, bár ezt ritkán szokták

alkalmazni. A továbbiakban a munkatér határolásban használt, gyakran előforduló megtámasztó szerkezeteket fogom ismertetni. [3]

2.2. Alkalmazható megtámasztó szerkezetek

2.2.1. Acél csőtámaszok

Az acél csődúcok az építőiparban gyakran alkalmazott megoldások a munkatér határolására, különösen szűk munkaterületek esetén, mint például közúti aluljárók, metróállomások, vagy vízépitési műtárgyak. Ezek a szerkezetek különösen hasznosak ott, ahol a talajhorgonyok használata nem lehetséges, például kedvezőtlen talajviszonyok miatt, vagy ha a munkatér mélysége meghaladja a 15-20 métert. A csődúcok használata a kisebb élőmunkaigény és az újrafelhasználhatóság miatt gazdaságos megoldás lehet. [3]



14. kép Acél csőtámokkal merevített, hézagos cölöpfalas munkatérhatárolás. Forrás: [20]

Az acél csőtámaszok alkalmazása hazai viszonyok között egyre inkább előtérbe kerül. A csőtámok a munkatérhatároló falak felső síkján vagy közbenső szintjein helyezkednek el, és egyszerre több falelem megtámasztására is alkalmasak. Optimális esetben a fallal merőlegesen kapcsolódnak, de speciális helyzetben akár 35 fokos szög is megvalósítható.

Élesebb szögeknél azonban csökken a hatékonyság, és a nyíróerők felvétele nehezebb. Lehetőség van döntött csótámok kialakítására is, melyek akár 45 fokos szöget is bezárhatnak a vízszintessel. Ezek az acél elemek általában kör keresztmetszetűek, S235-S355 minőségű szerkezeti acélból készülnek, és különböző méretekből (30-150 cm átmérővel, 12-18 méter hosszúságban) kaphatók. A dúcok a falakhoz különféle rögzítési technikákkal kapcsolódnak, és szükség esetén hidraulikus sajtókkal előfeszíthetők. Emellett nagyobb fesztáv esetén a hőtágulásból eredő tengelyirányú nyomóerők figyelembevételével méretezik őket, és fehér festéssel enyhítik a hőmérsékleti hatásokat. [3]

2.2.2. Milánói módszer

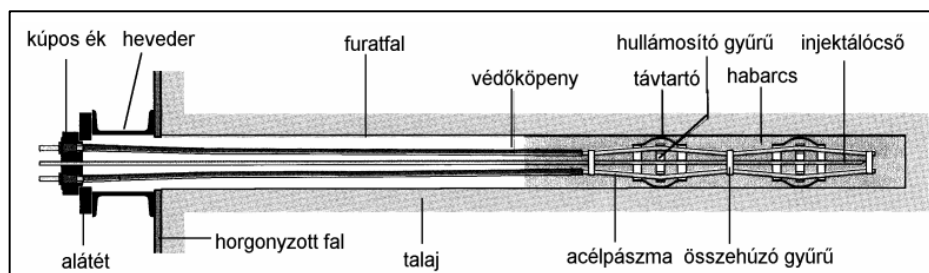
Az építési idő csökkentése gyakran megköveteli, hogy az épületeknél a felépítményi és alépítményi szerkezeteket párhuzamosan, egy időben kivitelezzék. Ilyen helyzetekben hatékony megoldás lehet, ha a földmegtámasztó szerkezeteket a tervezett építmény alépítményének végleges földmijeivel támasztják meg. Hasonló módszer alkalmazható mélyépítési létesítmények, például metróállomások vagy aluljárók építésekor, amikor a cél a környezet minimális zavarása és a felszín gyors helyreállítása, azáltal, hogy az építési munkák az elkészült zárófödém alatt zajlanak. [3]



15. kép Milánói módszer. Forrás: [21]

2.2.3. Talajhorgonyok

A horgony olyan szerkezet, amely a megtámasztott elemekről érkező húzóerőt képes a teherhordó közegre továbbítani. A leggyakoribb típusok a merevrudas vagy pászmás horgonyok, amelyek a rögzítési hosszuk mentén, a habarcs segítségével adják át a húzóerőt a környező talajnak. Magyarországon a fűrt, injektált talajhorgonyokat szinte mindig ideiglenes használatra, legfeljebb 2 éves élettartamra készítik. Léteznek azonban tartós, azaz 2 évnél hosszabb élettartamú horgonyok is, amelyek tervezése szigorúbb korrózióvédelmi követelményekkel és a fenntartás alatti erőmérés vagy újrafeszítés lehetőségével különbözik az ideiglenes változatoktól. Az állandó horgonyokat leginkább partfalak megtámasztására, hegyvidéki rézsűk biztosítására és hídfők stabilizálására használják, de hazánkban a közeljövőben nem várható, hogy széleskörűen alkalmazzák őket. [3]



16. kép Ideiglenes, pászmás, fűrt, injektált, feszített horgony. Forrás: [1]

Az injektált horgony három fő részből áll: a horgonyfej, a horgonyszár (húzott elem) és a horgonytest. Ezek együttesen biztosítják a szerkezet megtámasztását, valamint a teherátadást a talajnak. [5]

Horgonyfej: A horgonyfej felelős a húzott elem feszítési és rögzítési kapcsolatának kialakításáért. A feszítőerő átadása történhet közvetlenül vagy közbeiktatott szerkezeteken keresztül, mint például acélgerendán, vasbeton mellgerendán vagy talplemezen. A horgonyszár rögzítése a feszített elem típusától függően csavarral vagy kónuszos ékkel történik. A horgonyfej szerkezeti elemeinek méretezése a szokásos eljárások alapján történik.

Horgonyszár (húzott elem): A horgonyszár összeköti a horgonyfejet a horgonytesttel, biztosítva ezzel a teherátadást. A terhelést a legmélyebben elhelyezkedő injektált

horgonytest szakaszán kell átadni a talajnak. A horgonyszár környezetében gondoskodni kell arról, hogy ne történjen teherátadás a talaj és a horgony között a feszítés előtt, amit hüvely-csővel vagy zsírozott fólia tasakkal lehet elérni. A feszítés után a húzott elem és a hüvelycső közötti tér korrózióvédelemmel ellátott cementtel vagy műanyag habarccsal van kitöltve.

Horgonytest: A horgonytest biztosítja a horgonyerő talajnak való átadását. A talaj és a horgonytest közötti kapcsolatot két alapvető talajtípus szerint kell vizsgálni: injektálható, nem kötött talajok esetén, illetve nem vagy nehezen injektálható talajoknál. A horgonytest kihúzódását a talajból a betonfelület és a talaj közötti súrlódás akadályozza meg.

Ez a szerkezeti felosztás és működési elv biztosítja a horgony stabilitását és hatékonyságát a földmegtámasztó szerkezetek esetében. [5]



17. kép 5 sorban kihorgonyozott hézagos cölöpfal – Budapest, Budai Vár –Várgarázs.
Forrás: [22]

A horgonyok beépítéséhez szükséges furatot a talajviszonyoknak megfelelő fúrási technikával kell kialakítani és elkészíteni, amely lehet ütő, ütve-forgató vagy forgató rendszerű. A fúrás vízzel, levegővel vagy szárazon végzik, és alkalmazása laza, szemcsés vagy kötött sziklatalajokban történik. A horgonyzási rendszer kétféle lehet:

- Elveszett fúrókoronás: Ilyenkor a fúrókorona a furat végén marad, és ahhoz kapcsolják a betolt húzott elemet. A fúró rudazat szakaszos visszahúzása mellett injektálják a horgonyt. Létezik olyan speciális módszer, ahol a fúrószár bent marad, és ez képezi a húzott elemet.
- Visszanyert fúrókoronás: A húzott elem fúrócsőbe történő bevezetése előtt surlódó testet alkalmaznak a szükséges súrlódás biztosítására. A fúrócső visszahúzása közben történik az injektálás.

Injektálás: A horgony húzott elemének elkészítése után következik az injektálás, amely alapvető a sikeres horgonyzásban. A talaj szerkezetének vizsgálata, az injektálhatóság és az injektáló anyag összetételének pontos meghatározása elengedhetetlen. Az anyagnak át kell hatolnia a talaj pórusaiba és a kőzetek hézagaiba, hogy megfelelő kötést biztosítson a horgony és a talaj között. [5]

2.3. Munkatérhatárolás kőzetben

Mélyépítési munkák során kihívásokat jelentenek az olyan munkatérhatárolások, amik kőzetes környezetben kerülnek kivitelezésre. Városi területeken rendkívül magas biztonsági tényezőkkel készülnek, gyakran túlzott támasztórendszerekkel, míg a bányászatban néha olyan lejtőszögeket alkalmaznak a gazdasági költséghatékonyság miatt, amelyek az instabilitás kockázatát is magukban hordozzák. [6]

A kivágott kőzet hajlása lehet függőleges vagy enyhén lejtő, a fal körülményeitől és a támasztószervezetek állapotától függően, amelyek biztosítják a kivágás stabilitását. Ez gyakran attól függ, hogy a meghibásodás esetén felmerülő költségek hogyan viszonyulnak a megtámasztási munkálatok költségeihez. Nyilvánvaló, hogy városi környezetben a potenciális károk miatti kártérítési követelések költségei messze meghaladják a stabilitás biztosításának költségeit. Ezért az ilyen környezetekben a geometriai követelmények betartása, és a megfelelő megerősítő rendszerek alkalmazása

szükséges (kőzetcsavarok, horgonyok, támszerkezetek), szemben a kevésbé konzervatív, minimális támasztást igénylő tervezési megoldásokkal. Ennélfogva a tervezés feltételei gyakran a gyakorlati megvalósíthatóság határán mozognak, és rendkívül biztonságos támrendszereket követelnek meg, amelyek szigorúan megfelelnek az erre vonatkozó szabványok követelményeinek. [6]

A kőzetekben létesített munkatérhatárolások tervezése a megfelelő geometria és/vagy szükséges támasztórendszerek kiválasztásán múlik. Ennek az alapelvei a következők:

1. Tervezési elv: A tervezési célok és funkcionális követelmények egyértelműsége,
2. Tervezési elv: A geológiai körülmények bizonytalanságának minimalizálása,
3. Tervezési elv: Az egyszerűség a tervezési elemekben,
4. Tervezési elv: Optimalizálás,
5. Tervezési elv: Kivitelezhetőség.

A tervezési alapelvek alapján, valamint a geotechnikai vizsgálatok és a kőzettömeg osztályozásának eredményei nyomán meghatározhatók a kőzet szilárdsági paraméterei és a deformációs jellemzők, így kifejleszthető ezekből egy geotechnikai modell a stabilitási elemzések elvégzéséhez. [6]

Mélyépítési feladatok közben gyakran alkalmaznak interaktív tervezési struktúrát. Az interaktív tervezés lényege, hogy a kivitelezési munkák során folyamatosan figyelik a kőzettömeg viselkedését, és az alapján módosítják a terveket, ha szükséges. Az interaktív tervezés módszereit Terzaghi és Peck, valamint más szakértők dolgozták ki. A munkálatok folyamán rendszerint nyomon követik a geológiai adatokat és a kőzet osztályozását. A monitoring rendszer része a deformációk geodéziai vagy műszerekkel történő mérése, amelyek alapján visszamenőleges elemzéssel meghatározhatók a kőzettömeg valós deformációs moduljai. Ezek az adatok szükségesek a támasztórendszer optimalizálásához, illetve a bevágás stabilitásának pontosabb meghatározásához. [6]

3. HAZAI ÉS NEMZETKÖZI PÉLDÁK BEMUTATÁSA

Az irodalomkutatás során áttekintett munkatérhatárolási megoldások közül a hézagos cölöpfalas szerkezet tűnt a legalkalmasabbnak a vizsgált projekt követelményeihez. A tervezés megkezdése előtt az irodalomkutatás részeként ebben a fejezetben bemutatom külföldi és hazai tanulmányokon, példákon keresztül, hogy közzétartalmú területeken alkalmazott cölöpfalas munkatérhatárolások számításai és modellezései milyen módon valósultak meg.

3.1. Törökország, Gaziantep, Antepia projekt

A tanulmány egy hatalmas lakóépület-projekt részeként készült mélyépítési munkát mutat be a törökországi Gaziantep tartományban, az Antepia projekt keretében. Ez a projekt két szakaszban zajlik, ahol a két szakasz között egy megtámasztott cölöptámfal kerül kivitelezésre. A támfal 270,8 méter hosszú, és kétféle cölöp hosszt alkalmaznak: az első 135,7 méteren 17 méter hosszú cölöpök, míg a további szakaszon 19 méteres cölöpök kerülnek telepítésre. [7]



18. kép Antepia projekt látványterve. Forrás: [23]

A geotechnikai jellemzők meghatározása érdekében terepi és laboratóriumi vizsgálatokat végeztek. A helyszínen 27 furatot mélyítettek, és különféle terepi tesztek, mint például nyomásmérő és áteresztőképességi tesztek végeztek. A laboratóriumi vizsgálatok között megtalálható a közetminőségi index (RQD), egytengelyű nyomószilárdság, és a pontterhelési tesztek. A mérések szerint a talaj felső 0,05-0,3 méteres rétege mezőgazdasági föld, míg alatta 2,70-10,90 méter vastagságban módosult mészkő található, amely helyenként kavicsos és oxidált. [7]

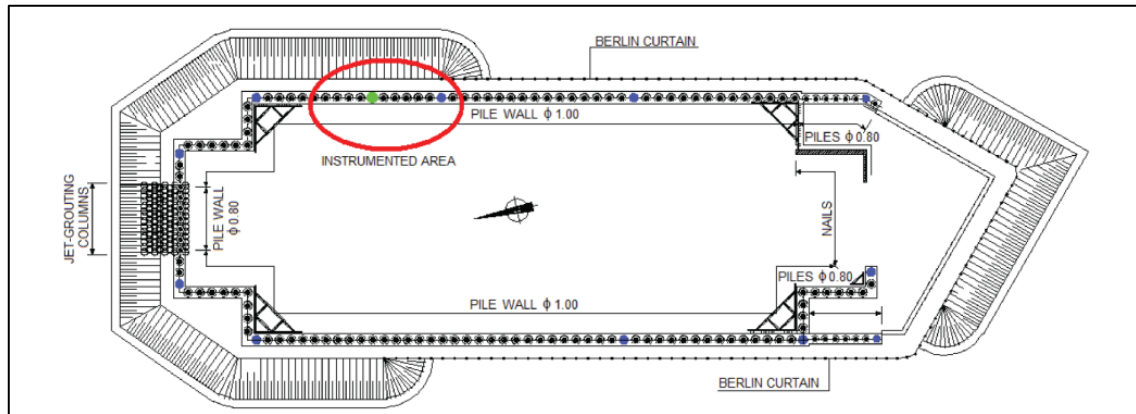
A jelen projektben alkalmazott hézagos cölöpfal 270 méter hosszú, és 285 db, 80 cm átmérőjű cölöpöt tartalmaz, amelyek tengelytávolsága 95 cm. A cölöpfal szerepe az, hogy megtartsa a talajt az építkezés során, megakadályozva a talaj beomlását a mélyítési folyamat közben. A projekt két eltérő szakaszra van osztva. Az első metszetben a korábban már megépített megtámasztott fal található, míg a másik metszeten egy víztározót is figyelembe kell venni. PLAXIS szoftver segítségével végzett véges elemes analízis során a cölöpfal deformációját vizsgálták különböző talajmodellekkel (Hardening Soil és Mohr-Coulomb), figyelembe véve a talaj szilárdsági tulajdonságait és a földnyomás eloszlását. A projektben előfeszített horgonyokat is alkalmaznak a cölöpfal megtámasztására. Minden horgony 20 méter hosszú, amelyből 10 méter a szabad hossz, és 10 méter a befogott szakasz. A horgonyokat 400 kN előfeszítéssel rögzítik, ami biztosítja a cölöpfal stabilitását az építkezés alatt. Az előfeszítés növeli a fal merevségét, csökkenti a fal elmozdulását, és megakadályozza, hogy a fal túlságosan deformálódjon a talaj nyomása alatt. A horgonyokat több szinten telepítik, attól függően, hogy milyen mélyen történik az ásás. [7]

A szimuláció eredményei alapján a cölöpfal maximális oldalirányú elmozdulása a két metszetben 1,2 mm és 2,3 mm, ami megfelel a hasonló esetekben tapasztalt elmozdulásoknak. [7]

3.2. Portugália, Porto, Aliados metróállomás

Az Aliados metróállomás Porto belvárosának Aliados nevű főterén helyezkedik el. A tanulmány egy mély állomásépítés során alkalmazott megtámasztó fal viselkedésének modellezését mutatja be. A központi elhelyezkedés miatt az építkezést nagy mértékben befolyásolták a szomszédos épületek és a forgalmas városi környezet. A helyszín

geológiai viszonyai rendkívül összetettek, mivel a terület alatt gránitkőzet és mállott talajrétegek találhatók. A talajrétegeket a mállási fok szerint osztályozták. Felső rétegben



19. kép Cölöpfalas megtámasztási rendszer és a vizsgált zóna. Forrás: [8]

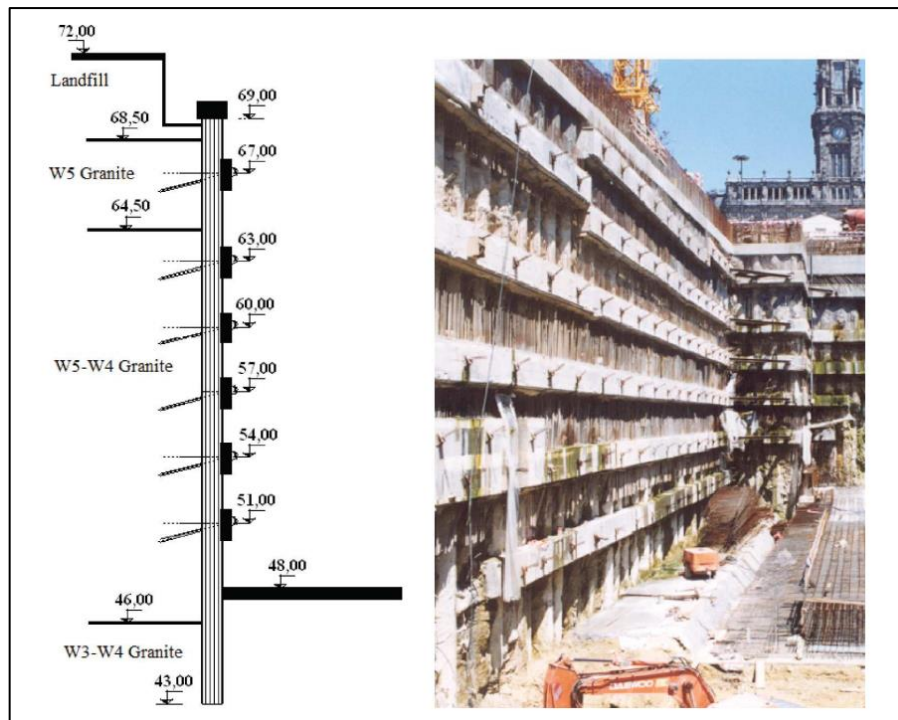
nagyrészt agyagból álló feltöltés, mélyebb rétegekben mállott gránit és kevésbé mállott, erősebb gránitrétegeket találtak. [8]

A megtámasztási rendszer több szinten horgonyzott beton cölöpfalból állt. A cölöpök 80 centi és 1 méter átmérőjűek voltak, és 1,36 méter távolságra helyezték el őket egymástól. Az ásatás mélysége mintegy 24 méter volt, és 6 szint horgonyt alkalmaztak a megtámasztáshoz. A horgonyokat függőleges elrendezésben helyezték el, körülbelül 2,8 méteres távolságra egymástól. A horgonyok előfeszített erői 600 és 700 kN között mozogtak. A cölöpök közötti terheléseket vasbeton gerendákra vezették át, amelyeket előfeszítettek. A horgonyzás mellett ferde támasztók is alkalmazásra kerültek az épület sarkainál. [8]

A modellezés során különböző talajparaméterek meghatározására került sor laboratóriumi vizsgálatok alapján, különösen a mállott gránit talajra vonatkozóan, mivel ez nagyban befolyásolta a támfal viselkedését és a szükséges geotechnikai paraméterek pontos meghatározását. Mohr-Coulomb és „Hardening-Soil” modelleket használtak, továbbá a modell finomhangolása során figyelembe vették a környezeti sajátosságokat, például a vízmozgást és a talajrétegek változékonyságát. [8]

A visszaelemzések során a cölöpfal viselkedését modellezték, figyelembe véve az ásatás többfázisú folyamatait és a horgonyzási rendszer beavatkozásait. A modellezés során a támfal horizontális elmozdulásai és az ásatás közben mért deformációk jól korreláltak a

szimulált adatokkal. Az egyik legnagyobb eltérés a vízmozgásokkal kapcsolatos, mivel a valós vízszint csökkenése nagyobb mértékben befolyásolta a vertikális elmozdulásokat, mint ahogy azt a modell kezdetben jelezte. A támfal horizontális elmozdulásai körülbelül 2-3 mm-es pontossággal megegyeztek a helyszínen mért adatokkal. Az elmozdulások a fal tetején és alján különböztek, a legnagyobb elmozdulás a fal alsó részén jelentkezett. A felszínen mért vertikális elmozdulások a valóságban kisebbek voltak, mint amit a modell előre jelzett. A modell által előre jelzett értékek némileg magasabbak voltak a valóságnál, különösen az ásatás szélétől távolabb eső részeken. A horgonyok terhelését és elmozdulásait is figyelték. A mért horgonyerők és a szimuláció között kisebb eltérések voltak, különösen a felső szinteken, ahol a horgonyokra nehezedő terhelés nagyobb volt a szimulált értékeknél. Az alsóbb horgonyoknál az erők jól illeszkedtek a tervezett adatokhoz. A vizsgálatok során a vízszint és a talajvíz áramlásának pontosabb modellezése kulcsfontosságú volt a felszíni süllyedések mértékének meghatározásában. Azt állapították meg, hogy a talaj permeabilitásának csökkentésével a vízszint mozgása jobban összhangba került a valós mért értékekkel. Ez az eredményssorozat jelentős segítséget nyújtott/ nyújt a hasonló geotechnikai körülmények között történő mélyépítési projektek tervezésében és kivitelezésében. [8]

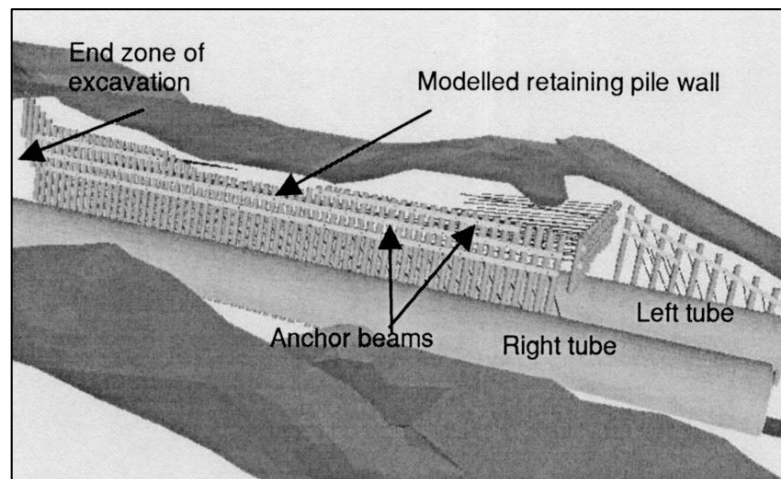


20. kép A vizsgált szakasz vázlatos metszete és egy fénykép az állomás építése közbeni állapotáról. Forrás: [8]

3.3. Szlovénia, Trojane alagút

A példa egy horgonyzott cölöptámfal időfüggő visszaelemzését mutatja be, amelyet a szlovéniai Trojane alagút kivitelezése során alkalmaztak. A kutatás célja egy olyan geotechnikai modell kialakítása volt, amely az építési szakaszok minden részletét figyelembe véve, a lehető legnagyobb pontossággal reprezentálja a talaj-cölöp kölcsönhatást. A modellt végeselemes módszerrel végezték el. A modellezés eredményei később más, hasonló talajkörnyezetben kialakított szerkezetek tervezésénél is hasznosíthatók. [9]

Az építkezés helyszínén jelentős geológiai összetettség volt megfigyelhető. A terület a triász korú dolomit rétegekből és az ezeket takaró karbon korú rétegekből áll, amelyeket homokkő, aleurit és agyagkő alkot. A tektonikai mozgások miatt ezek a rétegek jelentős mértékben aprózódtak és deformálódtak, ami összetett és változékony talajjellemzőket eredményezett. A támfal mögött egy helyenként akár 10 méter vastag talaj- és törmelékborítás található, amely a mélységgel stabilabbá váló réteget borít. A cölöpalapokat stabilabb, érintetlen homokkő és aleurit rétegekbe helyezték, amelyek kedvező mechanikai tulajdonságokkal bírnak a fal stabilitásának szempontjából. [9]



21. kép A Trojane alagút nyugati végén lévő "cut and cover" szakasz izometrikus nézete. Forrás: [9]

A támfal több szinten horgonyzott, fűrt hézagos cölöpsorból áll, amelynek célja a Trojane alagút kivágott szakaszának védelme volt. A cölöpök átmérője 1,0 méter volt, és 1,5 méteres közönként helyezték el őket 95 méter hosszon. A cölöpök hossza 25 és 30 méter között változott, és háromméteres távolságban elhelyezett horgonyokkal rögzítették őket,

amelyek 450 kN erővel lettek előfeszítve. A cölöpöket egy fejgerenda kötötte össze, valamint további két mellgerenda biztosította a stabilitást a horgonyzásnál. A fal mögötti víztelenítést vízelvezető csövek beépítésével oldották meg, bár ezek időnként heves esőzések és téli fagyok miatt kevésbé voltak hatékonyak. [9]

Az analízis során végeselemes modellezést alkalmaztak, amely két talajmodellt használt: a "keményedő talajmodellt" (HS) és a "lágy talaj kúszási modellt" (SSC). Az előbbi a talaj mechanikai jellemzőit, míg az utóbbi a kúszási jelenséget szimulálta. A HS modell paraméterei a laboratóriumi mérések alsó határértékeire lettek beállítva, míg az SSC modell sikeresen szimulálta a talaj kúszását, amelyet a törmelékes talaj és a zúzott agyagkő rétegeiben figyeltek meg. A modellezés során figyelembe vették a vízszint időszakos emelkedését is, amely hatással volt a támfal deformációira. Összességében a vizsgálat eredményei jó egyezést mutattak a mért deformációkkal, ami igazolta a kiválasztott talajparaméterek és a geotechnikai modell megbízhatóságát. A modellezés során beállított paraméterek a projekt többi szakaszában is alkalmazhatók voltak, hasonló deformációkat mutatva, ami azt jelzi, hogy a kiválasztott geotechnikai modell más területeken is hatékonyan alkalmazható. [9]

3.4. Magyarország, Budapest, Várbazár mélygarázs

A következő tanulmány a Budapesti Várbazár mögötti mélygarázs építéséhez kapcsolódó mérnökgeológiai és kőzetmechanikai vizsgálatokat mutatja be. A kutatás célja a támfalak és a munkatérhatároló szerkezetek stabilitásának elemzése volt, figyelembe véve a terület geológiai adottságait és a különböző kőzettípusok fizikai paramétereit. A vizsgálatok laboratóriumi tesztek és numerikus modellezések segítségével történtek. A cölöpfalas támfalak stabilitását, elmozdulását és optimalizálását is elemezték, különös tekintettel a vízzel telített állapotokra és a földrengésre való érzékenységre. [10]

A Várhegy a pleisztocén időszakban keletkezett, amikor melegvizes forrásokból édesvízi mészkő (travertínó) csapódott ki, rétegeket alkotva a felszínen. Ez a kemény mészkőréteg „sapka” megvédte az alatta található puhább kőzetrétegeket, mint az agyagos és márgás képződmények, valamint a mélyebben fekvő kiscelli agyagot és budai márgát az eróziótól. A Várhegy szerkezeti mozgások során emelkedett ki, amelyek három fő emelkedési fázisban zajlottak: az első két emelkedési fázis a középső pleisztocénre tehető,

míg a harmadik fázis a középső pleisztocéntól napjainkig is tart. A szerkezeti mozgások következtében a Várhegyen kelet-nyugati irányú vetővonal alakult ki, amely mentén a budai márga és a kiscelli agyag érintkezik. [10]

A projekt előkészítéseként a talaj- és kőzetvizsgálatok a Budai Várhegy délkeleti oldalán, a Várfal és a Várbazár közötti területen folytak. A helyszín a Dunához közel, enyhé lejtésű, füves-fás, teraszosított környezetben található, aszfaltozott járdákkal szelve. [10]

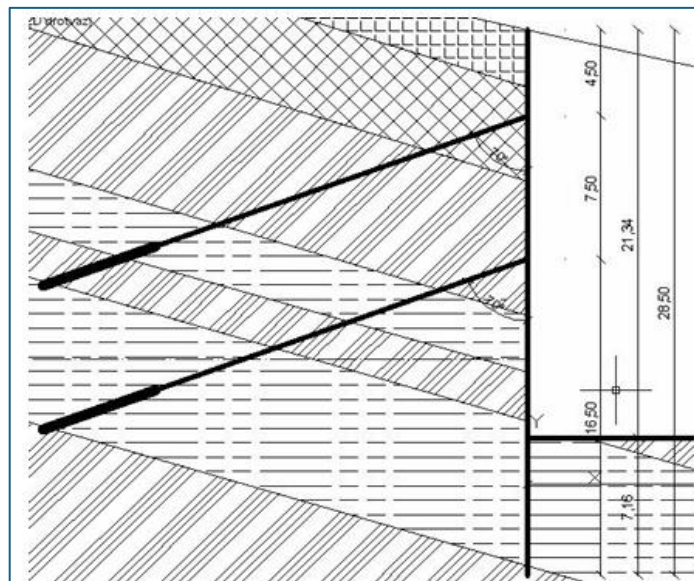


22. kép A Várkert Bazár külső képe. Forrás: [24]

A feltárások során megállapították, hogy a felszín közelében mesterséges feltöltés található, amely erősen változó vastagságú (0,4–5,7 méter), és épület- és kőzettörmelékből, agyagból és iszapból áll. Ez alatt egy erodált, mállott zóna helyezkedik el, majd a budai márga rétegei következnek, amelyek különböző keménységű és cementáltságú mészmárga és agyagmárga rétegekre osztható. A rétegződés részletezése alapján a Várhegy alaprétegei törésekkel és vetőkkel szabdaltak. A helyszíni vizsgálatok során fúrásokat végeztek, amelyekből mintákat gyűjtöttek a kőzettani és talajmechanikai elemzésekhez. A fúrások lehetővé tették a kőzetek rétegződésének és fizikai paramétereinek (pl. tömörség, nyílt és összes porozitás) megállapítását. Emellett kutatógödröket is létesítettek az építési területen, és többféle talajvizsgálatot is elvégeztek a felső rétegek jellemzésére. [10]

A mélygarázs területén elvégzett laboratóriumi vizsgálatok célja a kőzetminták részletes fizikai és mechanikai tulajdonságainak meghatározása volt. A főbb vizsgálatok:

- Sűrűség, rugalmassági modulus, Poisson-tényező, valamint egyirányú nyomószilárdság és húzószilárdság mérések légszáraz és vízzel telített állapotban.
- Pontszilárdsági és közvetett húzószilárdsági vizsgálatok különböző kőzetfajtákra, hogy az egyes rétegek mechanikai stabilitását meghatározzák.



23. kép A tervezett megtámasztó szerkezet. Forrás: [10]

A modell alapját két fúrásból származó adatok képezték. A felsőbb rétegek (pl. feltöltés és mállott agyagos zóna) esetében Mohr-Coulomb anyagmodellt alkalmaztak, míg az alsóbb rétegeknél Hoek-Brown anyagmodellre tértek át a pontosabb anyagjellemzés érdekében. A cölöpfalat eredetileg egy hézagos kialakítással tervezték, amelyben a cölöpök átmérője 1 méter, a tengelytávolságuk pedig 1,4 méter volt. Az anyagminőség szempontjából a cölöpök C30/37 betonból készültek, míg a betonacél B500B minőségű. Az építkezés ideje alatt a cölöpfalat két sor ideiglenes horgonyzással is megtámasztották, amelyek egyenként 20 méter hosszú horgonyszárból és 6 méter hosszú kiinjektált horgonyhagymából álltak, 20 fokos dőléssel. [10]

A modellvizsgálatok eredményei alapján kijelenthető, hogy a szerkezet állékonysága a rendelkezésre álló adatok szerint biztosított; a biztonsági tényező mind alapállapotban (5,01), mind elárasztott állapotban (4,4) jelentősen meghaladja az előírt minimális értéket

(1,35). A számítógépes modellezés arra is rávilágított, hogy az építési folyamat nem jelent kockázatot a Budai Vár falára nézve, mivel a csúszólapok minden esetben a várfal előtt metszik a felszínt. A várfal süllyedése várhatóan nem haladja meg a 2 mm-t. A felhasznált adatok és a modellezés eredményei alapján a szerkezeti méretek optimalizálhatók. [10]

4. ALAPADATOK

4.1. Kiindulási adatok

A Mathias Corvinus Collegium (MCC) épületkomplexum Budapest, I. kerületében, a Somlói úton létesül. Az ingatlan beépítése mintegy 5.400 m² területen valósul meg a teljes, körülbelül 11.000 m²-es telekből. A terület jelenleg beépített, a keleti oldalon a korábbi Balassi Intézet épülete, a nyugati oldalon pedig a kollégiumépület található. A projekt keretében mindkét épület bontásra kerül, és helyükre egyetlen új épület épül. [13]



24. kép Az MCC két épülete bontás előtt. Forrás: [11]

Az új épületegyüttes központi eleme a magasabb terepszinten elhelyezkedő „Palotaépület” lesz, amely 7-8 szintes kialakítást kap (pince, földszint, 4-5 emelet és tetőtér). A pincében sportcsarnok, parkolók, gépészeti helyiségek és raktárak kapnak helyet, míg a felsőbb szinteken tantermek, irodák, étterem, közösségi terek és kollégiumi szobák lesznek. A felszín feletti építmény csak a terület keleti oldalán épül meg, a nyugati részt parkosítják. Itt kialakításra kerül a Palotaudvar, díszkert, park, kápolna, díszkút és egy napozó gyep. A terület szintkülönbségeinek áthidalására támfalakat és lépcsőket építenek a nyugati oldalon. [12]



25. kép A tervezett épület helyszínrajza, piros vonallal jelölve a munkatérhatárolási feladatot. Forrás: [25]

4.2. Az építési hely története

A tervezési terület (Hrsz.: 5177/1) a Gellérthegy nyugati nyúlványán helyezkedik el, a Somlói út és az Alsóhegy utca által határolt, egykor Kocsis-rét néven ismert részen. Korábbi leírások alapján a területtől északra egy kőbánya működött, a Somlói út mentén pedig felszíni kőfejtést végeztek. Az északi területen lévő, több méter mély bányaudvar nyomai a régebbi talajvizsgálatok szelvényein is láthatók, de ez a rész kívül esik a vizsgált telken. Délen inkább felszíni fejtések és a súroló anyagként használt dolomit kitermelésének nyomai találhatók, ami a Somlói út mellett fellelhető barlang létrejöttéhez vezethetett. A telken és környezetében a felszíni fejtések gödrei sokáig ellenőrizetlenül, vegyes anyagokkal (időnként hulladékkal) feltöltve maradtak. A beépítés az 1970-es évek elején kezdődött, amikor a Munkásörség számára először a nyugati, majd a keleti oldalon emeltek egy-egy épületet. Ezek 2002 és 2016 között a Balassi Intézet és a Mathias

Corvinus Collegium otthonául szolgáltak, majd később mindkét épület az MCC céljait szolgálta. Az eredeti terepviszonyokhoz igazodva több támfalat, feltöltést és lépcsőt alakítottak ki, az Alsóhegy utca mentén pedig egy hosszabb, íves, vasbeton támfalat építettek. [13]

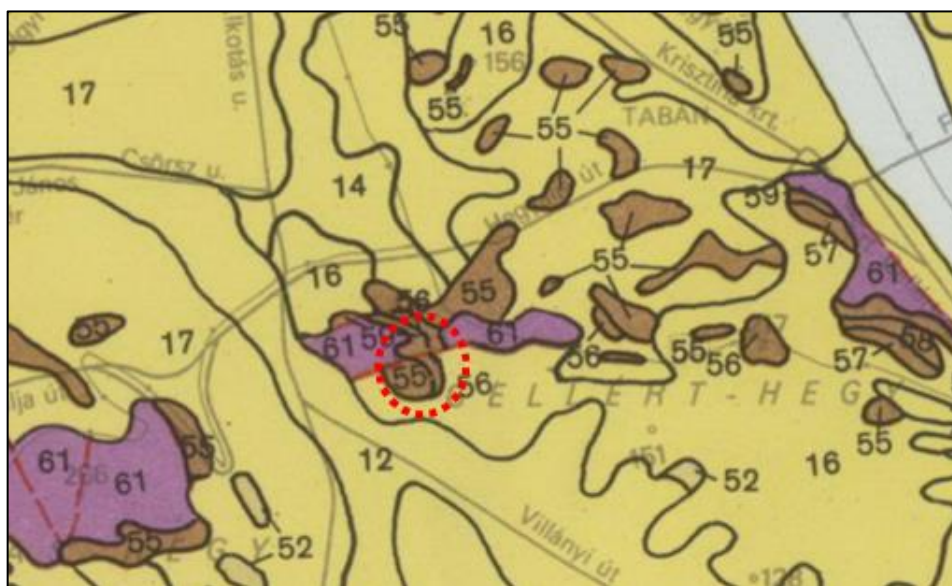


26. kép A terület régi légifelvétele 1969. áprilisából. Forrás: [26]

4.3. Földtani viszonyok

A tervezett épületkomplexum a Gellért-hegy nyugati lejtőin fekszik, amely a Budai-hegység részét képezi. A terület földtani felépítése változatos, a felső-triász idősaktól egészen a miocénig különböző kőzetek és laza üledékek találhatók itt, amelyeket az utóbbi években pontosabban osztályoztak. A kőzetek azonosításához sztratigráfiai besorolást alkalmaznak. A területen a legidősebb, felszínen is megjelenő képződmény a karsztos dolomit (Földolomit Formáció), amelyre diszkordáns módon az eocén rétegek települnek. Az eocén rétegekben nincs jelentős üledékhiány, viszont ezekre diszkordánsan helyezkednek el a negyedidőszaki és holocén üledékek, például az édesvízi mészkő. A földtani térképek szerint a környéken triász és negyedidőszaki kőzetek találhatók. A fedett földtani térképen látszik egy nagyobb eocén márga kibukkanás, melyet nyugati irányban triász rétegek követnek, amelyek tektonikus érintkezésben állnak vele. A fedetlen térképen átkovácsodott budai márga is megjelenik,

és a vizsgált területtől keletre feltűnik a kiscelli agyag. A negyedidőszaki képződményeket kavicsos homok és közettörmelék képviseli, melyek az óholocén és felső pleisztocén korból származnak. Összefoglalva, a területen a triász dolomit felett eocén márga (budai márga) és annak kovásodott változatai találhatók, fedő kőzetként pedig negyedidőszaki üledékek jelennek meg, kavicsos, homokos és agyagos összetevőkkel. A földtani térképek is megerősítik, hogy a terület jelentős törésvonalakkal tagolt, vagyis a Gellért-hegy nyugati része erősen tektonizált. [12]



27. kép A Gellért-hegy térségének földtani viszonyai fedett földtani térképen (a vizsgált terület helyét szaggatott vörös ellipszis jelzi). Jelkulcs 12: közettörmelékes kavicsos agyag (negyedidőszak - óholocén); 14: kőzetliszt, agyag, homok (negyedidőszak - óholocén); 16: közettörmelékes kavicsos homok (negyedidőszak - óholocén/felső pleisztocén); 52: Kiscelli Agyag Formáció (oligocén); 55: Budai Márga Formáció (eocén), 56: törések mentén átkovásodott Budai Márga (eocén); 59: homokos mészkő, konglomerátum, breccsa (eocén) 61: Földolomit Formáció (triász). Forrás: [27]

4.4. Hidrogeológiai viszonyok

A terület bejárása alapján megállapítható, hogy a lejtős terület a Gellért-hegy nyugati lejtőjéhez tartozik. Itt a terepviszonyok nem követik a természetes domborzatot; mesterségesen kialakított tereplépcsők és kisebb szintkülönbségű területek vannak, amelyek főként nyugati irányba lejtősek. A feltárt kőzettestek – márga és dolomit – jellemzően erősen tagoltak és repedezettek. A márga különösen blokkokra töredezett, míg a dolomit sokféle törésképet mutat: a tömör, réteges szerkezetű változattól a repedezett, sőt teljesen porló formákig. Általánosságban a dolomit is tagolt, repedezett kőzettestnek

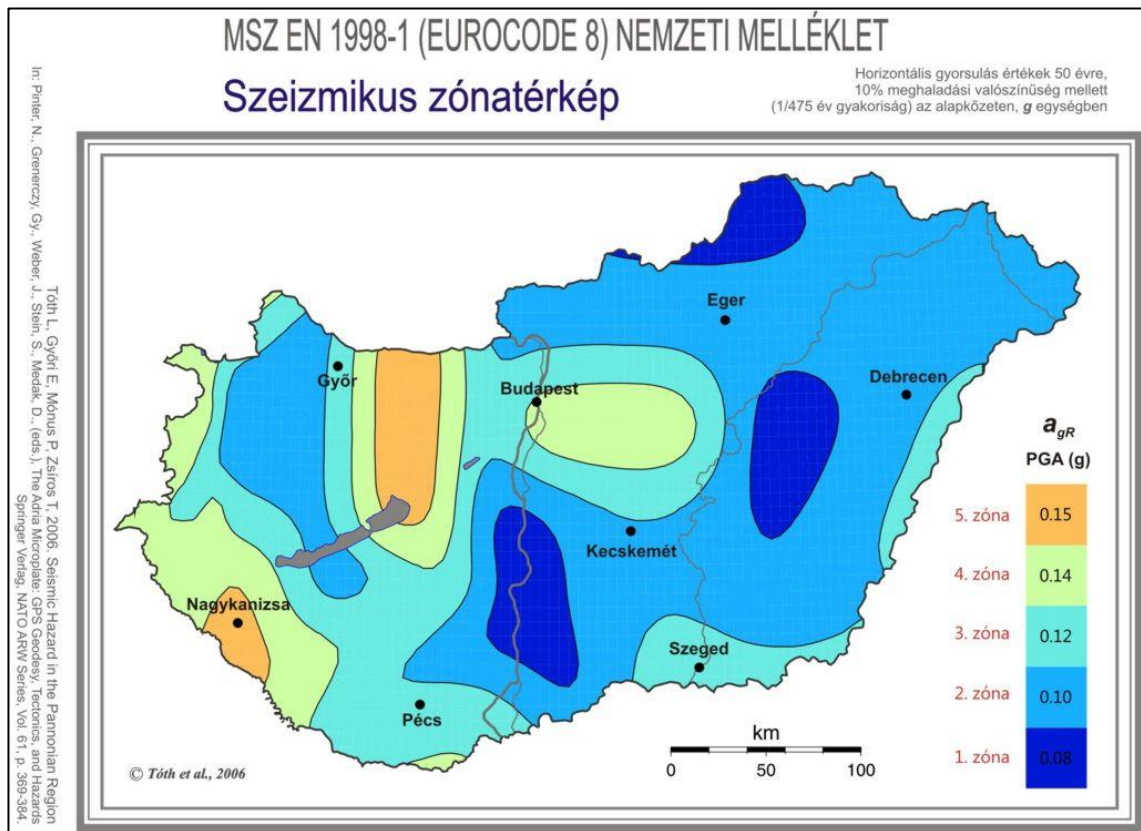
tekinthető. A földtani irodalom és a terület morfológiai adottságai alapján a tervezési terület vízhiányosnak tekinthető, és összefüggő talajvíz jelenlétére nem kell számítani. Ugyanakkor a magasabban fekvő részeken a felszíni csapadékvizek egy része – különösen a mesterséges feltöltés és a lejtőtörmelékes rétegekben – mélyebb szintek felé szivároghatva rétegvízként jelenhet meg. Érdeemes megjegyezni, hogy egy-egy fúrásban is jelentős eltérések mutatkoznak a repedésmintázatok és a tagoltság tekintetében, amelyek mentén számottevő vízbeszivárgás lehetséges. A korábbi termálforrások jelenleg a Duna szintjén találhatók, így termálvíz feltörésére ezen a területen nem kell számítani. A vizsgált terület komplex hidrogeológiai felépítésű, és mára már nagyrészt beépített karsztterület. Egyrészt a korábbi, már inaktív termálkarszt alakította ki, másrészt ma a felszínről beszivárgó hideg karsztvizek jellemzik. [13],[14]



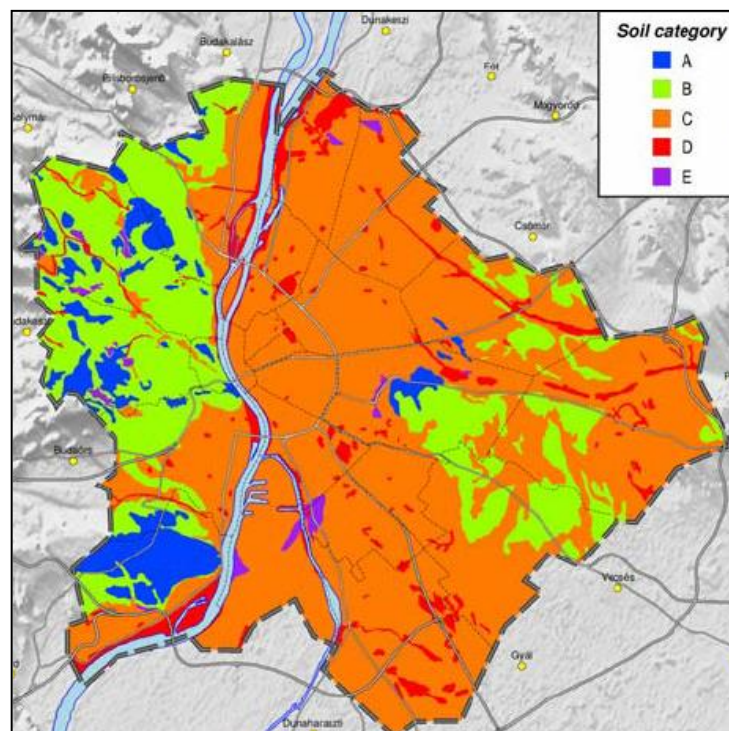
28. kép Forrásvízi mészkő kibukkanása az MCC- től pár méterre. Forrás: [14]

4.5. Szeizmitási adatok

Az érvényes magyarországi szeizmikus zónatérkép alapján a vizsgált terület a 4. zónába esik. Az MSZ EN 1998-1 (EUROCODE 8) szabvány szerint meghatározott földrengésből származó maximális vízszintes gyorsulás az alapkőzeten $a_{gR} = 0.14 \cdot g$ értékkel vehető figyelembe. A geofizikai mérések és a korábbi helyszíni tapasztalatok alapján a feltárt talajok az MSZ EN 1998-1 szabvány 3.1. táblázata szerint a „B” szeizmikus talajosztályba sorolhatók. [12]



29. kép Szeizmikus zónatérkép. Forrás: [28]



30. kép A talajok szeizmikus osztályozási térképe Budapesten. Forrás: [29]

4.6. Térszín alatti barlangok, üregek, vetők

A tervezési terület déli oldalán található egy barlang, amelyet korábban részletesen feltártak. Feltételezhetően pleisztocén korban kialakult vető mentén feláramló karsztvizek hozták létre. A barlangot korábban megerősítették, jelen projekt keretében pedig teljesen betömik. A tömedékelés a cölöpfalat nem érinti, attól legalább 30 méterre helyezkedik el. A területet több töréses zóna tagolja, köztük az F1/F2 fúrás közötti vető és az ÉÉNY-DDK irányú vetőrendszer, amely a barlang kialakulásában is szerepet játszott. A Somlói úttal párhuzamosan egy másik, valószínűleg K-NY irányú töréses zóna is megjelenhet. [12]

4.7. Geotechnikai kategória

A projekt az MMK pontozási útmutatója alapján a 3. geotechnikai kategóriába sorolandó. Ez a besorolás indokolt az inhomogén kőzetkörnyezet, valamint a feltételezett vetők és felszín alatti üregek jelenléte miatt. [12]

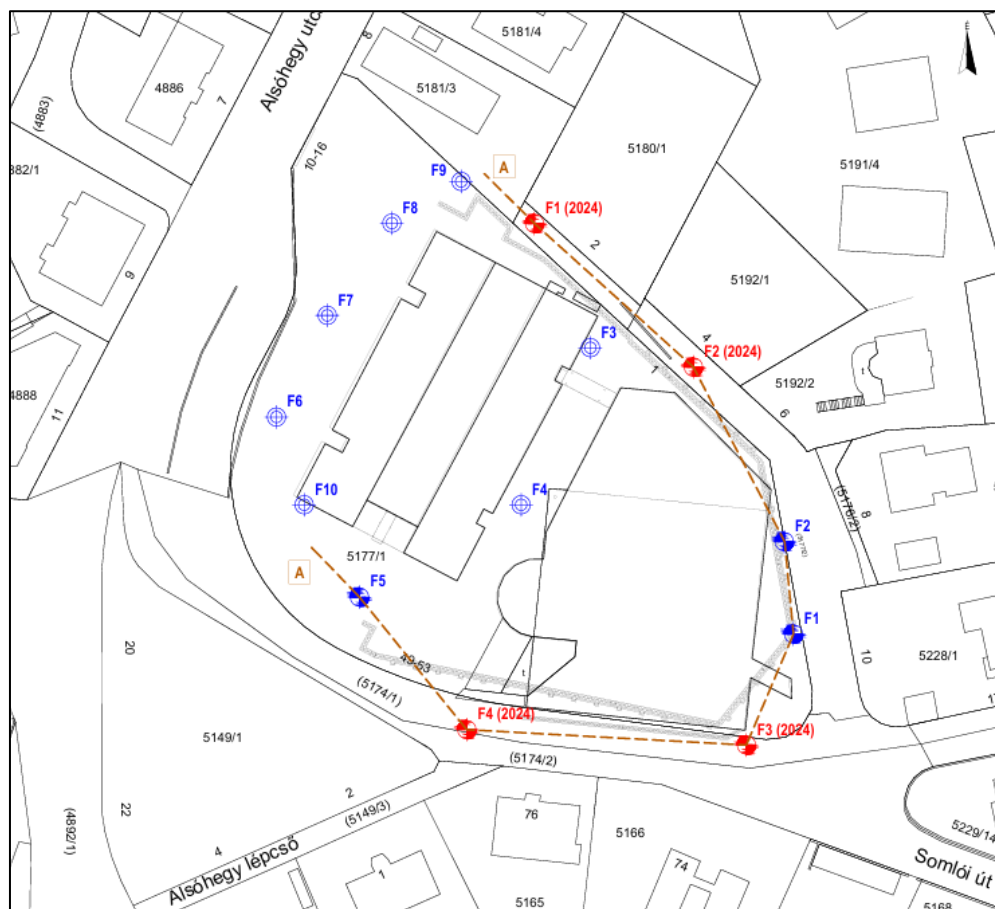
4.8. Talajfeltárás, talajvizsgálat, mintavétel

Az altalaj viszonyainak feltérképezése és a talaj fizikai tulajdonságainak meghatározása érdekében több szakaszban végeztek talajmechanikai és mérnökgeológiai feltárásokat. Az első elérhető eredmények a kollégium és az intézeti épületek tervezéséhez 1969-ben készültek, nyílt kutatóárkos feltárások rétegsorai és adatai formájában. Ezek a feltárások nem nyúltak mélyebbre, kizárólag a márga felszínének meghatározására szolgáltak. Az épületek alapozását síkalapozással végezték a márga felső rétegében. Az elérhető adatok szerint a feltárások mélysége nem haladta meg a 2-3 métert. [12]

A jelenlegi projekt részeként (engedélyezési terv szinten) 2021 végén összesen 10 darab gépi feltáró fúrást végeztek. Az elvégzett fúrások közül 5 meghaladta a 10 méteres mélységet, míg a többi, a korlátozott megközelíthetőség miatt, kézi eszközökkel készült, és csak 1,2–1,6 méterig tudták őket mélyíteni. A felszínhez közeli márgarétegben a kis átmérőjű kézi fúrások gyorsan elakadtak. Az 5 mélyebb fúrás közül 3 folyamatos magfúrással készült (ezek az F1, F2 és F5 jelűek). [12]

A kiviteli terv szintű talajvizsgálati és mérnökgeológiai jelentés kiegészítése céljából további 4 darab folyamatos magmintavételű kőzetfúrást végeztek 2024 február-

márciusában. Mivel a meglévő épületek bontása még nem történt meg, a kiegészítő fúrások az épületek kontúrvonalán kívül, a Somlói úton és a Szent Sebestyén közben készültek el, a cölöpfal nyomvonalán várható kőzetviszonyok pontosítása érdekében. Az F1 (2024) és F2 (2024) jelű fúrásokat a Szent Sebestyén köz északi részén helyezték el, a tervezett cölöpfal északi szakaszának tervezéséhez és a talaj- és kőzetviszonyok feltárása céljából. Ezen a szakaszon korábban készült egy 10 méteres spirálfúrás (F3 jelű), azonban abból nem lehetett olyan minőségű mintát nyerni, amely alapján a rétegek talaj- és kőzetfizikai jellemzői pontosan meghatározhatók lettek volna. A várható cölöphosszakat figyelembe véve ezen a szakaszon egy hosszabb, 15 méteres magfúrás készítése is indokoltnak bizonyult. Az F3 (2024) és F4 (2024) jelű új fúrásokat a tervezett cölöpfal déli oldalánál készítették el, mivel a Somlói úthoz közeli szakaszon korábban, az I. ütemben nem lehetett feltárást végezni. Az F3 (2024) jelű fúrás a meglévő intézeti épület keleti sarkához közel, míg az F4 (2024) jelű fúrás az épület délnyugati sarkához közel készült el. [12]



31. kép Geotechnikai feltárások helyszínrajza. Forrás: [30]

Feltárás jele	Feltárás típusa	EOVY	EOVX	Terepszint (mBf)	Feltárás mélysége (m)
F1	Geobor S magfúrás (Ø152 mm)	648968	238069	167,30	22,00
F2	Geobor S magfúrás (Ø152 mm)	648966	238089	166,00	24,00
F5	Geobor S magfúrás (Ø152 mm)	648874	238077	159,00	15,00
F3	Száraz spirálfúrás (Ø180 mm)	648924	238131	158,70	10,00
F4	Száraz spirálfúrás (Ø180 mm)	648909	238097	158,70	10,00
F1 (2024)	Geobor S magfúrás (Ø152 mm)	648912	238158	156,95	15,00
F2 (2024)	Geobor S magfúrás (Ø152 mm)	648933	238140	161,09	15,00
F3 (2024)	Geobor S magfúrás (Ø152 mm)	648958	238045	168,01	15,00
F4 (2024)	Geobor S magfúrás (Ø152 mm)	648897	238048	161,87	15,00

32. kép A készült feltárások adatai (korábbi fúrások fehér, új fúrások szürke háttérrel).
Forrás: [12]

4.8.1. Terepi vizsgálatok

A vizsgált fúrásokat két különböző időszakban végezték. Az F1, F2 és F5 jelű fúrások Wirth-B1-A típusú fúróberendezéssel készültek, Geobor S magcsöves technológiát alkalmazva, 152 mm-es furatátmérővel. Az F3 és F4 j. fúrások száraz, spirálfúrással készültek UGB-1-VSZU típusú fúrógéppel, 180 mm átmérővel. A 2024-ben elvégzett folyamatos magmintavételű fúrások MASSENZA MI2 típusú fúróberendezéssel történtek, szintén GEOBOR S magcsöves- fúróiszapos- öblítéses eljárással. A furatok átmérője szintén 152 mm volt. A fúrás kezdeti szakaszában, amely feltöltéses vagy laza törmelékes rétegeken haladt át, spirálfúrást használtak az előkészítéshez. Ezt követően iránycső került beépítésre, majd a fúrás polimer fúróiszapos, öblítéses technológiával folytatódott. A fúrás és mintavétel befejezése után a furatokat cement-bentonit péppel tömedékelték. [12], [13]



33. kép F1 jelű fúrás (Wirth-B1-A típusú fúróberendezéssel). Forrás:[13]

A régebbi és az újonnan elkészült furatokban lyukgeofizikai méréseket végeztek, amelyek célja a geológiai környezetre jellemző paraméterek meghatározása és a fúrások során feltárt rétegződés ellenőrzése volt. A vizsgálatok három vonal mentén 2D S-hullámterű, valamint egy $50\text{ m} \times 25\text{ m}$ nagyságú területen 3D P-hullámterű szeizmikus mérések formájában történtek. Ezek a mérések egyrészt a földrengésre való méretezéshez szükséges dinamikus talajparaméterek biztosítását szolgálták, másrészt lehetőséget nyújtottak a talajrétegek merevségi viszonyainak pontosabb értékelésére. A 3D P-hullám mérések kiemelt célja a barlanghoz kapcsolódó esetleges fellazult zónák és a felszínközeli repedezettségek azonosítása volt. [12], [13]

4.9. Elvégzett laboratóriumi vizsgálatok

A 2024-ben készült fúrásokból származó maganyagból összesen 45 próbatestet alakítottak ki. A próbatesteken egyirányú nyomószilárdsági és közvetett húzószilárdsági vizsgálatokat végeztek, valamint meghatározták az ultrahangterjedés sebességét (P-hullám) és a testsűrűséget. Az F4 (2024) jelű fúrás maganyagának hiányosságai miatt nem volt lehetőség megfelelő minőségű és méretű próbatestek elkészítésére.

A nyomószilárdsági vizsgálatok során a próbatestek tengelyirányú összenyomódását is mérték, amely alapján a minták rugalmassági modulusának értéke kiszámítható volt. [12]

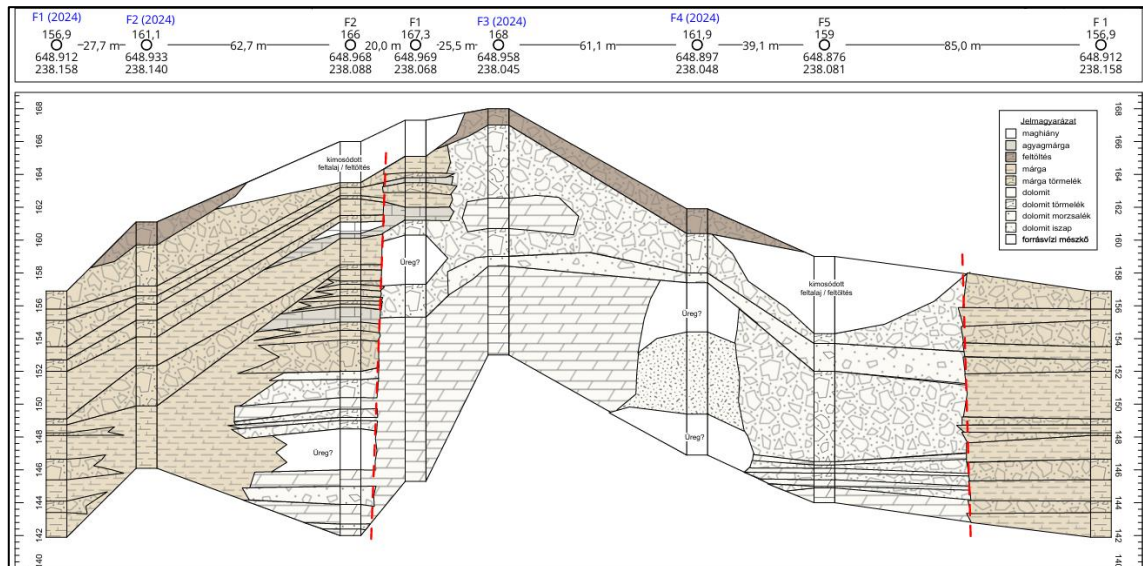
4.10. Feltárt kőzetek értékelése

A cölöpfal építésével érintett területen a felszínt változó vastagságú, legfeljebb 1,50 m vastag, vegyes anyagú, építési törmelékes, kavicsos, márgás feltöltés borítja. A feltöltés alatt a geológiai irodalomban jelzett márgás-dolomitos rétegződés figyelhető meg. A részletes feltárások alapján a márga és a dolomit különböző állapotú kőzettestjei találhatók meg a területen, amelyek egymáshoz képest kis távolságokon belül is jelentős eltéréseket mutatnak. A terület keleti oldalán egy vetőzóna húzódik, amelynek északi oldalán a márga vastagsága nagyobb, míg a déli oldalon vékonyabb. Az északi oldalon a dolomit mintegy 14,0 m-es mélységben jelenik meg, míg a déli oldalon a márga alatt, már körülbelül 6,0 m mélységtől dolomit található. A dolomitréteg északi oldalán mintegy 8,0 m-es „lezökkenés” figyelhető meg. [12]

A márga állapota változatos, helyenként ép, másutt repedezett vagy mállott, de összességében jó szilárdsági és alakváltozási tulajdonságokkal rendelkeznek, és mérnöki szempontból megfelelő teherbírásúnak tekinthető. A korábbi és jelenlegi vizsgálatok alapján a márga szilárdsági és alakváltozási tulajdonságai hasonlóak, jelentős különbségek nem mutatkoztak. A márga főként a cölöpfal északi szakasza mentén, valamint a keleti szakasz északi felében várható. A keleti szakasz középső részén egy vetőzóna választja el a márgás és dolomitos területeket. [12]

A dolomit is változatos megjelenésű; felső zónája erősen mállott és repedezett, míg mélyebb rétegei ép, szilárd kőzetként vannak jelen. A dolomit általában jó szilárdsági tulajdonságokkal bír, melyek a márgáénál kedvezőbbek. A dolomit kb. 10 m-es mélységtől jelenik meg ép állapotban, de a 2024-es fúrások szerint már 5,5 m-es mélységtől is jelen van. A dolomit a cölöpfal keleti szakaszának déli felén, valamint a déli szakasz mentén várható. A dolomit zónákban változó méretű üregek is előfordulhatnak, amelyeket dolomitiszap, dolomittörmelék, agyagos vagy iszapos málladék tölthet ki, de az üregek részleges kitöltöttsége sem zárható ki. A kőzetek

változatos állapotának fő okai a területen lezajlott tektonikai mozgások, a vetőzónák kialakulása, valamint a hévforrások és a mállási folyamatok hatásai. [12]



34. kép A vizsgált terület rétegszelvénye. Forrás: [31]

4.11. Karakterisztikus geotechnikai/mérnökgeológiai paraméterek

- Szürke építési törmelékes, kavicsos, márgás feltöltés (Mg), 0,00 - 1,50 m

Nedves térfogatsúly $\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$

Telített térfogatsúly $\gamma_{\text{sat}} = 19,5 \text{ kN/m}^3$

Belső súrlódási szög $\varphi = 28^\circ$

Kohézió $c = 5 \text{ kN/m}^2$

Összenyomódási modulus $E_{\text{oed}} = 8 \text{ MN/m}^2$

- Sárgásbarna márga

1. Mélységi zóna: 0,00 – 5,00 m

GSI 20

Térfogatsúly $\gamma = 24,2 \text{ kN/m}^3$

Egyirányú nyomószilárdság $\sigma_c = 33 \text{ MPa}$

Alakváltozási modulus $E_{\text{m}} = 280 \text{ MPa}$

Belső súrlódási szög $\varphi = 40^\circ$

Kohézió $c = 90 \text{ kN/m}^2$

2. Mélységi zóna: 5,00 – 11,00 m

GSI	50
Térfogatsúly	$\gamma = 24,2 \text{ kN/m}^3$
Egyirányú nyomószilárdság	$\sigma_c = 33 \text{ MPa}$
Alakváltozási modulus	$E_{rm} = 1900 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög	$\varphi = 50^\circ$
Kohézió	$c = 320 \text{ kN/m}^2$

3. Mélységi zóna: 11,00 – 15,00 m

GSI	40
Térfogatsúly	$\gamma = 24,2 \text{ kN/m}^3$
Egyirányú nyomószilárdság	$\sigma_c = 33 \text{ MPa}$
Alakváltozási modulus	$E_{rm} = 1000 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög	$\varphi = 50^\circ$
Kohézió	$c = 200 \text{ kN/m}^2$

– Sárgásfehér dolomit1. Mélységi zóna: 0,00 – 5,50 m

GSI	15
Térfogatsúly	$\gamma = 26,9 \text{ kN/m}^3$
Egyirányú nyomószilárdság	$\sigma_c = 7,9 \text{ MPa}$
Alakváltozási modulus	$E_{rm} = 40 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög	$\varphi = 30^\circ$
Kohézió	$c = 50 \text{ kN/m}^2$

2. Mélységi zóna: 5,50 – 7,30 m

GSI	75
Térfogatsúly	$\gamma = 26,9 \text{ kN/m}^3$
Egyirányú nyomószilárdság	$\sigma_c = 46,25 \text{ MPa}$
Alakváltozási modulus	$E_{rm} = 5100 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög	$\varphi = 55^\circ$
Kohézió	$c = 1700 \text{ kN/m}^2$

3. Mélységi zóna: 7,30 – 9,6 m

GSI	40
Térfogatsúly	$\gamma = 26,9 \text{ kN/m}^3$
Egyirányú nyomószilárdság	$\sigma_c = 46,25 \text{ MPa}$
Alakváltozási modulus	$E_{rm} = 3100 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög	$\varphi = 55^\circ$
Kohézió	$c = 260 \text{ kN/m}^2$

4. Mélységi zóna: 9,60 – 15,00 m

GSI	75
Térfogatsúly	$\gamma = 26,9 \text{ kN/m}^3$
Egyirányú nyomószilárdság	$\sigma_c = 46,25 \text{ MPa}$
Alakváltozási modulus	$E_{rm} = 5100 \text{ MPa}$
Belső súrlódási szög	$\varphi = 55^\circ$
Kohézió	$c = 1700 \text{ kN/m}^2$ [12]

4.12. Környezetvédelmi információk

Az Országos Környezetvédelmi Információs Rendszer (OKIR) adatai alapján a vizsgált területen nem található bejelentett talaj- vagy talajvízszennyezés, és a közvetlen környezetben sem azonosítottak szennyező tevékenységet. A terület a felszín alatti vizek védelméről szóló 219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet szerint az érzékeny kategóriába tartozik, azonban nem fekszik vízbázis védőterületen. A Natura 2000 hálózat védettsége, valamint ökológiai szempontból védett területek sem érintik a vizsgált helyszínt és annak közvetlen környezetét. A legközelebbi védett természetvédelmi terület a Gellért-hegy Természetvédelmi Terület, amely 380 méterre található a területtől kelet-északkeleti irányban. [32]

5. A KIVÁLASZTOTT TECHNOLOGIA ISMERTETÉSE

5.1. Lehetséges munkatérhatárolási módok

A munkatérhatárolási feladatok során a helyszíni körülmények és a projekt specifikus igényei meghatározó szerepet játszanak a megfelelő technológia kiválasztásában. Jelen esetben a márgás-dolomitos talaj sajátosságai különleges kihívásokat támasztanak, amelyekhez olyan megoldásra van szükség, ami nemcsak ideiglenesen stabilizálja a munkaterületet, hanem hosszú távon is biztosítja a szerkezeti megbízhatóságot. A terület szűkösége és a munkagödör méretei kizárják a hagyományos megközelítéseket, mint például a dúcolatok vagy a rézsűs kialakítás. Ezzel szemben a hézagos cölöpfalas módszer hatékony megoldást kínál, amely számos előnnyel rendelkezik a résfalas, jet-groutingos vagy más, korábban ismertetett alternatívákhoz képest. Az egyik legnagyobb előnye ennek a technológiának, hogy maximálisan kihasználja a talaj természetes állékonyságát. A márgás-dolomitos kőzet esetében a cölöpök közötti hézagokban a talaj nagyrészt stabil marad, így nincs szükség folyamatos betonozásra. Ez a megközelítés nemcsak költséghatékonyabb, hanem a helyszín geológiai jellemzőihez is jobban illeszkedik. Ezzel szemben a résfalas módszer teljes betonfelületet igényel, ami jelentős többletköltséggel, nehezebb vagy lehetetlen kivitelezéssel járhat az adott környezetben.

A bányászati módszer, amely során a kőzetet fokozatosan fejtik, vizsgálják, majd szükség esetén szegeznek és löttbetonozzák, szintén nem nyújt kielégítő megoldást. Ez az eljárás elsősorban ideiglenes célokra alkalmazható, és nem képes biztosítani azt a stabilitást, amely egy ilyen projekthez elengedhetetlen. Ráadásul a változatos talajviszonyok, valamint a kőzetek tagoltsága és vetők jelenléte tovább növelik a bizonytalanságot, hiszen ezek az inhomogén tényezők jelentősen megnehezítik a kőzet viselkedésének előrejelzését. A módszer végleges támfalként sem alkalmazható, így hosszú távon nem felel meg a projekt elvárásainak.

A hosszú távú biztonság és stabilitás szintén kiemelkedő szempont. A hézagos cölöpfalas szerkezet rugalmasan alkalmazkodik a talajrétegek változatosságához, miközben képes ellenállni a talajnyomásoknak. További előnye, hogy a munkatérhatárolás nem csupán ideiglenes célokat szolgál, hanem a későbbi építkezés során is hasznosítható végleges

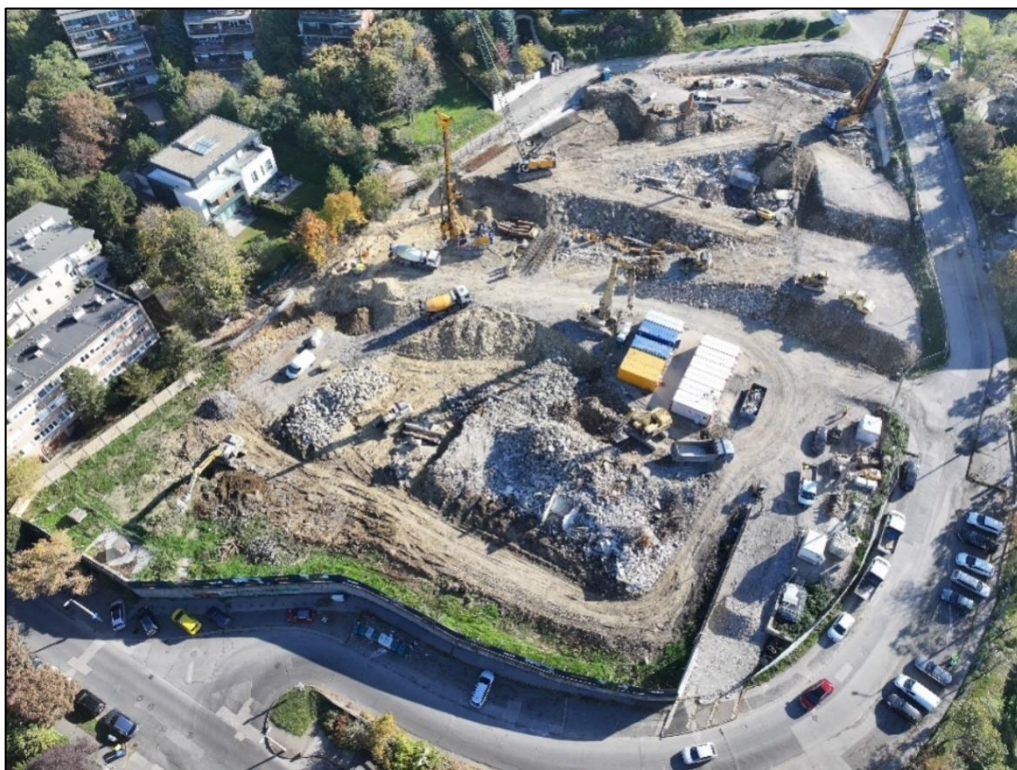
támfalként. Az ilyen szerkezetek könnyen integrálhatók az épület támasztóelemeibe, miközben garantálják a szükséges teherbírást és tartósságot. Végül, a hézagos cölöpfalas technológia gazdaságossági szempontból is kiemelkedő választás. Az anyagszükséglet csökkentése mellett biztosítja a megfelelő stabilitást és teljesíti a hosszú távú funkcionális követelményeket.

5.2. A kiválasztott munkatérhatárolás szerkezeti rendszere

A munkatérhatárolási szerkezetet ideiglenes állapotában egy kihorgonyozott hézagos cölöpfal biztosítja. A cölöpök között – a közet tagoltsága, törmelékessége vagy más tényezők indoklása esetén – löttbeton felület kerül kialakításra. A cölöpök tengelytávolsága 2,30 méter, átmérőjük 80 cm. A cölöpözés iránycsöves, spirálfúrós, kőzetfúrós és dobfúrós technológiával készül.

5.3. Tereprendezés, lavírsíkok kialakítása

A cölöpözési munkák megkezdése előtt elengedhetetlen a tereprendezés alapos és gondos elvégzése.



35. kép Drónfotó a kialakított munkaplatformról az épületek elbontása után. Forrás: [34]

Ennek során előkészítik a területet, kiegyengetik a talajt, és kialakítják a szükséges lavírsíkokat, hogy az építési munkák biztonságosan és hatékonyan végezhetők legyenek. A tereprendezés magában foglalja a nem kívánt növényzet, törmelék és egyéb akadályok eltávolítását, biztosítva ezzel a terület alkalmasságát az alapozási munkákhoz. A cölöpözési munkaplatformot úgy kell megtervezni, hogy az garantálja a cölöpöző gép stabil működését és pontos függőleges helyzetét a teljes kivitelezési folyamat során. Emellett a földmunkák megkezdése előtt, valamint azok során folyamatosan ellenőrizni kell, hogy a munkaterület mentes legyen közművektől, ezzel elkerülve a nem várt akadályokat és baleseteket. [3], [33]

5.4. Rézsűk kialakítása, cölöpvezető gerenda

A munkagödrök oldalhatárolása során a rézsűs felső részen gyakran alkalmaznak talajszegezést és lövellt betonréteget (torkkrétot), hogy a rézsűt stabilizálják és a talajeróziót minimalizálják.



36. kép Lövellt betonnal fedett, szegezett talajtámfal és a cölöpvezető gerenda. Forrás: saját fénykép

A talajszegek hosszú, általában acélból készült rudak, amelyeket a rézsűbe vagy a talajba helyeznek el, hogy növeljék a talaj belső szilárdságát. A szegezés kiegészítéseként a rézsű felületét 10 cm vastag lövellt betonnal borítják, amely egységes, védett felületet képez, és megakadályozza a talaj mozgását vagy erózióját. [35]

A cölöpvezető gerenda a cölöpözési munkálatok egyik fontos segédszerkezete, amelyet a cölöpök helyzetének pontos meghatározása és stabil elhelyezése érdekében alakítanak ki. A gerendapárok mérete egységesen 2x50x50 cm, fővasalással, valamint kengyelezéssel megerősített vasalással készülnek. A betonozás és a kizsaluzás után a cölöpvezetők közötti teret földdel kell visszatölteni, vagy szükség esetén kétsoros összedúcolást kell alkalmazni a szerkezet stabilitásának biztosítása érdekében. A cölöpvezető gerendákat a munkásokról kiindulva építik meg, igazodva a tervezett felső síkokhoz, ami növeli a cölöpözés gyorsaságát és hatékonyságát.

5.5. Cölöp fúrása

A cölöpfúrási munkafolyamat első lépéseként egy 880 mm átmérőjű iránycső lefúrása történik, amely a cölöp helyének pontos meghatározását és a későbbi fúrási folyamat biztonságosságát szolgálja.



37. kép Különböző közetfúró fejek. Forrás: saját fénykép

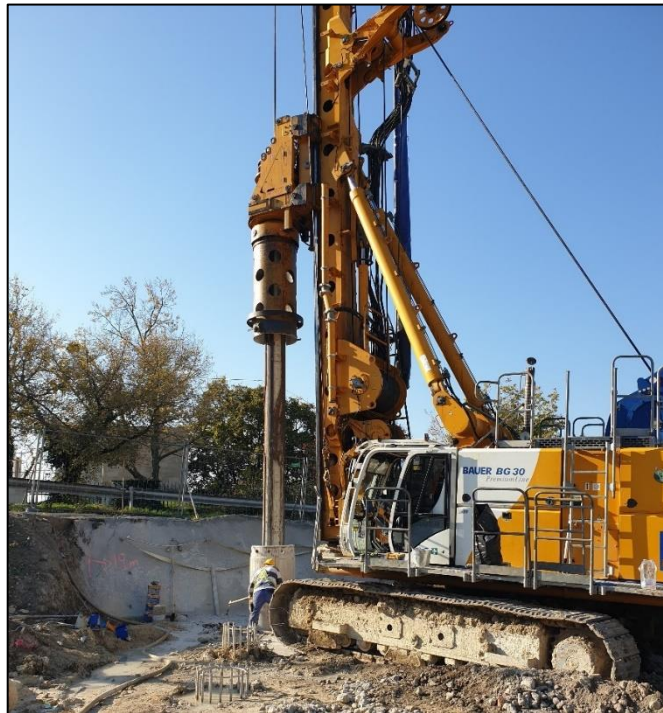
Azonban nem minden esetben helyezik le pontosan 6,0 méter mélységig, hanem az adott körülményekhez igazodva, a talaj vagy kőzet keménysége alapján határozzák meg a végleges mélységet. Ez az elem fontos szerepet játszik abban, hogy a fúrás kezdő szakaszában biztosítsa a fúrólyuk egyenes és pontos kialakítását, valamint a furat állékonyságát különösen a felső, lazább rétegekben. Az iránycső lehelyezése után a furat készítése különböző technológiákkal folytatódik, attól függően, hogy milyen geológiai rétegeken halad keresztül a fúrás. A felső rétegekben, ahol a talaj vagy a kőzet még nem jelent akadályt, spirálfúrós technológiát alkalmaznak. Amikor azonban a fúrás eléri a keményebb kőzetrétegeket, vagy a spirálfúró technológia már nem képes hatékonyan haladni, áttérnek speciális kőzetfúró fej használatára. Ez a fúrófej kifejezetten kemény, tömör kőzetrétegek áttörésére lett kifejlesztve. Ebben a szakaszban a fúrás dob-fúró technológiával is történhet, amely a fúrófejet forgó mozgásba hozva képes hatékonyan eltávolítani a kőzetet a cölöp helyéről. A dob-fúró előnye, hogy a keményebb kőzetekkel is eredményesen megbirkózik, miközben pontosan tartja a cölöp helyzetét és irányát. A fúrás során folyamatosan ellenőrzik a fúrólyuk állapotát és a kőzetviszonyokat, hogy szükség esetén azonnal reagálhassanak a változásokra. A különböző technológiák kombinációja lehetővé teszi, hogy a cölöpek a tervezett mélységig elkészüljenek.



38. kép Marófogas dob-fúró fej. Forrás: saját fénykép

5.6. Furatmegtámasztás

Az előbbi bekezdésben említettem, hogy a felső rétegben a furatot béléscső segítségével támasztják meg. Az alsó rétegekben, ahol a kőzet állékony, mechanikus vagy folyadékos megtámasztásra nincs szükség, mivel a kőzet önmagában is megfelelő stabilitást biztosít.



39. kép Bauer BG 30-as forgó fúróberendezéses cölöpöző gép. Forrás: saját fénykép

5.7. Cölöparmatúra behelyezése, betonozás

A fúrás befejezésekor, a tervezett mélység elérése után, a furatba behelyezik a tervezett cölöparmatúrát. Az armatúra általában előre összeállított fővasalásból és spirálkengyeles vasalásból tevődik össze, ami tartalmazza a merevítő gyűrűket, távtartókat és az acél talplemezt az armatúra alján. A cölöparmatúrában a távtartók feladata, hogy biztosítsák a vasalás pontos helyzetét a furat közepén, valamint garantálják az előírt betonfedést. Ezáltal a távtartók biztosítják a megfelelő korrózióvédelmet, és segítenek elkerülni az armatúra elmozdulását a betonozás során, így garantálva a cölöp helyes geometriai kialakítását és tartósságát. A cölöparmatúra elhelyezése után a furatot betonozó cső segítségével töltik fel betonnal a tervekben meghatározott szintig.



40. kép Cölöparmatúrák (bal oldalon az acél talplemez látható). Forrás: saját fénykép

A betonozás folyamán a csövet fokozatosan emelik fel, hogy a friss beton szabadon tudjon áramlani és egyenletesen kitöltse a furatot. Az iránycső kiemelését óvatosan és a betonozás ütemével szinkronban kell végezni annak érdekében, hogy a furatot ne érje káros hatás, például az armatúra elmozdulása vagy a betonrétegek szétválása. A folyamat során figyelmet fordítanak arra, hogy a furat teljesen kitöltődjön, és a beton minősége megfeleljen a tervezési követelményeknek. Azokon a területeken, ahol a cölöpözés lavírsíkja magasabban helyezkedik el, mint a cölöpösszefogó gerenda szintje, a furatot nem betonozzák ki teljes hosszában. Ilyen esetekben a betonozás csak a cölöpösszefogó gerenda szintjéig történik.



41. kép Betonozási előkészületek. Forrás: saját fénykép

5.8. Cölöpösszefogó gerenda

A visszavésett cölöpfal tetején a vonatkozó terv alapján kell elkészíteni a fejgerendát. A fejgerenda építése során munkahézagot csak egyszerű, merőleges elrekesztéssel szabad kialakítani, azonban ennek a nyíróerő nullpontjába kell esnie, és nem érintkezhet a vasalás toldási helyeivel. A hézagos cölöpfalat a tetején cölöpösszefogó gerenda stabilizálja, amelyre monolit vasbeton fal épül. A fal felső síkja a tervezett terep esésviszonyait közel párhuzamosan követi. A cölöpösszefogó gerenda keresztmetszeti mérete 100 x 100 cm, és felső síkját 5%-os kereszteséssel kell kialakítani, hogy illeszkedjen a tervezett terephez és az építési követelményekhez. [36]

5.9. Földkiemelés, talajhorgonyzás

A földkiemelés több fázisban zajlik, igazodva a horgonyzási szintekhez. Minden földkiemelési szakaszt a megfelelő horgonyzások elkészítése követ, amelyek biztosítják a szerkezet állékonyságát az ideiglenes állapotok alatt. A horgonyzás a munkagödör mélységétől függően 1, 2 vagy akár 3 sorban is készülhet, a stabilitási követelményeknek megfelelően. A horgonyzás részletes leírása és beépítése a **2.2.3.** pontban található.

6. A KIVÁLASZTOTT SZERKEZETI RENDSZER MÉRETEZÉSE

6.1. A tervezési feladat ismertetése

A tervezési feladat során egy horganyzott hézagos cölöpfalas munkatérhatárolás megvalósítása került előtérbe. A tervezési helyszín, amelyet a **4.1.** pontban ismertettem, már korábban feltárt talaj- és közetviszonyokkal rendelkezik, amelyek meghatározzák a technológia alkalmazhatóságát. A feladat az MCC új épületének építését előkészítő munkatérhatárolás megtervezése, amely az építési terület régi épületeinek elbontása után válik esedékessé. A kivitelező céggel folytatott egyeztetések alapján a cölöpök maximális hossza 15 méterben került meghatározásra. Ez a döntés figyelembe veszi a helyszín köztes környezetének sajátosságait, valamint a cölöpöző szerszámok túlzott kopásának elkerülését célozza, amely jelentős költségmegtakarítást és hatékonyabb munkafolyamatokat eredményez. A maximális talajkiemelés elérésekor is a cölöpök 2,0–2,2 méteres mélységben befogottak.

A hézagos cölöpfalat felül egy 100 x 100 cm keresztmetszetű cölöpösszefogó gerenda rögzíti, amelynek felső síkja 5%-os kereszteséssel készül. A gerenda tetejére épül a 50 cm vastag monolit vasbeton támfal, amely dilatációs egységekben készül, és felső síkja követi a terep esésviszonyait. A támfal külpontosan csatlakozik a cölöpösszefogó gerendához úgy, hogy annak munkatér felőli síkja egybeessen a támfal munkatér felőli síkjával. A támfal távlati projekt keretében köburkolatot kap, az Építész kiviteli tervek szerint. [36]

Fontos megjegyezni, hogy a cölöpösszefogó gerendát és a támfalat, annak részleteit jelen számításaimban nem vizsgálom, mivel az külön terv részét képezi.

6.2. Alkalmazott szabványok

- Eurocode 0 (MSZ EN 1990) – A tartószerkezetek tervezésének alapjai
- Eurocode 1 (MSZ EN 1991) – A tartószerkezeteket érő hatások
- Eurocode 2 (MSZ EN 1992) – Betonszerkezetek tervezése
- Eurocode 7 (MSZ EN 1997) – Geotechnikai tervezés

- Eurocode 8 (MSZ EN 1998) – Tartószerkezetek tervezése földrengésre

6.3. Felhasználandó anyagok, anyagjellemzők

- Cölöpfal beton: C30/37-XC2-16-F5-100év
 $f_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$ $f_{cd} = 16,7 \text{ N/mm}^2$
 $E_{cm} = 33 \text{ kN/mm}^2$
- Betonacél: B500B (B 60.50)
 $f_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$
 $E_s = 200 \text{ kN/mm}^2$
- Betonfedés: 70 mm (kengyeleken)
- Talajhorgonyok: DYWIDAG állandó és ideiglenes horgony 0.62" St 1860 MP
 $A_1 = 150 \text{ mm}^2$ $E_s = 195 \text{ kN/mm}^2$
 $f_u = 1860 \text{ MPa}$ (anyag tervezési szilárdsága)

6.4. Számítási módszer, szoftver

A mai mérnöki gyakorlatban a számítások hagyományos, kézi módszerekkel már nem végezhetők el pontosan, ezért ezek inkább csak becslésekhez, előtervezéshez vagy közelítő ellenőrzésekhez használhatók. A részletes tervezéshez azonban korszerű geotechnikai szoftverek alkalmazása szükséges, amelyek általában rugalmasan ágyazott gerenda modellre épülnek. Ezek a szoftverek lehetővé teszik a földnyomások és elmozdulások összefüggő számítását, figyelembe véve a talajok megadott ágyazási tényezőit. Továbbá kezelik a szerkezet egymás utáni tervezési állapotait is, ahol az elmozdult állapot kiindulópontként szolgál. A horgonyok és támaszok előfeszített rugóként jelennek meg a modellben, és a szerkezeti igénybevételek – mint a nyomaték, nyíróerő, horgonyerő vagy talajellenállás – az elmozdulások és a szerkezet merevségének figyelembevételével kerülnek meghatározásra. [37]

Az általam használt szoftver, a GEO5 szádfelellenőrző modulja, fejlett nem-lineáris, rugalmas-képlékeny számítási módszert alkalmaz, amely pontos és megbízható eredményeket nyújt a tervezési folyamat során. [38]

6.5. Vizsgált metszetek

A modellezést négy különböző metszetben végeztem el, figyelembe véve a helyszíni adottságokat és a szerkezet várható viselkedését. Az elemzések között szerepelt a mértékadó keresztmetszet, ahol a munkagödör mélysége a legnagyobb, valamint egy-egy metszet a márgás és a dolomitos talajnál, továbbá egy olyan szakasz, ahol a cölöp tetejére nem kerül támfal, hanem teljes földvisszatöltés készül.

Az A-A metszet és a B-B metszet egy márgás geológiai környezetben helyezkedik el, míg a C-C és D-D metszetek dolomitos kőzetben találhatók. Az A-A metszet esetében a cölöpfal tetején nem kerül kialakításra támfal, és a végleges állapotában teljes egészében visszatöltésre kerül földdel. Ezzel szemben a másik három metszetenél a cölöpösszefogó tetejére támfal épül, amely további szerkezeti elemekkel egészül ki. Ezekben a metszetekben a cölöpök távlati kitámasztó gerendarács segítségével csatlakoznak majd az épülethez a meghatározott szinteken. A támaszok alatt földvisszatöltés készül, míg felettük állandó horgonyok vagy a cölöpfal konzolos kialakítása biztosítja a támfal funkciót, amely így hatékonyan ellenáll a földnyomásnak és a terheléseknek.

6.6. Tervezés beállításai a programban

A tervezési folyamat során a Magyarországon érvényes EN 1997 szabvány szerint dolgoztam, amely az Eurocode 7 előírásainak megfelelően biztosítja a geotechnikai tervezés alapjait. A számításokat a DA2 tervezési módszer szerint végeztem, amely az adott parciális tényezők alkalmazásával veszi figyelembe a különböző terheléseket, anyagjellemzőket és ellenállásokat (ezek a parciális tényezők a számítási mellékletben részletesen megtalálhatóak). Ez a megközelítés a biztonság és a megbízhatóság érdekében külön kezeli a teheroldali és ellenállási oldali tényezőket, biztosítva, hogy a kialakított szerkezet megfeleljen a stabilitási és teherbírasi követelményeknek. A számítási beállítások a helyi szabályozásoknak és geotechnikai környezetnek megfelelően kerültek meghatározásra, figyelembe véve az alkalmazott talajtípusokat és terhelési szinteket. [39]

A programban az aktív földnyomás a Coulomb-elmélet alapján kerül meghatározásra. Az aktív földnyomás (σ_a) egy alapvető paraméter a geotechnikai tervezésben, különösen a megtámasztó szerkezetek esetében. Ez a talaj által kifejtett erőket írja le, amelyek akkor jelentkeznek, amikor a szerkezet elmozdul a talajtól. [39]

Az aktív földnyomás képlete (Coulomb-elmélet alapján):

$$\sigma_a = \sigma_z K_a - 2c_{ef} K_{ac} \quad (1)$$

Ahol:

σ_z – vertikális geosztatikus feszültség

c_{ef} – a talaj effektív kohéziója

K_a – az aktív földnyomás tényezője

K_{ac} – a kohézióból származó aktív földnyomás tényezője

Az aktív földnyomási tényező (K_a) az alábbi képlettel számítható:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\alpha + \delta) \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha + \delta) \cos(\alpha - \beta)}} \right)^2} \quad (2)$$

A kohézióból származó aktív földnyomás tényező (K_{ac}) az alábbi képlettel számítható:

$$\text{Ha: } \alpha < \frac{\pi}{4} \quad K_{ac} = \frac{K_{ahc}}{\cos(\delta + \alpha)} \quad (3)$$

$$\text{Ahol:} \quad K_{ahc} = \frac{\cos \varphi \cos \beta \cos(\delta - \alpha)(1 + \tan(-\alpha) \tan \beta)}{1 + \sin(\varphi + \delta - \alpha - \beta)} \quad (4)$$

$$\text{Ha: } \alpha \geq \frac{\pi}{4} \quad K_{ac} = \sqrt{K_a} \quad (5)$$

Ahol:

φ – a talaj belső súrlódási szöge

δ – a szerkezet és a talaj közötti súrlódási szög

β – a rézsű hajlásszöge

α – a szerkezet hátoldalának dőlésszöge

Az aktív földnyomás vízszintes és függőleges összetevői:

$$\sigma_{ax} = \sigma_a \cos(\alpha + \delta) \quad (6)$$

$$\sigma_{az} = \sigma_a \sin(\alpha + \delta) \quad (7)$$

Ahol:

σ_a – aktív földnyomás

δ – a szerkezet és a talaj közötti súrlódási szög

α – a szerkezet hátoldalának dőlésszöge [39]

A passzív földnyomást, amely az az ellenálló nyomás, amelyet a talaj kifejt, amikor a fal a talaj irányába mozdul el és a talaj teherbíró képessége korlátozza a fal mozgását, a program a Caquot-Kérisel elmélet alapján számította ki. [39]

A passzív földnyomás az alábbi képletből származtatható:

$$\sigma_p = \sigma_z K_p \psi + 2c \sqrt{K_p \psi} \quad (8)$$

Ahol:

K_p – a passzív földnyomás tényezője $\delta = -\varphi$ esetén, a program táblázatosan adja meg

ψ – csökkentési tényező

c – a talaj kohéziója

σ_z – vertikális geosztatikus feszültség

A passzív földnyomás vertikális és horizontális összetevői az alábbiak szerint határozható meg:

$$\sigma_{px} = \sigma_p \cos(\alpha + \delta) \quad (9)$$

$$\sigma_{pz} = \sigma_p \sin(\alpha + \delta) \quad (10)$$

Ahol:

δ – a szerkezet és a talaj közötti súrlódási szög

α – a szerkezet hátoldalának dőlésszöge [39]

Az altalaj reakciómodulusának elemzése a Schmitt által bemutatott összefüggésen alapul, amely az összenyomódási modulus és a szerkezet hajlítómerevsége közötti kapcsolatot tárgyalja. Schmitt elmélete szerint az altalaj reakciómodulusa (k_h) a talaj rugalmassági és viselkedési tulajdonságai alapján határozható meg. Az elmélet figyelembe veszi a talajrétegek viselkedését és a terhelések eloszlását, így pontosabban segít meghatározni az altalaj deformációit és reakcióit. [39]

Az altalaj reakciómodulusának kiszámítása:

$$k_h = 2,1 \left(\frac{E_{oed}^{4/3}}{(EI)^{1/3}} \right) \quad (11)$$

Ahol:

EI – a szerkezet hajlítómerevsége [MNm^2/m]

E_{oed} – összenyomódási modulus [MPa] [39]

6.7. Talajparaméterek felvétele

A talajparamétereket az előzőleg ismertetett (4.11. pontban), bemutatott adatok alapján adtam meg a programban. Azoknál a paramétereknél, amelyek nem álltak rendelkezésre (például a Poisson-tényező esetében), a hiányzó értékeket a GEO5 súgójában található táblázatok segítségével választottam ki. Ez a megközelítés biztosította, hogy a számításokhoz szükséges összes talajjellemző megfelelő módon kerüljön meghatározásra és alkalmazásra.

42. kép Talajadatok bevitele a programba.

6.8. Geometria, anyag

A számítás során négy különböző hosszúságú cölöpöt vizsgáltam: 8 méteres, 10,5 méteres, 12 méteres és 15 méteres változatokat. A cölöpöket 2,30 méteres tengelytávval és 80 cm-es átmérővel modelleztem. Anyagként C30/37 szilárdsági osztályú betont és B500B acélminőséget választottam.

Metsz. szerk.

Fal típusa: Cölöpfal

Keresztmetszet neve: Cölöpfal d = 0,80 m, a = 2,30 m ☐ Felhasználói

Metszet hossz: l = 15,00 [m]

Árokfenék alatti nyomás csökk. tény.: számítás 0,67 [-]

— Geometria —

Keresztmetszet típusa: kör

Cölöp átmérő: d = 0,80 [m]

Cölöp kiosztás: a = 2,30 [m]

Cölöp anyaga: beton

Diagram showing 4 piles with diameter 0.80 and spacing 2.30.

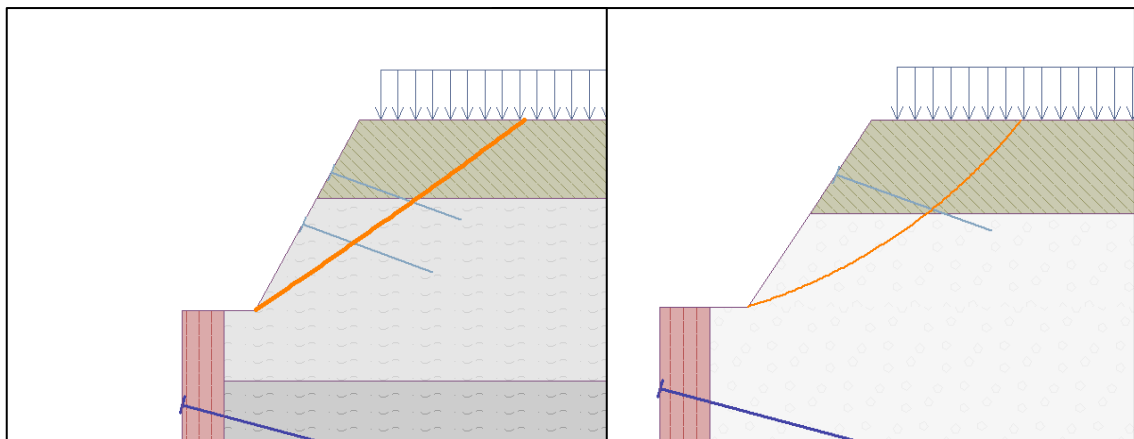
— Információ —

A = 2,19E-01 [m²/m] I = 8,74E-03 [m⁴/m]

43. kép Cölöp paramétereinek meghatározása.

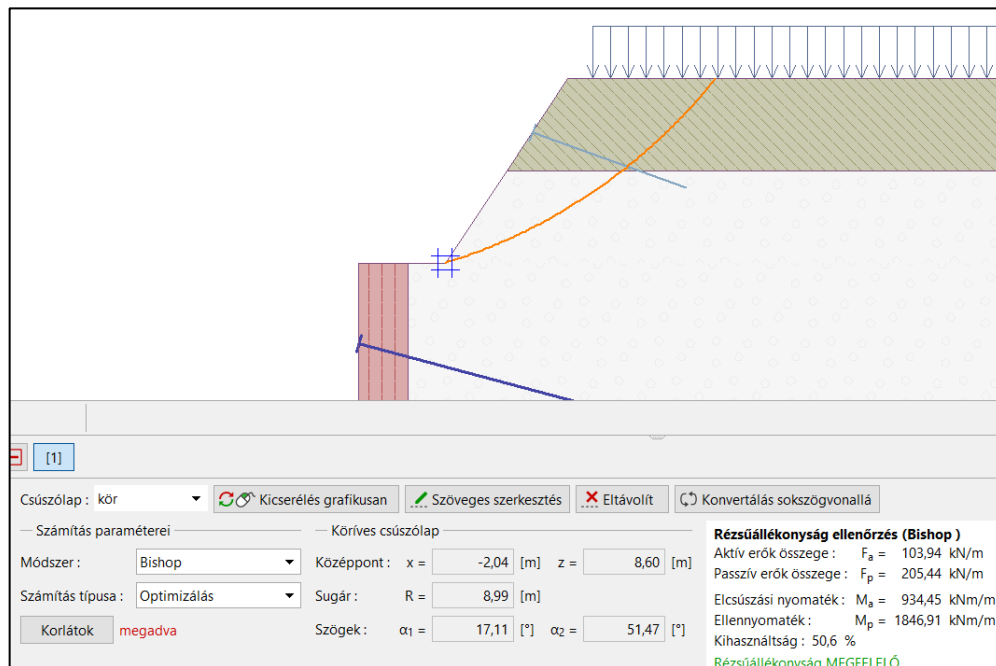
6.9. Rézsű, felszíni terhek megadása

A rézsűk magassága a vizsgálatok során 2,50 és 3,50 méter között változott, és ezek stabilitását rézsűállékonysági szempontból elemeztem. A számítások alapját mindenhol 1,5 méter vastag kavicsos, márgás feltöltés képezte, amely azonban a valóságban, a talajvizsgálati jelentések szerint, több helyen nem található meg, így nem tekinthető mindenhol meglévő rétegnek. Ennek figyelembevételével a számításokat talajszegekkel futtattam le, amelyek kellő biztonságot biztosítottak a rézsűk stabilitásához.



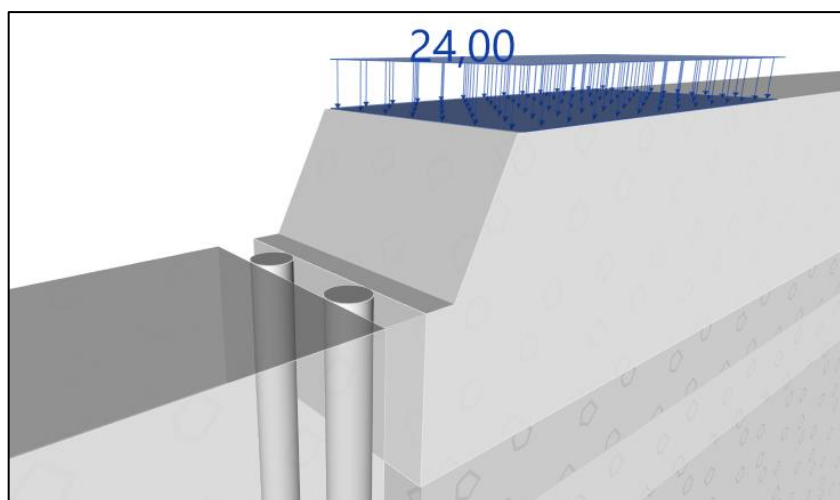
44. kép A rézsűk csúszólapjai. Bal oldalon a márgás, jobb oldalon dolomitos helyen.

Ugyanakkor a helyszíni körülmények alapos vizsgálata alapján, ha a kőzet természetes állékonysága elegendő, talajszegek alkalmazása nem szükséges. Ebben az esetben a rézsűk kőzetkipergésének megakadályozása érdekében lőttbeton réteg alkalmazását javaslom. Ez vonatkozik azokra a területekre is, ahol talajszegek kerülnek beépítésre.



45. kép A kihasználtság a márgánál 2 db talajszeeggel 34,5%-ra adódott, a dolomitnál 1db szeeggel 50,6% lett (a képen az utóbbi látható).

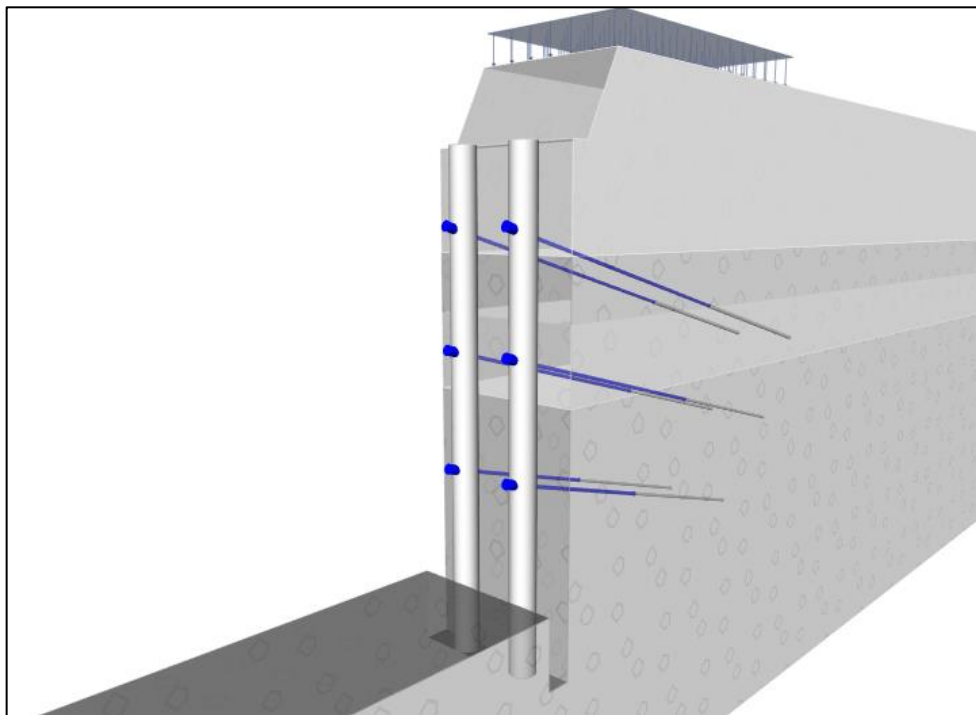
A felszíni teher modellezéséhez egy esetleges, 24 kN/m^2 értékű terhelést vettem figyelembe, amely a munkatérhatárolás környezetében található utcákon az építkezés ideje alatt várható tehergépjármű-forgalmat hivatott reprezentálni.



46. kép 24 kN/m^2 nagyságú, esetleges teher a rézsű tetején.

6.10. Földkiemelés, horgonyzás

A geometria és az alapinformációk megadása után a következő fázisban megkezdtem a munkagödör kiemelését a horgonyzási szintekig. Minden egyes munkagödör mélyítést és horgonyzási szint kialakítását külön fázisként modelleztem a számítások során, ezzel pontosan követve a kivitelezési lépések sorrendjét. A horgonyzási szinteket a legnagyobb mértékadó keresztmetszet alapján határoztam meg. Az első szintet a cölöp tetejétől 2,30 méterre vettem fel, míg a további horgonyzási szinteket 3,50 méteres osztásközökkel helyeztem el. A legnagyobb keresztmetszetben szükségessé vált, hogy a legfelső horgonysort állandó horgonyként alakítsam ki, mivel ennek később szerepe lesz a végleges támfal kialakításában. A többi horgonysort ideiglenesen, előfeszített horgonyként vettem figyelembe a számítások során.



47. kép Teljes mélységű földkiemelés, 3 sor talajhorgonnyal.

A horgonyok előfeszítő ereje az alkalmazott méretezési követelmények és a helyszíni adottságok függvényében 150 és 400 kN között változott, miközben a horgonyok pászmaszáma, igazodva a terhelési igényekhez 4, 6, illetve 8 között alakult. Az injektált hosszúságuk 5 és 6,5 méter között változott, míg a szabad szakaszok hossza 6 és 10,50 méter között alakult.

A talajhorgony geometriai adatai (szabad és injektált hossz, osztásköz, irányultság, dőlés), típusa (pl. merevrudas, pászmás) és anyagjellemzői megadásával a legtöbb szoftver automatikusan kiszámítja a falra merőleges irányultságú horgonyt helyettesítő rugó merevségét. A számítás általában az alábbi, vagy ahhoz nagyon hasonló összefüggés alapján történik. [3]

$$C_h = \frac{s_h \frac{F_h}{A_h \cdot E_h}}{\cos \alpha \cdot L_h} \quad (12)$$

Ahol:

$A_h \cdot E_h$ – a horgony normálmerevsége

L_{hsz} – a horgony szabad hossza

F_h – az injektált horgonytest és a talaj közötti súrlódási erő

s_h – a súrlódási erő mobilizálásához szükséges elmozdulás

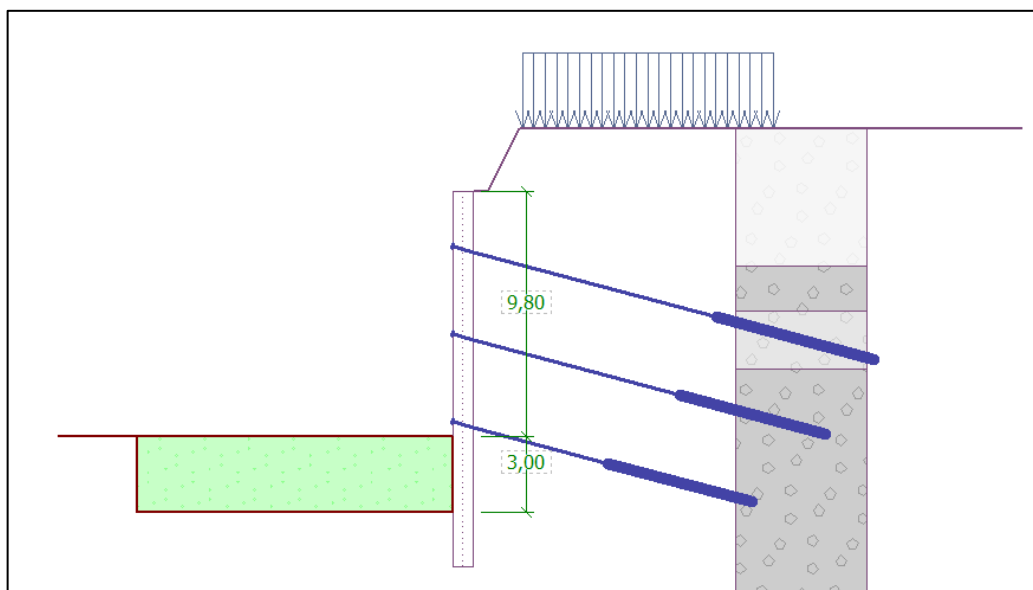
L_h – a horgonyok alaprajzi értelemben vett osztásköze

α – a horgony dőlése

[3]

6.11. Földvisszatöltés, ideiglenes horgonyok elvágása

A teljes mélységű földkiemelés befejezése után megkezdődnek az épület alépítményi munkái, amelyek elkészülte után a földvisszatöltés folyamata indulhat el. Ez az a fázis, amikor a munkatérhatároló szerkezetekre már nincs szükség.

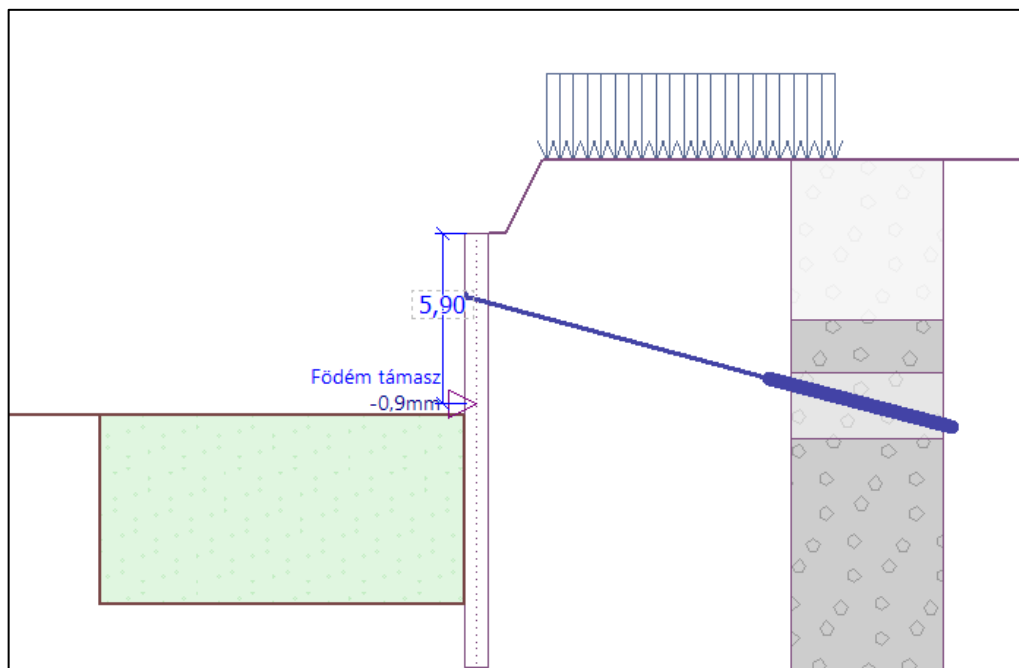


48. kép Földvisszatöltés az alsó horgonyzási munkaszintig.

A földvisszatöltés a legalsó horgonyzási szintig történik meg első körben, ahol a folyamatot ideiglenesen megszakítják a horgonyok elvágásához. Az ideiglenes horgonyok elvágása egy fontos lépés, amelyet szintén külön építési fázisként modelleztem le a számítások során. Ezután a földvisszatöltés folytatható a következő horgonyzási munkaszintig, az A-A metszetben egészen a végleges terepszint kialakításáig. Fontos hangsúlyozni, hogy a visszatöltött földet a megfelelő tömörségi követelményeknek megfelelően kell tömöríteni, hogy biztosítsa a stabilitást és elkerülje a későbbi süllyedéseket vagy deformációkat.

6.12. Távlati kitámasztó gerendarács megépítése

Amikor a földvisszatöltés eléri azt a szintet, ahol az épület csatlakozni fog a cölöpfalhoz, az ott található ideiglenes horgonyokat szintén elvágják. Ezt követően egy újabb építési fázisban megkezdődik a kitámasztó gerendarács kialakítása. A kitámasztó gerendarácsot a programban egy támasszal modelleztem le. A támasz elmozdulási típusánál befogott elmozdulást, míg az elfordulásra szabad elfordulást állítottam be, ezzel szimulálva a valós szerkezeti viselkedést. Ez a megoldás megfelelően reprezentálja a cölöpfal és az épület közötti teherátadást.



49. kép Támasz modellezése a programban.

6.13. Nyugalmi földnyomásból származó nyomaték, koncentrált erő

A cölöpfal tetejére egy cölöpösszefogó gerenda kerül kialakításra, amelyre egy monolit vasbeton támfal épül. A támfal a tereppel párhuzamosan halad, és a végleges terepszint által kifejtett földnyomást támasztja meg. A tervezési folyamat során a támfalra ható terheket és azok hatását részletesen elemeztem. A számítások alapját a nyugalmi földnyomásból származó nyomaték képezte, amelyhez figyelembe vettem a felszíni terheléseket, valamint a talajból eredő vízszintes irányú feszültségeket. Az így meghatározott eredők helyzetének és értékének ismeretében egyensúlyi nyomatéki egyenleteket írtam fel a cölöpfal tetejére. Ezzel kiszámítottam a cölöpfal tetején keletkező nyomatékokat.

A nyugalmi földnyomás tényezőjét (K_0) az alábbi képek alapján lehet meghatározni:

$$K_0 = 1 - \sin\varphi \quad (13)$$

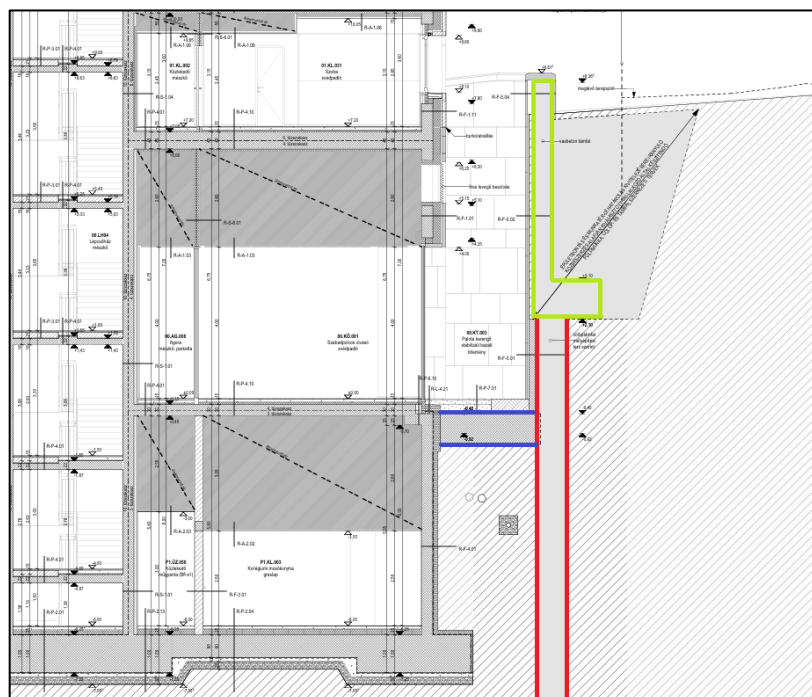
A vízszintes irányú nyugalmi feszültséget az alábbi módon határoztam meg:

$$\sigma_{x0} = h \cdot \rho \cdot g \cdot K_0 \quad (14)$$

Ahol:

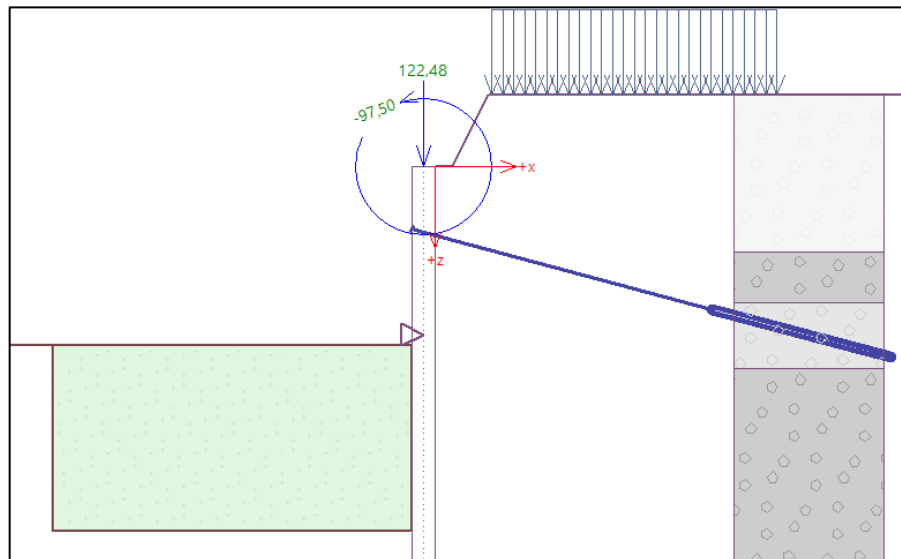
h – a támfal magassága

ρ – a talaj sűrűsége [kg/m^3]



50. kép Metszet épületről. Piros színnel jelölve a cölöpöt, kék színnel a kitámasztó gerendarácsot és zölddel a támfalat a cölöp tetején. Forrás: [25]

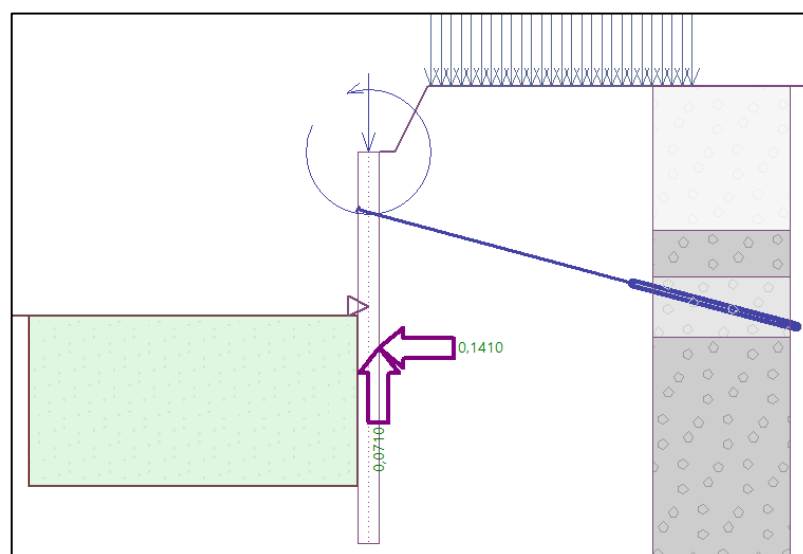
Továbbá, a támfal és a cölöpösszefogó saját súlyát az egy cölöpre jutó terhelési sáv alapján koncentrált erőként vettem figyelembe. A számításokat három különböző metszetenél végeztem el, minden esetben az adott helyszíni méretekhez igazodva. Részletes számítások a mellékletben találhatók.



51. kép Az alkalmazott nyomaték és koncentrált erő bevitele a programba.

6.14. Földrendési terhek meghatározása

Végül, utolsó fázisként a földrendési terhek meghatározása történt meg, mivel a szerkezet végleges állapotában támfalként fog működni, ezért elengedhetetlen volt a méretezése földrendési hatásokra is. A földrendésre vonatkozó számításokat az Eurocode 8 (MSZ EN 1998) – Tartószerkezetek tervezése földrendésre szabvány előírásai alapján végeztem.

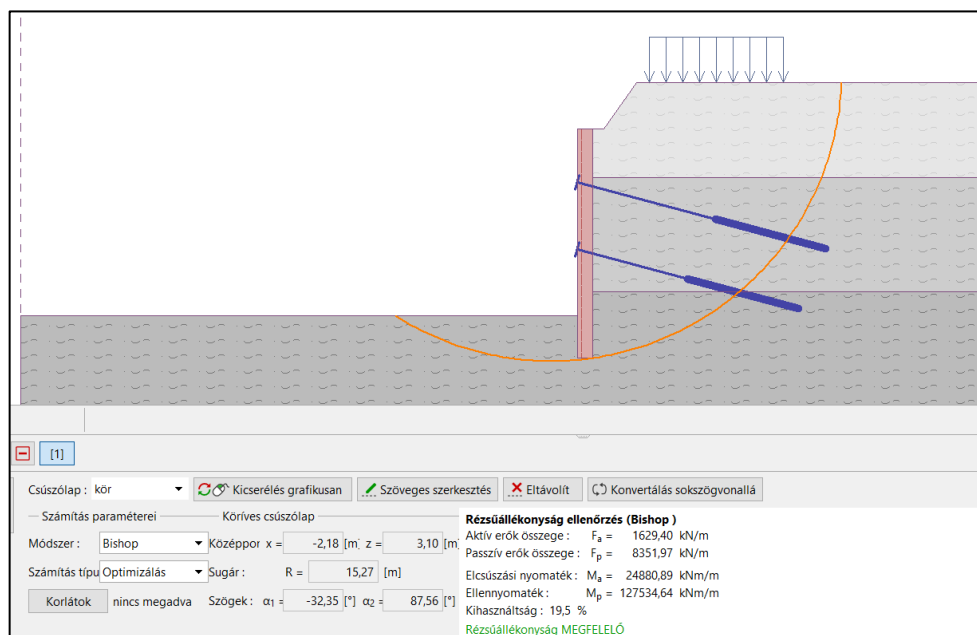


52. kép Földrendési terhek felvétele.

Az épületet a III. fontossági osztályba soroltam, amelybe például iskolák, gyűléstermek és kulturális intézmények tartoznak. Ennek megfelelően a fontossági tényező értékét 1,2-nek állapítottam meg. A számítások eredményeként a vízszintes szeizmikus együttható 0,141, míg a függőleges szeizmikus együttható 0,071 lett, a program a Mononobe-Okabe összefüggés alapján számolta ki az igénybevételeket.

6.15. Külső stabilitás ellenőrzése

Ez az ellenőrzés a cölöpfal és a környező földtömeg stabilitásvesztését vizsgálja egy lehetséges körcsúszólap mentén. A vizsgálatot a Geo5 szoftver végzi, amely próbálgatásos optimalizálással keresi meg a legkisebb törési biztonságot. A szoftver a csúszólapon belüli földtömeget lamellákra bontja, és ezek talpán számítja ki a csúszást előidéző, illetve annak ellenálló erőkomponenseket és nyomatékokat a csúszófelület mentén a Bishop-módszer alkalmazásával. A vizsgálat során a DA-3 tervezési eset szerint kell alkalmazni a parciális tényezőket, ami azt jelenti, hogy a talajfizikai jellemzők értékét csökkenteni kell, és ennek figyelembevételével kell igazolni, hogy az ellenállás meghaladja a csúszást okozó hatásokat. A számítások szempontjából a mértékadó tervezési fázist vettem figyelembe, amely a teljes földkiemelés és a horgonymegtámasztást feltételezi, mivel ebben az esetben a belső oldalon jelentkezik a legkisebb leterhelés. A szükséges grafoanalitikus számításokat a Geo5 szoftver automatikusan elvégzi. [37]

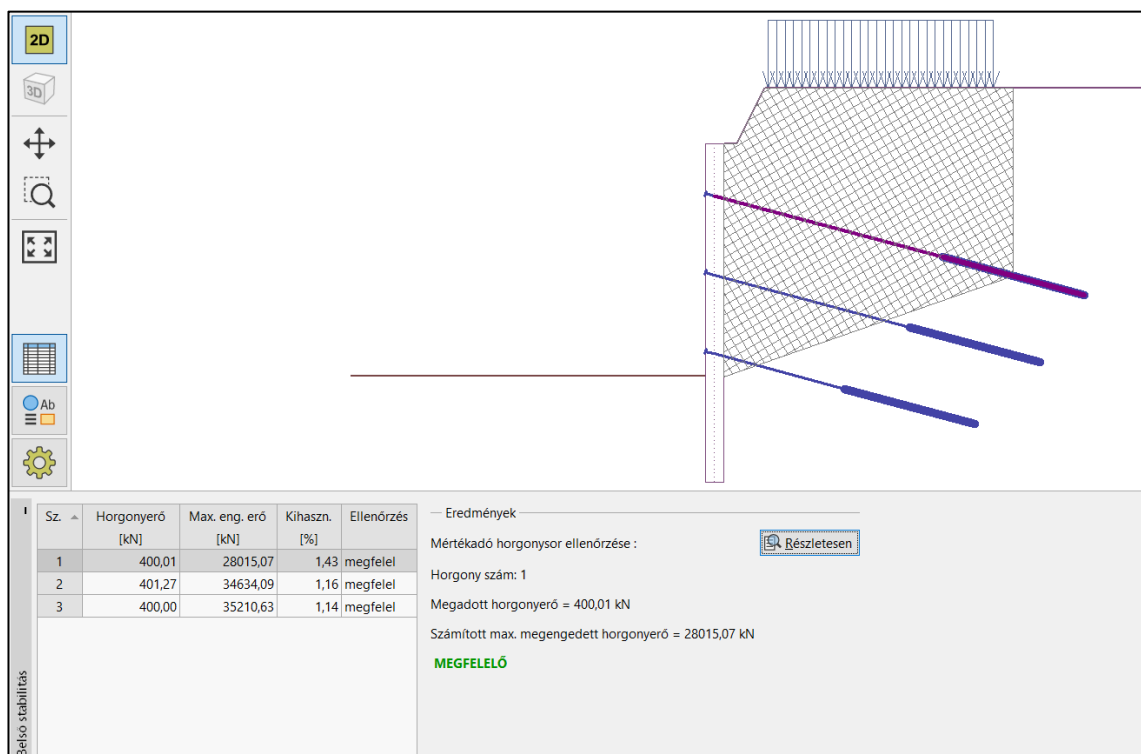


53. kép Külső stabilitás vizsgálat a B-B metszetben.

A vizsgálat eredményei alapján a dolomit esetében a stabilitásvesztés kockázata 10% alatti értéket mutatott, míg a márgában körülbelül 20%-os eredmények adódtak.

6.16. Belső stabilitás ellenőrzése

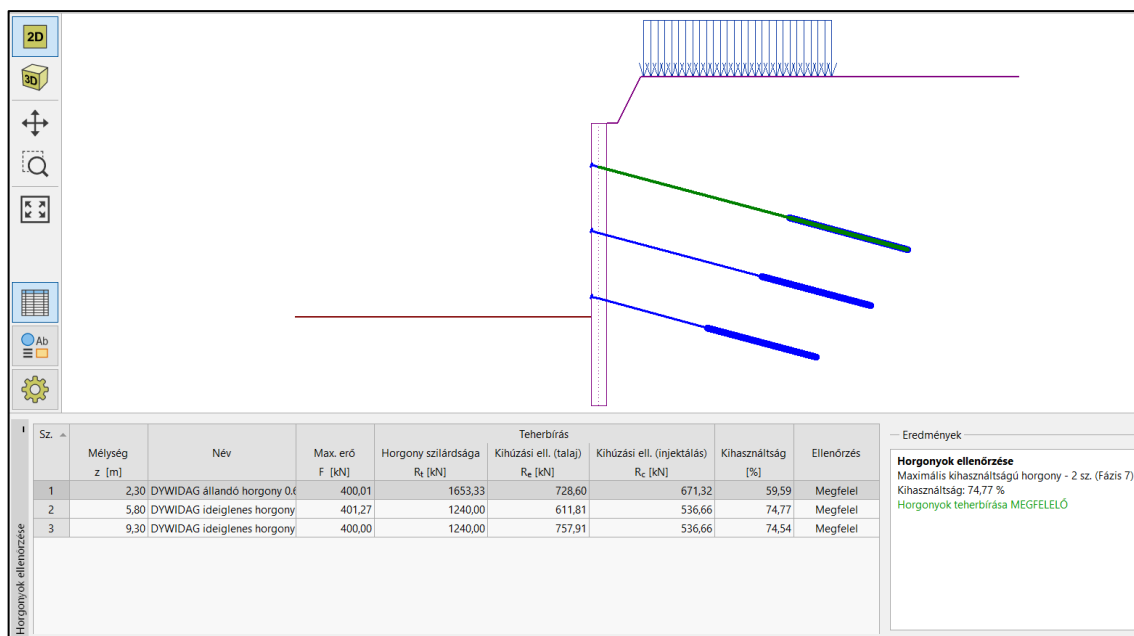
Az ellenőrzés a horgonyzott földék egyensúlyát vizsgálja, ahol a lehetséges tönkremenetel az előrebillenésből adódó stabilitásvesztés lehet. A számítás a Kranz–Ostermayer-módszer alapján, grafoanalitikai eljárással történik. A vizsgálat során a program a horgony befogási szakaszának közepére vonatkozó egyensúlyt elemzi, amelyet a cölöpfal talpától vagy a nyíróerő nullpontjától számítva végez el. Az itt fellépő erőkből vektorsokszöget alkotva meghatározható a lehetséges fajlagos horgonyerő (F). Ennek az értéknek nagyobbnak kell lennie az igénybevétel számítás szerinti szükséges horgonyerőnél a stabilitás biztosítása érdekében. Ez az ellenőrzés különösen fontos a mértékadó, teljes földkiemelés horgonymegtámasztással fázisban, de a program minden építési fázisban elvégzi a vizsgálatot. Az egyes fázisokra vonatkozó részletes eredmények megtalálhatók a számítási dokumentációban. A stabilitás minden vizsgált esetben megfelelt. [37]



54. kép Belső stabilitás vizsgálata.

6.17. Horgonyok ellenőrzése

A program a horgonyok ellenőrzését minden építési fázisban folyamatosan elvégezte, biztosítva, hogy a stabilitás minden szempontból megfeleljen. Az ellenőrzés három fő tönkremeneteli módra terjedt ki: a horgony anyagának szilárdságára, a talaj által biztosított kihúzási ellenállásra és az injektálás által nyújtott kihúzási ellenállásra. Az injektálás anyagának paramétereit a C30/37-es betonra vonatkozó nyomószilárdsági tervezési érték (f_{ck}) figyelembevételével határoztam meg. A horgonyok kihasználtsága minden fázist figyelembe véve 50% és 85% között mozgott, ezzel igazolva a szerkezet biztonságos működését.

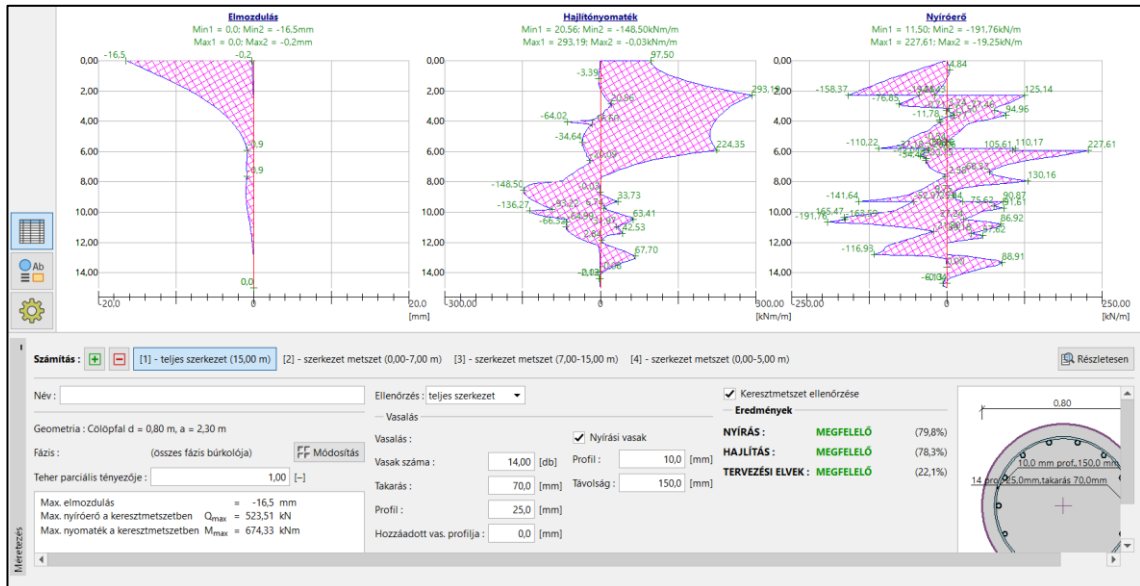


55. kép Horgonyok ellenőrzése.

6.18. Vasalás számítása

A szerkezet vasalását a GEO5 program méretezési moduljában határoztam meg. A burkolóábra alapján, minden fázist figyelembe véve határoztam meg a szükséges értékeket. A kisebb magasságú cölöpök esetében az igénybevételeket az egész keresztmetszetre vetítve vizsgáltam. A nagyobb cölöpöknél, ahol már szükségessé vált a hosszanti vasalás toldása, a vizsgálatot több részre bontottam, hogy pontosabb képet kapjak az igénybevételekről. A hosszanti vasalást 16 mm, 20 mm és 25 mm átmérőjű betonacélból terveztem, a spirálkengyeleket pedig 8 mm-es és 10 mm-es átmérőjű profilokból alakítottam ki, az igényeknek megfelelően. A betontakarás mértékét az MSZ

EN 1536 – Speciális geotechnikai munkák kivitelezése, fűrt cölöpök szabvány előírásai alapján határoztam meg, amely szerint 70 mm-es takarást alkalmaztam a megfelelő védelem és tartósság biztosítása érdekében.



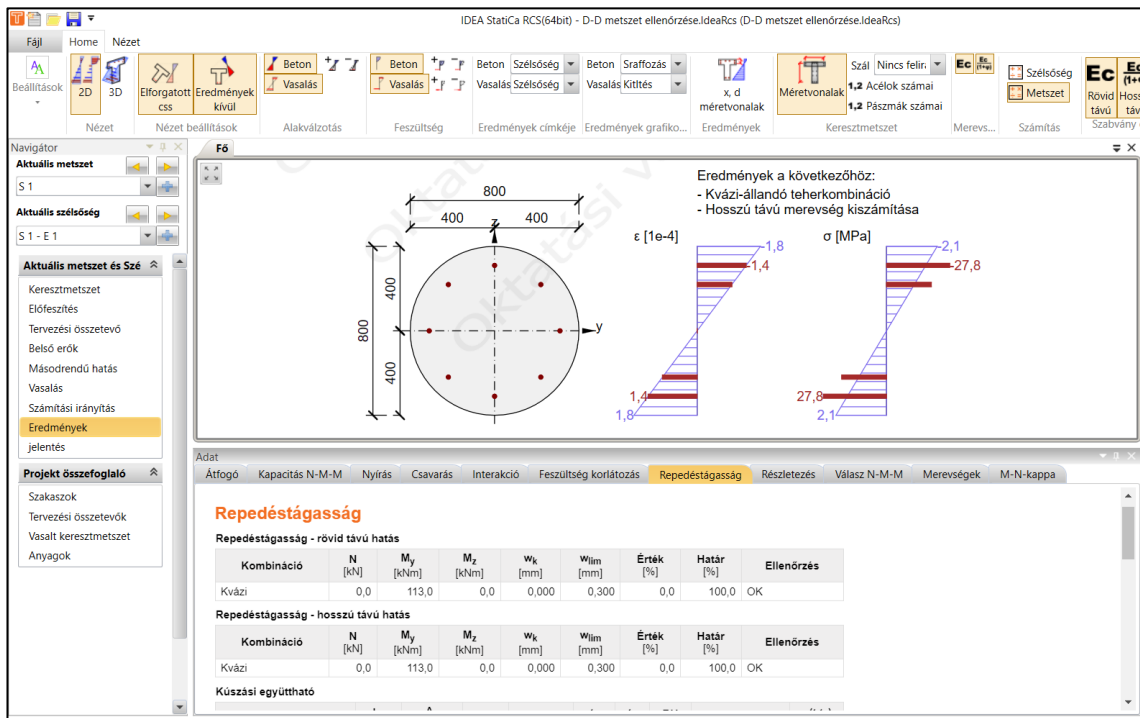
56. kép Vasalás ellenőrzése.

6.19. Repedéstágasság vizsgálata

Sajnos nem volt lehetőség a GEO5 száfaltervező moduljában repedéstágasság számítására, mivel ez a funkció csak résfalak esetében érhető el. Emiatt a repedéstágasság vizsgálatát az IDEA StatiCa szoftverben végeztem el, amely egy rendkívül fejlett tervezőeszköz, kifejezetten a vasbeton és acélszerkezetek ellenőrzésére. A program lehetőséget biztosít a különböző szerkezeti elemek részletes elemzésére, beleértve a repedéstágasság vizsgálatát is. Intuitív felhasználói felülete és nagy számítási kapacitása révén komplex szerkezetek viselkedését is könnyedén elemezhetjük. [40]

A vizsgálat során először a tervezési paramétereket és az igénybevételeket vittem be a programba, figyelembe véve a maximális hajlítónyomatékokat, valamint az ezekhez kapcsolódó egyidejű nyíróerőket. Ezután megadtam a vizsgált keresztmetszetek vasalási paramétereit, beleértve a hosszvasalás elrendezését és a kengyelek spirálkiosztását. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a cölöpök repedésmentes állapotban maradnak, mind a rövidtávú és a hosszútávú állapotban is, ami arra utal, hogy a beton húzófeszültségek felvételére irányuló kapacitása még nem merült ki. Ez annak

köszönhető, hogy az igénybevételek során fellépő húzóerők nem lépték túl a beton húzószilárdságát. A repedések kialakulásának elmaradása kiemelt jelentőségű a cölöpök tartóssága szempontjából.



57. kép IDEA StatiCa eredménye repedéstágasságra.

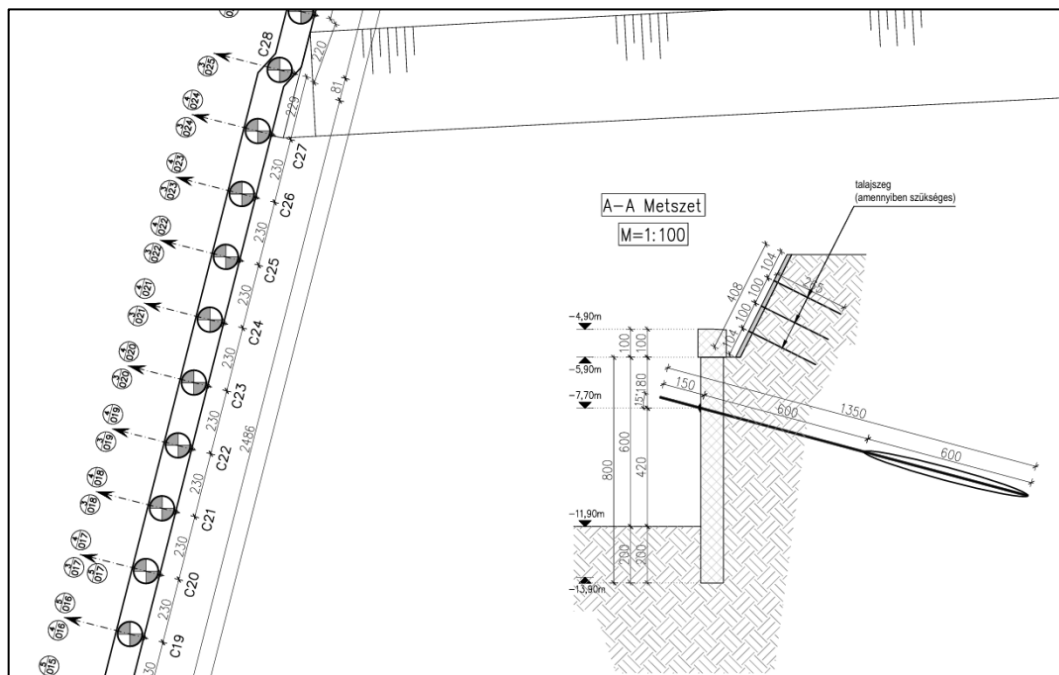
6.20. Elmozdulások várható értéke

A cölöpfal elmozdulása a számítások során mindössze néhány milliméteres mértékben jelentkezett. Ugyanakkor megjegyzendő, hogy a kúszás – vagyis a beton hosszú távú alakváltozása a tartós terhelés hatására – következtében az elmozdulások várható értéke 1-2 cm körül alakulhat. A későbbi vitás helyzetek elkerülése érdekében javasolt a kivitelezési munkák megkezdése előtt részletes, fotódokumentált állag-állapot felmérést készíteni a környező utakról és járdákról. Ez biztosítja, hogy a környezetben esetlegesen bekövetkező változások pontosan nyomon követhetők és dokumentálhatók legyenek.

6.21. Kiviteli tervek elkészítése

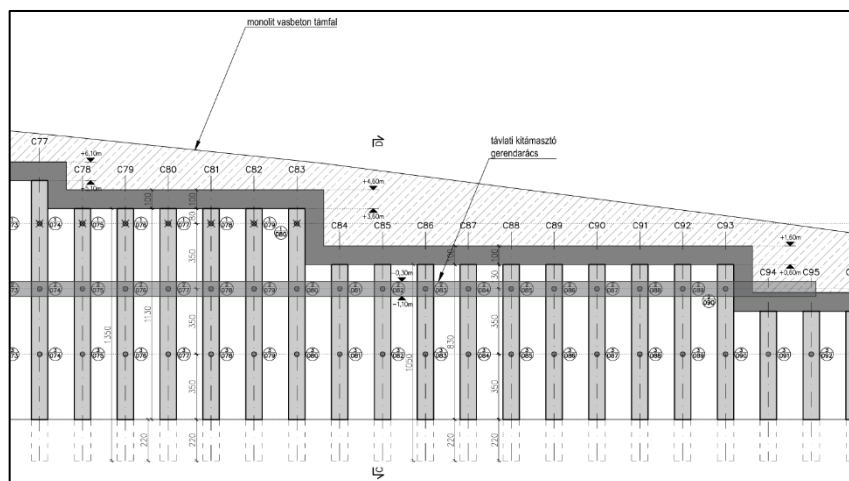
A tervezés zárólépéseként a kiviteli tervek elkészítése következett. A terveket AutoCAD program segítségével készítettem el, amely lehetővé tette a pontos és részletes műszaki rajzok létrehozását. Elsőként a cölöpvezető gerenda részletes tervét rajzoltam meg, amely tartalmazta a hozzá tartozó vasalást is. Ezt követően elkészítettem a cölöp- és

horgonykiosztási tervet. A tervezés kiegészítéseként egy Excel-táblázatot is összeállítottam, amely a cölöpök legfontosabb szintjeit foglalta össze, beleértve a fúrás lavírsíkot, az alapozási síkot, a fűrt hosszakat, valamint a felbetonozási és visszavésési síkokat.



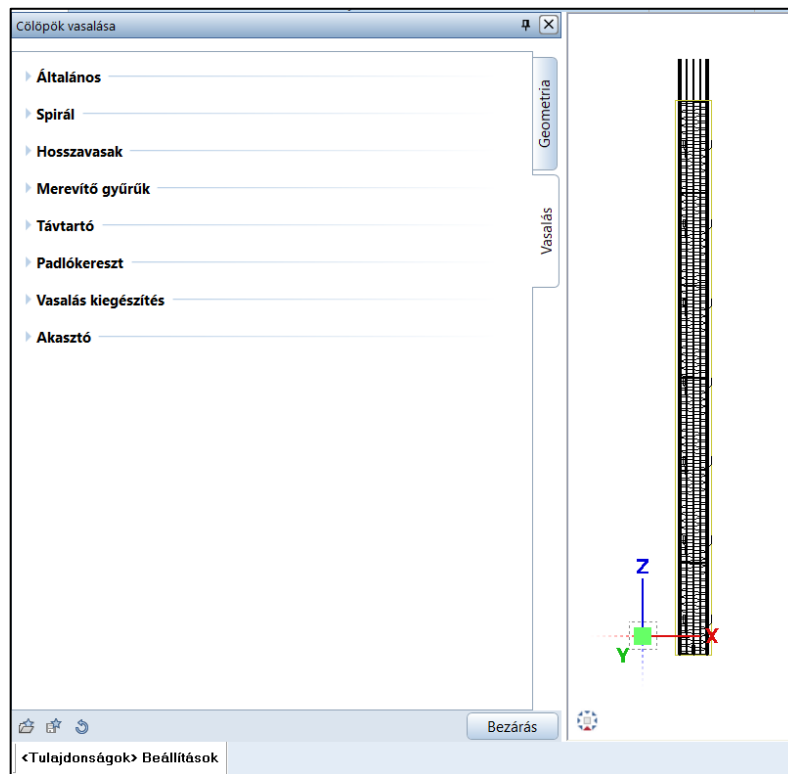
58. kép Részlet a cölöp- és horgonykiosztási tervből.

Ezt követően megrajzoltam a cölöpfal felületének kialakítását. A tervezés kiegészítéseként egy Excel-táblázatot is készítettem, amelyben a horgonyok legfontosabb jellemzőit foglaltam össze. Ez tartalmazta a horgonyzás szintjét, hajlásszögét, a horgonyok pászmaszámát, az injektált és szabad hosszt, a túlnyúlást, valamint az előfeszítési erőket.



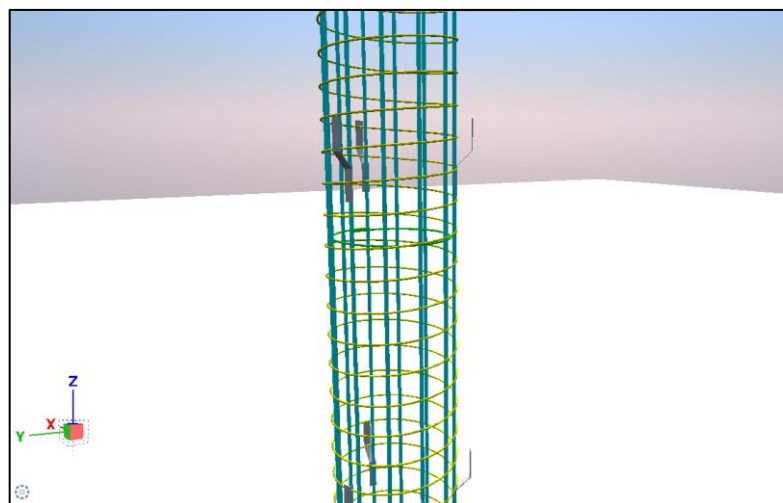
59. kép Részlet a kiterített nézetű cölöpfalból.

Az utolsó tervrajzként a cölöpök vasalásának részletes megrajzolása következett. Eredetileg ezt az Allplan 2024 szoftverben szerettem volna elkészíteni, mivel az idei verzióban már elérhető egy kifejezetten fúrt cölöpök vasalására kifejlesztett modul.



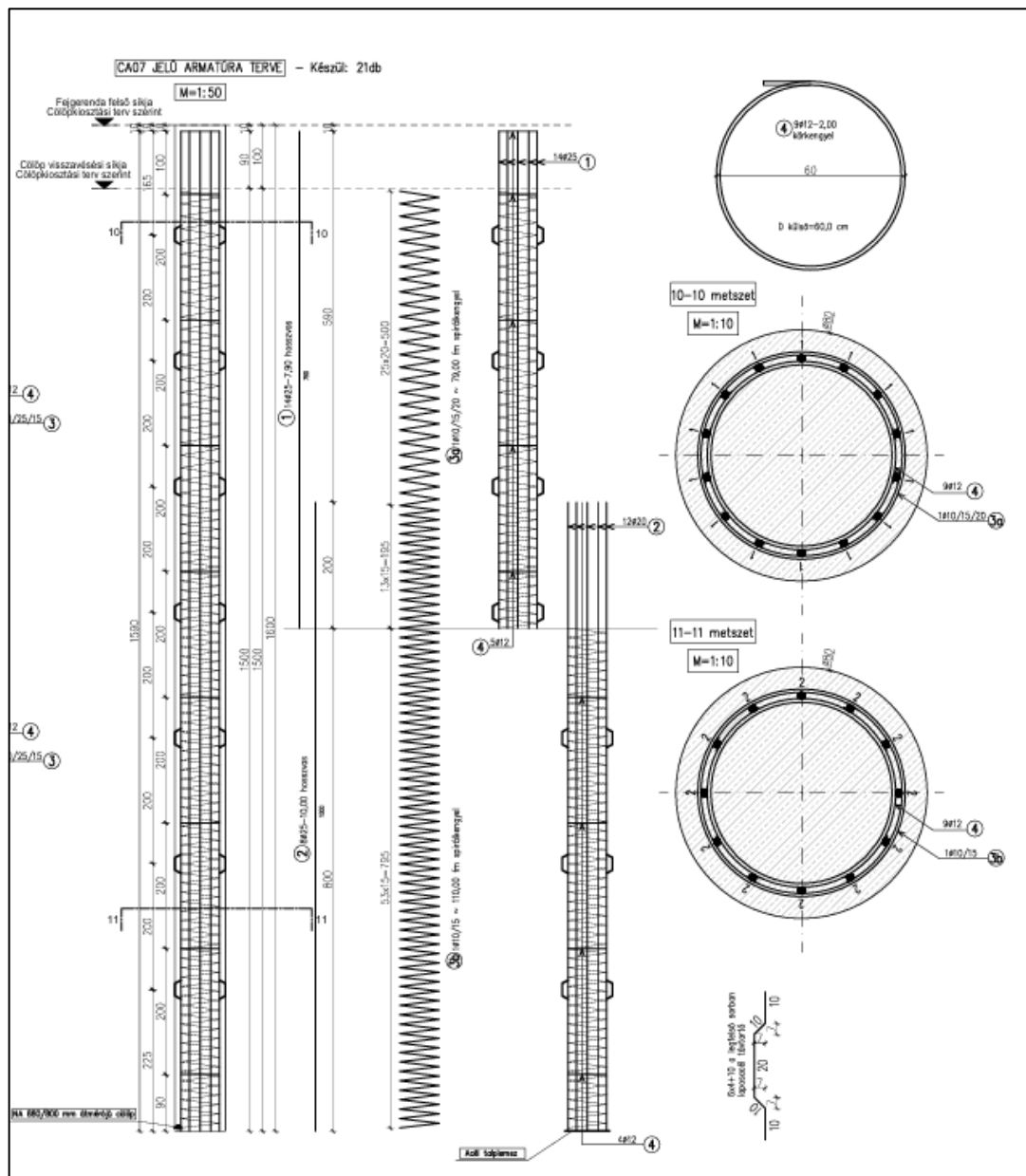
60. kép Allplan fúrt cölöpök vasalás modul.

El is kezdtem dolgozni benne, és a program funkcionalitását kitanulni, sajnos azonban a modul korlátozásai miatt nem volt lehetőség olyan magasságú cölöpök modellezésére, amilyenekre szükségem lett volna.



61. kép Perspektivikus nézet.

Emiatt végül a vasalási rajzokat is AutoCAD programmal készítettem el. A vasalás megtervezése során a GEO5 szoftver igénybevételi eredményeit vettem alapul. A vasalásnál 12 méteres betonacélhosszakkal dolgoztam, ami a szabványos gyártási és szállítási méretekhez igazodik. A 12 métert meghaladó hosszúságú cölöpök esetében az armatúrát két részre osztottam, hogy az elemek könnyebben szállíthatók legyenek. Ezeket a szakaszokat a helyszínen kell majd összeállítani, biztosítva a megfelelő kapcsolatot és folytonosságot az armatúrában.



62. kép AutoCAD- ben rajzolt vasalás.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Szakdolgozatom célja egy horgonyzott, hézagos cölöpfalas munkatérhatároló szerkezet tervezése és méretezése volt, amely Budapest XI. kerületében, az MCC új épületénél valósul meg. A tervezett szerkezet különlegessége, hogy a munkatérhatárolás felső szakasza az épület körüli kerengő végleges támfalaként is funkcionál.

A tervezési munka egyik legnagyobb kihívása a közetkörnyezetbe való alkalmazkodás volt, hiszen hazai viszonylatban kevés szakirodalmi példát találni ilyen környezetben épülő munkatérhatároló szerkezetekről. Ennek áthidalására nemzetközi példákat tanulmányoztam, amelyek igazolták a hasonló megoldások hatékonyságát. A tervezés során arra is fény derült, hogy Magyarországon elérhető olyan szakkivitelező cég, amely külföldről képes beszerezni speciális közetfúró fejeket. Ezek a fejlett technológiák lehetővé teszik a nagy szilárdságú közetekben a cölöpök sikeres kialakítását.

A már ismert programok (GEO5, AutoCAD, Excel) mellett számos új tervezőszoftvert sajátítottam el (Allplan 2024, IDEA StatiCa, Mathcad), amelyek segítségével a projekt komplexitásának megfelelően dolgozhattam. A tervezés keretében öt horgonyzási szintet, valamint nyolc különböző típusú cölöpmatúra tervét készítettem el, hogy azok a terep lejtését a lehető legjobban kövessék. A cölöpfal négy metszetben történt részletes vizsgálata és statikai számításai alapján megállapítható, hogy a tervezett, több sorban horgonyzott, 80 cm átmérőjű hézagos cölöpfalas szerkezet biztonságosan megvalósítható a helyszíni adottságok figyelembevételével. A -2 (-3) szintes pince munkatérhatárolását a horgonyzott, ideiglenes, de bennmaradó cölöpfal biztosítja, amely a munkatér nyitása során megfelelő állékonyságot nyújt és lehetővé teszi a belső szerkezetek biztonságos beépítését.

Összességében a szakdolgozatban bemutatott tervezési munka komplexitása és gyakorlati jelentősége nemcsak a helyi viszonyokhoz való alkalmazkodásban mutatkozott meg, hanem abban is, hogy a tervezési folyamat során számos szakmai és technikai kihívással kellett szembenéznem, amelyeket kitartó munkával és alapos elemzéssel végül sikerült eredményesen megoldanom.

8. SUMMARY

The goal of my thesis was to design and calculate an anchored, contiguous pile wall excavation support structure for the new building of MCC, located in District XI of Budapest. The uniqueness of the proposed structure lies in the fact that the upper section of the excavation support will also serve as the permanent retaining wall for the colonnade surrounding the building.

One of the biggest challenges in the design process was adapting to the rock environment, as there are few examples in Hungarian literature of excavation support structures constructed in such conditions. To bridge this gap, I studied international examples that demonstrated the effectiveness of similar solutions. During the design process, it also became apparent that there are specialized construction companies in Hungary capable of importing advanced rock-drilling heads from abroad. These advanced technologies make it possible to successfully construct piles in high-strength rock formations.

In addition to using familiar software (GEO5, AutoCAD, Excel), I mastered several new design tools (Allplan 2024, IDEA StatiCa, Mathcad), enabling me to handle the complexity of the project. As part of the design process, I developed plans for five anchoring levels and eight different types of pile reinforcement, ensuring that the piles would closely follow the natural slope of the terrain. A detailed analysis and structural calculation of the pile wall were carried out in four cross-sections. Based on these studies, it can be concluded that the proposed 80 cm diameter, multi-row anchored, contiguous pile wall structure can be safely implemented, taking into account the site-specific conditions. The excavation support for the two (or three) basement levels will be ensured by the anchored, temporary but embedded pile wall, which provides adequate stability during the opening of the excavation and allows for the safe installation of the internal structures.

In summary, the complexity and practical significance of the design work presented in this thesis are evident not only in adapting to the local conditions but also in overcoming numerous professional and technical challenges encountered during the design process. These challenges were successfully resolved through persistent effort and thorough analysis.

9. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] dr. Szepesházi, R.: Geotechnika, Egyetemi jegyzet, harmadik, korszerűsített, bővített kiadás, Győr, 2008
- [2] Dr. Farkas, J.: Alapozás, Műegyetemi Kiadó, 1995
- [3] Magyar Mérnöki Kamara Kiadványsorozata 37, Munkatér határoló szerkezetek, Budapest, 2019 https://www.mmk.hu/kamarai-tudastar/14-GEOT-2019_Munkater_hatarolo_szerkezetek.pdf
- [4] Petró, B.: Épületszerkezettan: épületek alapjai, TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., 2007
- [5] Karácsony, A.: Talajhorgonyzási eljárások (előfeszített injektált horgonyok), Építésügyi Tájékoztatási Központ Információs Osztály, Budapest, 1975
- [6] Arbanas, Ž., Grošić, M., Udovič, D., Jagodnik, V.: Optimization of rock mass support systems during deep excavations, Taylor & Francis Group, 2009
<https://www.researchgate.net/publication/258013496>
- [7] Barham J. Nareeman, Asmaa Abdulmajeed Mamhusseini: Design and Construction of Deep Excavations, , Eurasian Journal of Science & Engineering, 2020
<https://www.researchgate.net/publication/367434225>
- [8] António Viana da Fonseca, João Rodrigo Quintela: Modelling the behaviour of a retaining wall in residual soils for a cut and cover construction of a deep station in Metro do Porto, Taylor & Francis Group, 2011
<https://www.researchgate.net/publication/241711645>
- [9] Likar, J., Vukadin, V.: Time-Dependent Back Analysis of a Multianchored Pile Retaining Wall, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2003
<https://www.researchgate.net/publication/245293079>
- [10] Czinder, B., Görög, P., Török, Á.: A Várbazár mögötti mélygarázs területének mérnökgeológiai vizsgálata, munkatérhatárolás számítása, Hantken Kiadó, Budapest, 2013 <https://www.researchgate.net/publication/273945209>

- [11] <https://earth.google.com/>
- [12] GEOSTRATUM 2020 Kft.: Talajvizsgálati/ mérnökgeológiai jelentés és tervezési beszámoló, 2024
- [13] GEOPLAN Mérnökiroda Kft.: Talajvizsgálati jelentés és geotechnikai tervezési beszámoló, 2022
- [14] BME Geotechnikai és Mérnökgeológiai Tanszék: MCC Somlói úti új főépület-tervezés, Hidrogeológiai szakvélemény, 2022
- [15] CMK Engineering, <https://www.cmkengineers.com/>
- [16] Galgóczi Gyula Honlapja, <https://galgoczi.net/>
- [17] New Civil Engineer, <https://www.newcivilengineer.com/>
- [18] Soletanche Bachy, <https://www.soletanche-bachy.com/en/>
- [19] Western Equipment Solutions LLC,
<https://western equipmentsolutions.com/equipment/soilmec/>
- [20] INCYE, <https://www.incy.com/en/>
- [21] Geotech d.o.o., <https://www.geotech.hr/>
- [22] PETIK Mérnöki Szolgáltató Kft., <https://petikkft.hu/>
- [23] Güncel Proje Bilgileri, <https://www.guncelprojebilgileri.com/>
- [24] Várkert Bazar, <https://varkertbazar.hu/>
- [25] NAPUR ARCHITECT Kft., 2023
- [26] <https://www.fentrol.hu/hu/>
- [27] MÁFI 1983-es térképe
- [28] MSZ EN 1998-1 (EUROCODE 8) NEMZETI MELLÉKLET
- [29] MTA GGKI
- [30] GEOSTRATUM 2020 Kft: Geotechnikai feltárások helyszínrajza (cölöpfal), 2024
- [31] GEOSTRATUM 2020 Kft: Rétegszelvény, 2024

- [32] Denkstatt Hungary Kft.: Budapest I., MCC Somlói úti új főépület II-es fázisú környezetvédelmi állapotfelmérése, 2021
- [33] Dr. Bartos, S., Králik, B.: Mélyépítés III. (Alapozás), Kézirat, Tankönyvkiadó, Budapest, 1987
- [34] GeoCentral Company Kft., 2024
- [35] Mahler, A., Nagy, L.: Mély munkagödrök határolása, ISSMGE Magyar Nemzeti Bizottsága, Budapest, 2009
- [36] FORCE PLAN Kft. – BL2 Mérnöki Tervező Kft.: Munkatérhatárolási terv, Műszaki leírás és statikai számítás, 2024
- [37] Magyar Mérnöki Kamara Geotechnikai Tagozata és a Magyar Mérnöki Kamara Tartószerkezeti Tagozata: Alapozások és földmegtámasztó szerkezetek tervezése az MSZ EN 1997 szerint, Budapest, 2012, 4. Fejezet: Horgonyzott részfalszerkezet
- [38] GEO5, <https://www.geosoftware.hu/geotechnical-software/>
- [39] GEO5 program, Súgó
- [40] Idea StatiCa, <https://www.ideastatica.com/>

10. KÉPJEGYZÉK

1. KÉP RÉZSÚS MUNKAGÖDÖR HATÁROLÁS. FORRÁS: [15].....	7
2. KÉP SZÉLES MUNKAGÖDÖR MEGTÁMASZTÁSÁNAK LEHETŐSÉGEI. BELSŐ MEGTÁMASZTÁS (BAL OLDALON), HÁTRAHORGONYZÁS (JOBBI OLDALON). FORRÁS: [2].....	8
3. KÉP SIEMENS (BERLINI) DÚCOLAT FÜGGŐLEGES PALLÓZÁSSAL. FORRÁS: [16]	9
4. KÉP JÁSZOLGÁT. FORRÁS: [17].....	10
5. KÉP SZEGEZETT TALAJFELSZÍN FELÜLETKIALAKÍTÁSAINAK LEHETŐSÉGEI. FORRÁS: [2].....	11
6. KÉP HORGONYZOTT ÉS KITÁMASZTOTT SZÁDFAL (FELÜL), VALAMINT SZÁDFALELEMEK JELLEGZETES KERESZTMETSZETI KIALAKÍTÁSA (ALUL). FORRÁS: [3]	12
7. KÉP ACÉLTAG BEÉPÍTÉSE JET-GROUTING FALBA. FORRÁS: [3].....	13
8. KÉP INJEKTÁLÁSSAL HATÁROLT MUNKAGÖDÖR. FORRÁS: [2]	15
9. KÉP RÉSFAL KIVITELEZÉSÉNEK MUNKAFOLYAMATAI. FORRÁS: [18].....	17
10. KÉP A CÖLÖPFALAK SZERKEZETI TÍPUSAI. FORRÁS: [1]	18
11. KÉP ELŐREGYÁRTOTT, VERT VASBETON CÖLÖP KIALAKÍTÁSA. FORRÁS: [1]	18
12. KÉP CFA CÖLÖPÖZÉS MEGVALÓSÍTÁSA. FORRÁS: [18]	20
13. KÉP DOBFÚRÓVAL FELSZERELT CÖLÖPÖZŐ GÉP. FORRÁS: [19].....	21
14. KÉP ACÉL CSÖTÁMOKKAL MEREVÍTETT, HÉZAGOS CÖLÖPFALAS MUNKATÉRHATÁROLÁS. FORRÁS: [20].....	22
15. KÉP MILÁNÓI MÓDSZER. FORRÁS: [21]	23
16. KÉP IDEIGLENES, PÁSZMÁS, FÚRT, INJEKTÁLT, FESZÍTETT HORGONY. FORRÁS: [1]	24
17. KÉP 5 SORBAN KIHORGONYZOTT HÉZAGOS CÖLÖPFAL – BUDAPEST, BUDAI VÁR – VÁRGARÁZS. FORRÁS: [22].....	25
18. KÉP ANTEPIA PROJEKT LÁTVÁNYTERVE. FORRÁS: [23].....	28
19. KÉP CÖLÖPFALAS MEGTÁMASZTÁSI RENDSZER ÉS A VIZSGÁLT ZÓNA. FORRÁS: [8]	30
20. KÉP A VIZSGÁLT SZAKASZ VÁZLATOS METSZETE ÉS EGY FÉNYKÉP AZ ÁLLOMÁS ÉPÍTÉSE KÖZBENI ÁLLAPOTÁRÓL. FORRÁS: [8]	31
21. KÉP A TROJANE ALAGÚT NYUGATI VÉGÉN LÉVŐ "CUT AND COVER" SZAKASZ IZOMETRIKUS NÉZETE. FORRÁS: [9].....	32
22. KÉP A VÁRKERT BAZÁR KÜLSŐ KÉPE. FORRÁS: [24]	34
23. KÉP A TERVEZETT MEGTÁMASZTÓ SZERKEZET. FORRÁS: [10].....	35
24. KÉP AZ MCC KÉT ÉPÜLETE BONTÁS ELŐTT. FORRÁS: [11]	37
25. KÉP A TERVEZETT ÉPÜLET HELYSZÍNRAJZA, PIROS VONALLAL JELÖLVE A MUNKATÉRHATÁROLÁSI FELADATOT. FORRÁS: [25]	38
26. KÉP A TERÜLET RÉGI LÉGIFELVÉTELE 1969. ÁPRILISÁBÓL. FORRÁS: [26]	39

27. KÉP A GELLÉRT-HEGY TÉRSÉGÉNEK FÖLDTANI VISZONYAI FEDETT FÖLDTANI TÉRKÉPEN (A VIZSGÁLT TERÜLET HELYÉT SZAGGATOTT VÖRÖS ELLIPSZIS JELZI). JELKULCS 12: KÖZETTÖRMELEKES KAVICSOS AGYAG (NEGYEDIDŐSZAK - ÓHOLOCÉN); 14: KÖZETLISZT, AGYAG, HOMOK (NEGYEDIDŐSZAK - ÓHOLOCÉN); 16: KÖZETTÖRMELEKES KAVICSOS HOMOK (NEGYEDIDŐSZAK - ÓHOLOCÉN/FELSŐ PLEISZTOCÉN); 52: KISCELLI AGYAG FORMÁCIÓ (OLIGOCÉN); 55: BUDAI MÁRGA FORMÁCIÓ (EOCÉN), 56: TÖRÉSEK MENTÉN ÁTKOVÁSODOTT BUDAI MÁRGA (EOCÉN); 59: HOMOKOS MÉSZE, KONGLOMERÁTUM, BRECCSA (EOCÉN) 61: FÖDOLOMIT FORMÁCIÓ (TRIÁSZ). FORRÁS: [27].....	40
28. KÉP FORRÁSVÍZI MÉSZE KIBUKKANÁSA AZ MCC- TŐL PÁR MÉTERRE. FORRÁS: [14]	41
29. KÉP SZEIZMIKUS ZÓNATÉRKÉP. FORRÁS: [28]	42
30. KÉP A TALAJOK SZEIZMIKUS OSZTÁLYOZÁSI TÉRKÉPE BUDAPESTEN. FORRÁS: [29]	42
31. KÉP GEOTECHNIKAI FELTÁRÁSOK HELYSZÍNRAJZA. FORRÁS: [30]	44
32. KÉP A KÉSZÜLT FELTÁRÁSOK ADATAI (KORÁBBI FÚRÁSOK FEHÉR, ÚJ FÚRÁSOK SZÜRKE HÁTTÉRREL). FORRÁS: [12]	45
33. KÉP F1 JELŰ FÚRÁS (WIRTH-B1-A TÍPUSÚ FÚRÓBERENDEZÉssel). FORRÁS:[13]	46
34. KÉP A VIZSGÁLT TERÜLET RÉTEGSZELVÉNYE. FORRÁS: [31]	48
35. KÉP DRÓNFOTÓ A KIALAKÍTOTT MUNKAPLATFORMRÓL AZ ÉPÜLETEK ELBONTÁSA UTÁN. FORRÁS: [34]	52
36. KÉP LÖVELT BETONNAL FEDETT, SZEGEZETT TALAJTÁMFAL ÉS A CÖLÖPVEZETŐ GERENDA. FORRÁS: SAJÁT FÉNYKÉP	53
37. KÉP KÜLÖNBÖZŐ KÖZETFÚRÓ FEJEK. FORRÁS: SAJÁT FÉNYKÉP	54
38. KÉP MARÓFOGAS DOBFÚRÓ FEJ. FORRÁS: SAJÁT FÉNYKÉP	55
39. KÉP BAUER BG 30-AS FORGÓ FÚRÓBERENDEZÉSES CÖLÖPÖZŐ GÉP. FORRÁS: SAJÁT FÉNYKÉP	56
40. KÉP CÖLÖPMATÚRÁK (BAL OLDALON AZ ACÉL TALPLEMEZ LÁTHATÓ). FORRÁS: SAJÁT FÉNYKÉP	57
41. KÉP BETONOZÁSI ELŐKÉSZÜLETEK. FORRÁS: SAJÁT FÉNYKÉP	57
42. KÉP TALAJADATOK BEVITELE A PROGRAMBA.	64
43. KÉP CÖLÖP PARAMÉTEREINEK MEGHATÁROZÁSA.	65
44. KÉP A RÉZSŰK CSÚSZÓLAPJAI. BAL OLDALON A MÁRGÁS, JOBB OLDALON DOLOMITOS HELYEN.	65
45. KÉP A KIHASZNÁLTSÁG A MÁRGÁNÁL 2 DB TALAJSZEGGEL 34,5%- RA ADÓDOTT, A DOLOMITNÁL 1DB SZEGGEL 50,6% LETT (A KÉPEN AZ UTÓBBI LÁTHATÓ).	66
46. KÉP 24 kN/m ² NAGYSÁGÚ, ESETLEGES TEHER A RÉZSŰ TETEJÉN.....	66

47. KÉP TELJES MÉLYSÉGŰ FÖLDKIEMELÉS, 3 SOR TALAJHORGONNYAL.....	67
48. KÉP FÖLDVISSZATÖLTÉS AZ ALSÓ HORGONYZÁSI MUNKASZINTIG.....	68
49. KÉP TÁMASZ MODELLEZÉSE A PROGRAMBAN.	69
50. KÉP METSZET ÉPÜLETRŐL. PIROS SZÍNNEL JELÖLVE A CÖLÖPÖT, KÉK SZÍNNEL A KITÁMASZTÓ GERENDARÁCSOT ÉS ZÖLDDEL A TÁMFALAT A CÖLÖP TETEJÉN. FORRÁS: [25]	70
51. KÉP AZ ALKALMAZOTT NYOMATÉK ÉS KONCENTRÁLT ERŐ BEVITELE A PROGRAMBA.....	71
52. KÉP FÖLDRENGÉSI TERHEK FELVÉTELE.....	71
53. KÉP KÜLSŐ STABILITÁS VIZSGÁLAT A B-B METSZETBEN.	72
54. KÉP BELSŐ STABILITÁS VIZSGÁLATA.	73
55. KÉP HORGONYOK ELLENŐRZÉSE.....	74
56. KÉP VASALÁS ELLENŐRZÉSE.....	75
57. KÉP IDEA STATICA EREDMÉNYE REPEDÉSTÁGASSÁGRA.	76
58. KÉP RÉSZLET A CÖLÖP- ÉS HORGONYKIOSZTÁSI TERVBŐL.	77
59. KÉP RÉSZLET A KITERÍTETT NÉZETŰ CÖLÖPFALBÓL.....	77
60. KÉP ALLPLAN FÚRT CÖLÖPÖK VASALÁS MODUL.	78
61. KÉP PERSPEKTIVIKUS NÉZET.	78
62. KÉP AUTOCAD- BEN RAJZOLT VASALÁS.....	79

11. MELLÉKLETEK

Fúrások dokumentációja:

- Fúrásleírások
- Magfúrások fotódokumentációja

GEO5 metszetek számítási dokumentációja:

- Számítási dokumentáció A-A metszet
- Számítási dokumentáció B-B metszet
- Számítási dokumentáció C-C metszet
- Számítási dokumentáció D-D metszet

GEO5 metszetek külső stabilitás vizsgálata:

- Dokumentum A-A metszet külső stabilitás vizsgálata
- Dokumentum B-B metszet külső stabilitás vizsgálata
- Dokumentum C-C metszet külső stabilitás vizsgálata
- Dokumentum D-D metszet külső stabilitás vizsgálata

PTC Mathcad számítások:

- Statikai számítás nyugalmi földnyomásból származó nyomatékok meghatározásához
- Statikai számítás a támfal súlyából eredő terhek számításához
- Földrengési terhek meghatározása

Repedéstágasságok dokumentációja:

- A-A metszet repedéstágasság
- B-B metszet repedéstágasság
- C-C metszet repedéstágasság
- D-D metszet repedéstágasság

Tervrajzi mellékletek:

- S01-Cölöpözési lavírsík, cölöpvezető gerenda terve
- S02-Cölöp- és horgonykiosztási terv
- S03-Cölöpfal felületének kialakítása
- S04-Cölöpök vasalásának részletterve