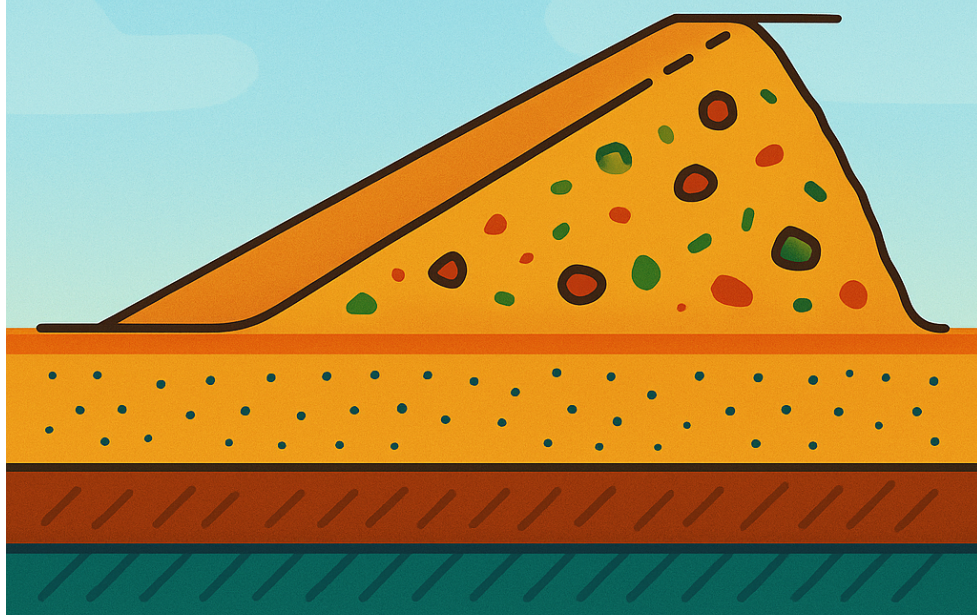


**SZELEKTÍV
NONPROFIT KFT.
HATVAN
HULLADÉKLERAKÓ
MAGASÍTÁS**



GEOTECHNIKAI VIZSGÁLAT

Szelektív NKft.

Hatvan, hulladéklerakó magasítás

Geotechnikai tervfejezet

Munkaszám: GEON-3ÍÍ5/2025

2025. november

Készítette:



Dr. Szabó Attila
okl. környezetmérnök
c. egyetemi docens
okl. közgazdász
ügyvezető



Jelen dokumentumot szerzői jogok védik. A dokumentumban szereplő tartalom, adat közlése, másolása, idézése, felhasználása kizárólag a szerző írásbeli engedélye alapján történhet meg.

A tervet készítette:

Név: GEON system Kft.

Székhely: 3519 Miskolc, Görömbölyi út 39/A.

Tel.: 06-1-700-4001

06-46-200-120

e-mail: info@geonsystem.hu

A dokumentációt összeállító szakértők:

Dr. Szabó Attila, okl. környezetmérnök, c. egyetemi docens, ügyvezető

Mérnök kamarai nyilvántartási szám: 05-1399



1. Bevezetés

Mivel a jelen IPPC-engedély módosításának tárgya a hulladéklerakó végleges geometriai kialakítása, ezen belül a lerakótest magasságának meghatározása, továbbá a teljes befogadókapacitás felülvizsgálata, az ezekkel összefüggő releváns műszaki hatásokat jelen önálló dokumentációban mutatjuk be.

Fontos kiemelni, hogy a módosítással érintett hatások túlnyomó része nem elsődlegesen környezetvédelmi, hanem elsősorban geotechnikai és állékonysági kérdéskörhöz kapcsolódik. A geotechnikai megfelelés vizsgálatának fő célja annak igazolása, hogy a tervezett geometriai módosítások mellett a lerakó testének stabilitása hosszú távon is biztosított.

A geotechnikai értékelés során különös figyelmet érdemel:

- a rézsúállékonyság elemzése különböző terhelési és időbeli állapotokra,
- a lerakótest és az altalaj várható konszolidációja és süllyedése,
- a beépített rétegrend és anyagminőség alkalmasságának igazolása,
- a belső és külső eróziós folyamatok kockázatának elemzése,
- a szivárgó- és csurgalékvizek elvezetését biztosító rendszer stabilitása és működőképessége.

E geotechnikai tényezők nem megfelelő teljesülése esetén merülhet fel olyan kockázat, amely környezetvédelmi szempontból is releváns, például a szigetelőrendszer károsodása, többlet csurgalékvíz-képződés, vagy a rézsúmozgásból eredő esetleges szennyezőanyag-terjedés. A vizsgálatok alapján azonban, amennyiben a fenti paraméterek igazoltan megfelelőek, és a tervezett kialakítás stabilitási és süllyedési szempontból elfogadható, a változtatások nem eredményezik többlet környezetvédelmi hatás fellépését. Így a korábbi engedélyezési állapothoz képest nem szükséges eltérő környezetvédelmi beavatkozás vagy kiegészítő kezelési intézkedés.

Összefoglalás

A hulladéklerakó magasságát és kapacitását érintő módosítások elsősorban geotechnikai jellegűek. A stabilitási, süllyedési és anyagminőségi vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy megfelelő kialakítás mellett a lerakó szerkezeti biztonsága biztosított, és nem valószínűsíthető olyan többlet környezetvédelmi hatás, amely a korábbi engedélytől eltérő beavatkozást indokolna. A módosítás tehát környezetvédelmi



szempontból elfogadható, feltéve, hogy a dokumentációban bemutatott geotechnikai megfelelés igazolható.

2. A tervezett vizsgálatok metodikája

A tervezett geotechnikai vizsgálatokat a kockázati prioritás szempontjai alapján három fő vizsgálati csoportra osztottuk:

1. Rézsűállékonysági vizsgálat

A vizsgálat célja annak meghatározása, hogy a végleges kialakítású lerakótest és a rézsűk – a tervezett rézsűhajlások, valamint a hulladéktestet lefedő rekultivációs rétegrend kialakításának figyelembevételével – hosszú távon stabilnak tekinthetők-e. A stabilitás vizsgálata során a különböző terhelési és üzemállapotok (üzemelés, lezárást követő hosszú távú állapot) figyelembevételével értékeljük az állékonysági tényezőket, illetve a potenciális csúszólapok mentén kialakuló biztonsági tényezőket.

2. Süllyedésvizsgálat

Ebben a vizsgálati körben azt elemezzük, hogy a lerakótestből – tömegéből, időbeli konszolidációjából és bomlási folyamataiból – származó terhelés milyen mértékű összenyomódást eredményez:

- egyrészt az aljzatszigetelő rétegrendben,
- másrészt az altalajban.

A vizsgálat célja annak meghatározása, hogy a várható süllyedések mértéke károsodást okozhat-e mind az altalajban, mind pedig a szigetelőrendszerben.

3. A süllyedések hatása a védelmi rendszerekre

A harmadik vizsgálati csoport az előző ponttal szoros összefüggésben azt értékeli, hogy a lerakótest és az altalaj konszolidációja következtében fellépő jelentenek-e bármilyen kockázatot a lerakó műszaki védelmi elemeire.

A vizsgálat kiemelten foglalkozik:



- o a mesterséges szigetelőrétegek épségével és tartósságával,
- o a csurgalékvíz-elvezető rendszer (elsősorban drénrétegek, gyűjtővezetékek,) működőképességének fenntarthatóságával,
- o a potenciális alakváltozások hidraulikai hatásaival (pl. csurgalékvízáramlási útvonalak, pangó csurgalékvizek megjelenése).

A cél annak igazolása, hogy a tervezett geometriák és anyagjellemzők mellett a műszaki védelmi elemek rendeltetésszerű működése hosszú távon biztosítható, és a süllyedésekből származó kockázatok a megengedhető határértékek alatt maradnak.

A vizsgálatok során a fent ismertetett metodikai sorrendet követtük, és a későbbiekben eredményeinket is ebben a logikai felépítésben mutatjuk be. A sorrendiség betartása kiemelten fontos volt, mivel bármely részvizsgálat nem megfelelése értelemszerűen a következő vizsgálati pont eredményeit is kedvezőtlenül befolyásolhatja, vagy azt eleve kizárhatja.

Másképp fogalmazva:

- amennyiben a rézsúállékonysági vizsgálat eredménye nem megfelelő, → a süllyedésvizsgálat kedvező eredménye sem garantálja a stabil működést;
- továbbá, ha a süllyedésvizsgálat nem megfelelő, → nem biztosítható a műszaki védelmi elemek – így különösen a szigetelőréteg és a csurgalékvíz-elvezető rendszer – károsodásmentes és hosszú távú működése.

Ennek megfelelően mindhárom vizsgálati területnek önállóan és összefüggéseiben is igazoltan megfelelőnek kell lennie ahhoz, hogy kijelenthető legyen:

- a hulladéklerakó a tervezett végső kialakítással és geometriai paraméterekkel biztonságosan üzemeltethető, valamint
- a rekultivációt követő hosszú távú állapot geotechnikai szempontból nem jelent többletkockázatot.

A vizsgálati eredmények összessége alapján tehát csak akkor állapítható meg a lerakó műszaki alkalmassága és hosszú távú stabilitása, ha mindhárom vizsgálati metodika egyértelműen igazolja a megfelelő állapotot; ennek hiányában a további kiépítés, illetve üzemeltetés nem tekinthető kockázatmentesnek.

A vizsgálatok elvégzése során a hazai gyakorlatban széles körben alkalmazott, több évtizedes tapasztalatunkkal alátámasztott metodikát és eljárásrendet követtük. A bemenő adatok meghatározása szakirodalmi források, vonatkozó szabványok, valamint



korábbi gyakorlati eredményeink alapján történt; szükség esetén ezen adatokat a helyi adottságok és tapasztalatok figyelembevételével korrigáltuk.

A számításokat jogtiszta használt, geotechnikai tervezésre alkalmas szoftverekkel végeztük. Ezek a programok több hazai hulladéklerakó rézsűállékonysági és süllyedési vizsgálata során is bizonyították alkalmazhatóságukat és megbízhatóságukat, így jelen műszaki értékelés során is alkalmasak voltak a szükséges modellezési és számítási feladatok elvégzésére.

3. A hulladéklerakó végleges kialakítása és szabad kapacitásának bemutatása

A korábbi IPPC-felülvizsgálat során már bemutatásra került egy olyan tervezett végleges geometriai kialakítás, amely azonban sem a gyakorlatban, sem a korábbi IPPC-engedélyben nem került alkalmazásra. A korábbi terv egy több lépcsőben kiépített, meredekebb rézsűkkel rendelkező, jelentősen nagyobb magasságú hulladéklerakó létesítését irányozta elő.

Ezt a kialakítást a megrendelő végül elvetette, tekintettel arra, hogy a hulladéklerakó viszonylag kis alapterülete miatt a tervezett geometriánál a felső szinteken a gáttest térfogata, költsége messze magasabb lett volna a ténylegesen lerakható hulladék mennyiségéből származó bevételtől.

További szempont volt, hogy a tervezett magas kialakítás üzemeltetési szempontból rendkívül kedvezőtlen lett volna: a lerakó test művelhetősége nehezzé vált volna, valamint a lerakó formája inkább piramis-jellegű geometriai kialakítást eredményezett volna, amely tájba illesztése is jelentős vizuális terhelést jelentene, így nem tekinthető kedvező megoldásnak.

Fontos megjegyezni azt is, hogy a hulladéklerakó hosszú távú működésének biztosítása valójában csak egy új lerakóütem kiépítésével oldható meg. A jelen módosítás során alkalmazott műszaki megoldások – bár korlátozott mértékben növelik a befogadóképességet – legfeljebb néhány évre képesek biztosítani a hulladék ártalmatlanításának folyamatosságát a létesítményben, így hosszú távú kapacitásbővítési megoldásnak nem tekinthetők.

Az előzőekben ismertetett megfontolások alapján új kialakítási koncepció kidolgozására volt szükség. Ennek megfelelően a hulladéklerakó a következők szerint kerül kialakításra.



A hulladéklerakó maximális feltölthetőségi szintje **142,0 m Bf**, amely a jelenlegi terepszinthez viszonyítva átlagosan ~14 m magasságú hulladéktestet jelent.

A tervezett kialakítás során a hulladéklerakó oldalain **nem épül támasztó- vagy szorítótöltés**, ezért a rézsűk a korábbi tervekhez képest **laposabb geometriával kerülnek** kialakításra. A tervezett rézsűhajlás **1:3 (V:H)**, amely stabilitási szempontból kedvezőbb, valamint a rekultivációs rétegtrend kialakítását és a későbbi fenntartási munkákat is könnyebbé teszi. A tervezett kialakítást mutatják be a **mellékletben** csatolt ábrák, helyszínrajzok.

A hulladéklerakó e geometriai paraméterek szerinti végleges kialakítása esetén a lerakó teljes befogadóképessége **237 625 m³**, amelyet célszerű **~240 000 m³**-re kerekítve kezelni.

Megjegyezzük, hogy a **támasztó- vagy szorítótöltés nélkül épített hulladéklerakók nem számítanak egyedi kialakításnak**. Ilyen módon üzemel jelenleg is a **Pusztazámori Regionális Hulladéklerakó**, amely Magyarország **messze legnagyobb és legmagasabb hulladéklerakója**.

Megemlítjük, hogy a **Pusztazámori Hulladéklerakó állékonyságvizsgálatát is ugyanezen metodika alapján végeztük el az idei év első felében**.

Továbbiakban bemutatjuk az így kialakított hulladéklerakóra vonatkozó számításainkat, valamint **igazolásunkat arra vonatkozóan, hogy a tervezett kialakítás megfelelő**.

A számítások a rendezett, szabályosan épített lerakótest esetén érvényesek, továbbá kihangsúlyozzuk, hogy jelen vizsgálat modellszámításon alapszik, amelyhez a méretezéshez szükséges hulladékfizikai paramétereket korábbi, általunk széleskörűen feldolgozott nemzetközi vizsgálatok eredményeinek felhasználásával vettük figyelembe. Ezzel a módszerrel elérhető, hogy a rendkívül inhomogén összetételű hulladékokra jellemző, széles sávban lehetséges, de reális fizikai paramétereket figyelembe tudjuk venni.

A számítások elvégzése során azt feltételeztük, hogy a hulladéklerakó tökéletes állapotban van, a lerakó a 20/2006. (IV. 5) KvVM rendeletnek megfelelő, annak előírásait minden szempontból betartva került üzemeltetésbe, továbbá a hulladéktestben csurgalékvíz, csurgalékvíz lencsék, feldúsulások nem találhatók, továbbá a hulladéktestben a depóniagáz gyűjtése az előírásoknak megfelelően



megoldott. Mind a csurgalékvíz-, mind a depóniagáz gyűjtés nem megfelelő volta az állékonyságot jelentős mértékben (negatív irányban) befolyásolja.

Az állékonyságvizsgálat elméleti és gyakorlati háttérére vonatkozó szakirodalmat jelen dokumentációban nem szerepeltetjük. A számítások elméleti háttére megtalálható Szabó A. – Szabó I.: *Hulladéklerakók rekultivációja és utógondozása (2012)*, valamint Szabó I. és K. Tóth A. *Környezetvédelmi Geotechnika (2019)* című könyvben.

A könyvek a www.geonsystem.hu honlapról letölthetőek.

4. Alapadatok

Az alapadatok meghatározása során az alábbiakat vettük figyelembe:

A hulladéklerakó kialakításának és építésének tervei rendelkezésünkre állnak, így annak **3D-s modelljét elkészítettük.**

Elkészült továbbá a **hulladéktest magasításának modellje is 142 m Bf szintig, 1:3 rézsűmeredekség mellett.**

Ezt követően meghatároztuk azt a **legkritikusabb rézsűszakaszt**, amelyre az állékonyságvizsgálatot el kellett végezni.

Ezt a keresztmetszetet alkalmaztuk az állékonyságvizsgálati szoftverben.

Ennek oka az a feltételezésünk, hogy amennyiben a **legkritikusabb keresztmetszet esetében az állékonyság megfelelő**, akkor a többi, kevésbé kritikus, **alacsonyabb rézsűszakasz esetében sem várható probléma.**

5. Egy depóniatest állékonyságvizsgálatának elméleti és gyakorlati háttére

A depóniatest állékonyságvizsgálatánál a geotechnikai gyakorlatban általánosan alkalmazott, bevált módszerek (BISHOP, JANBU) használhatók, az elsődleges probléma a méretezésnél használt nyírószilárdsági paraméterek minél pontosabb meghatározása,



ugyanis a depóniatest állékonyságvizsgálatánál elsősorban a lerakott hulladék fizikai paramétereire, elsősorban **a nyírószilárdsági paraméterekre** valamint **a hulladék térfogatsűrűség** értékére van szükségünk.

Az állékonyságvizsgálatokhoz ismernünk kell a lerakott hulladék alábbi paramétereit:

- térfogatsűrűség;
- kohézió;
- belső súrlódási szög.

A számításaink során a fenti paramétereket a nemzetközi gyakorlatban általánosan alkalmazott és elfogadott értékek alapján vettük figyelembe.

Az állékonyságvizsgálathoz a GEO5 programcsomag részét képező Rézsűállékonyság 2025 programot használtuk.

A számításhoz először megalkottuk a lerakó 3D modelljét AutoCAD Civil 3D-ben, a tervezettmetszetek felhasználásával.

Az alapforma felépítésén túl megrajzoltunk különböző hulladékrétegeket a hulladéktesten.

A művelt hulladéktesten az egyes hulladékrétegek vastagságát 2 m-nek vettük, amelyek között 0,2 m vastagságú takaróréteg helyezkedik el.

A tervezett hulladéktesten 2 méteres hulladékvastagságot számoltunk, szintén 0,2 m vastagágú takaróréteggel.

Minden így felvett réteget vízszintesnek vettünk.

Az elkészített tervet vittük át a GEO5 programba, ahol hulladék-fizikai paramétereket rendeltünk a különböző rétegeket alkotó anyagokhoz.



Az alkalmazott modellalkotási eljárás sarokpontjai a következő alapelvek:

1. *Feltételezzük, hogy a kommunális hulladékok lerakójában a különböző összetételű, tulajdonságú hulladékok elhelyezkedése véletlenszerű.*
2. *A feltételezés alapján felépíthető egy adott geometriával rendelkező lerakó modellje, tetszőlegesen választott rétegszámmal figyelembe véve az aljzat- a zárószigetelést, és az ideiglenes napi takarást.*
3. *A rendeletileg szabályozott szigetelőrétegek nyírószilárdsági paraméterei lényegesen nem térnek el az egyes lerakóknál, tehát egy adott méretezés során ezek a rétegek akár előre meghatározott, konkrét, állandó paraméterekkel vehetők figyelembe.*
4. *A hulladék véletlenszerűen változó nyírószilárdsági paramétereit úgy vesszük figyelembe, hogy a felállított modellben az egyes rétegeknek a nemzetközi irodalomból feldolgozott $c-\phi$ diagramból véletlenszerűen választott, de azonos előfordulási valószínűséggel rendelkező nyírószilárdság értéket adunk, és az állékonyság-vizsgálatot rétegenként mindig új-új és mindig véletlenszerűen választott értékpárral sokszor megismételjük.*
5. *A számítás végeredményeként megkapjuk a biztonsági tényezőre vonatkozó modellezett adatokat (adathalmazt), amelyből következtetni lehet a tervezett létesítmény állékonyságára, illetve a vizsgált scénáriók alapján a rézsű tönkremenetelének esetleges lehetőségére, valószínűségére.*

A felsorolt öt pont közül a 4. pontbeliek alkalmazása döntő jelentőséggel bír a várható biztonsági tényező végső értékére, mert itt történik a hulladék nyírószilárdsági paraméterének figyelembevétele eloszlásfüggvények alapján valamely szimulációs módszerrel (Monte Carlo, Latin Hypercube) rétegenként véletlenszerűen választott-, vagy a teljes $c-\phi$ értéktartományt jól reprezentáló, azonos valószínűséggel előforduló értékpárokkal. A rétegenként véletlenszerűen választott értékpárokkal többször megismételve megkapjuk a várható biztonsági tényező eloszlásfüggvényét, amiből az előfordulási valószínűséghez tartozó biztonsági tényező meghatározható.

(A számítások teljes elméleti háttere megtalálható Szabó A. – Szabó I.: *Hulladéklerakók rekultivációja és utógondozása (2012)* valamint Szabó I. és K. Tóth A. *Környezetvédelmi Geotechnika (2019)* című könyvben.)



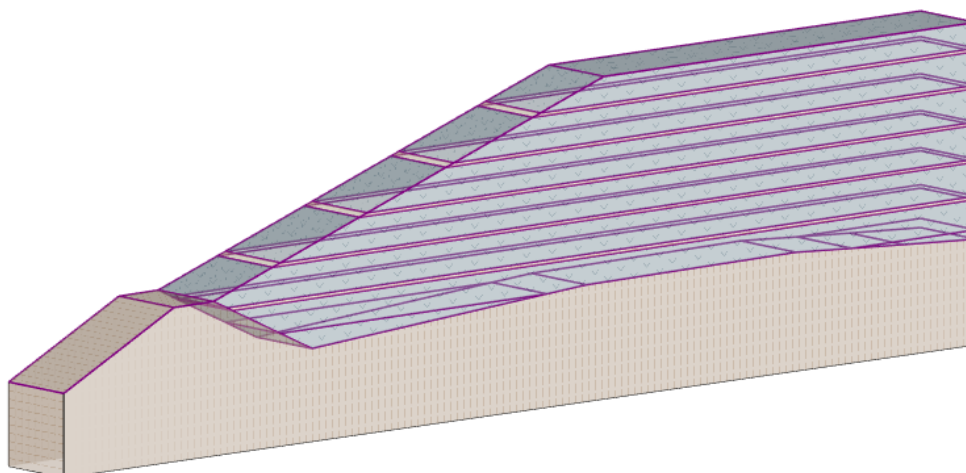
6. Állékonyságvizsgálat

A rézsúállékonyság vizsgálatánál a vizsgált szelvény esetében **több hulladék réteget, közöttük köztes takaróréteget** vettünk figyelembe a következő kőzet- és hulladékfizikai paraméter értékekkel:

Réteg	Térfogatsúly, γ [kN/m ³]	Kohézió, c [kPa]	Belső súrlódási szög, ϕ [°]
Ideiglenes takarás	18	5 (salak)	20
a) eset: Hulladék MANASSERO alapján	15	20	30
b) eset: Hulladék ÖNORM alapján	15	5	25
c) eset: Hulladék valószínűségi módszerek alapján (Monte Carlo)	*	*	*
Altalaj réteg	20	35	20

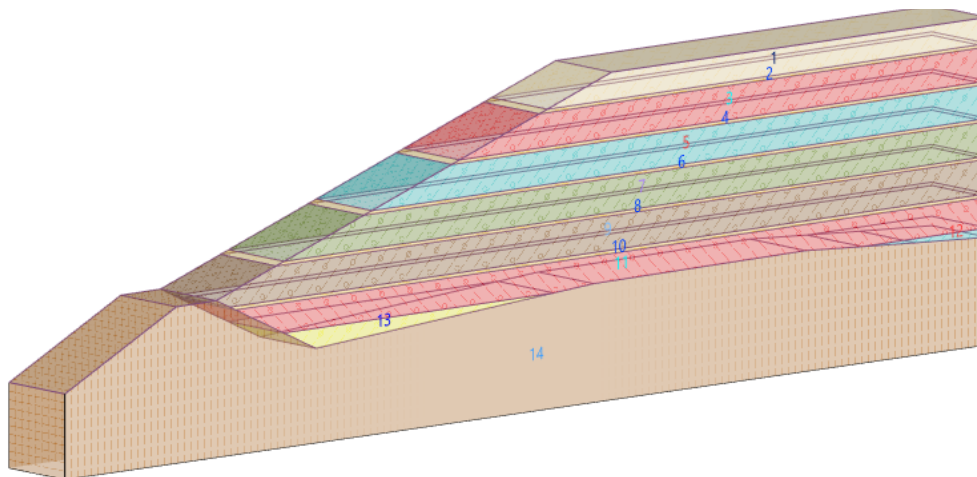
6.1. táblázat

A felépített modellt az **6.1. ábrán** mutatjuk be fix paraméterekre, továbbá az **6.2. ábrán** szemléltetjük változó paraméterekre.



6.1. ábra
Fix paraméterekkel felépített 3D modell (ÖNORM, MANASSERO)





6.2. ábra
Változó paraméterekkel felépített 3D modell (ÖNORM, MANASSERO)

A hulladékrétegek kohézióját és belső súrlódási szögét az alábbi 10 véletlenszerűen választott, azonos valószínűséggel előforduló a nem veszélyes hulladékokra jellemző értékpárokkal adtuk meg (részletesen lásd az idézett könyvekben).

	Belső súrlódási szög ϕ (°)	Kohézió, c (kPa)
1	22	25
2	18	11
3	16	36
4	31	7
5	34	16
6	34	31
7	38	1
8	2	63
9	23	1
10	24	68

6.2 táblázat



1. A biztonsági tényező értékei

2. ÖNORM és Manassero módszerek által javasolt értékek alapján

A szelvényre elvégzett rézsűállékonyság vizsgálatok biztonsági tényezőjének GEO5 programja segítségével határoztuk meg. Az ÖNORM és Manassero által javasolt értékekkel a számított biztonsági tényező értékeket a **6.3. táblázat** tartalmazza.

Szelvény	Módszer	Janbu	Bishop
A	Manassero	1,97	1,97
A	ÖNORM	3,06	3,02

6.3. táblázat

3. Valószínűségi változó alapján számított biztonsági tényező értékek

A két szelvény esetében 20 véletlenszerűen megadott, különböző rétegrendre vizsgáltuk az állékonyságot, a kapott eredmények **minden esetben megfelelő biztonsági tényező értéket** adtak. A véletlenszámok generálását az MS Excel szoftver” =VÉLETLEN.KÖZÖTT(1;10)” függvényével végeztük.



A véletlenszerűen kiválasztott értékpárok listáját a **6.4. táblázat** mutatja be.

Rtg száma	1. Fut	2. Fut	3. Fut	4. Fut	5. Fut	6. Fut	7. Fut	8. Fut	9. Fut	10. Fut	11. Fut	12. Fut	13. Fut	14. Fut	15. Fut	16. Fut	17. Fut	18. Fut	19. Fut	20. Fut
3	3	8	6	8	10	10	5	4	7	8	5	1	4	6	2	1	5	10	5	9
4	4	8	1	6	2	3	7	10	9	6	6	1	4	9	2	2	9	10	8	2
10	10	6	2	10	6	8	3	2	9	2	8	6	5	5	6	3	3	4	9	1
1	1	7	6	5	8	6	5	9	8	9	2	5	6	7	7	1	8	6	10	3
9	9	5	6	7	1	6	9	2	8	2	1	10	10	3	2	8	8	3	6	8
3	3	2	1	5	10	2	1	3	1	10	6	7	10	6	8	3	10	9	1	10
9	9	9	4	4	10	9	4	9	10	2	8	8	6	8	9	8	4	5	1	2
1	1	9	3	1	10	1	1	8	4	1	4	9	10	5	6	2	7	4	8	2

6.4. táblázat

Véletlenszerűen kiválasztott értékpárok
(az értékpárok azonosítója megegyezik a 6.2. táblázat 1. oszlopának számaival)

A rézsűállékonyság vizsgálat eredményeit a **6.5. táblázat** mutatja be.

EREDMÉNYEK	FsBishop	FsJanbu
V1	2,21	2,21
V2	2,37	2,38
V3	3,09	3,07
V4	3,14	3,12
V5	3,17	3,16
V6	2,49	2,51
V7	2,66	2,68
V8	2,21	2,22
V9	2,68	2,68
V10	3,09	3,06
V11	2,84	2,83
V12	3,09	3,09
V13	2,86	2,81
V14	2,36	2,37
V15	3,12	3,1
V16	2,58	2,6
V17	2,38	2,39
V18	2,89	2,89
V19	3,27	3,25
V20	3,05	3,04

6.5. táblázat

„A” szelvény véletlenszerűen kiválasztott értékpár állékonyságvizsgálati eredményei

A modellezett 20+2 eset minden esetben állékonynak mutatta a tervezett létesítményt.



Tekintettel arra, hogy a két módszer nagyon hasonló eredményeket adott, ezért a Bishop módszert fejtjük ki bővebben.

1) Alapstatisztikai mutatók értelmezése

Mutató	Érték
Mintanagyság	20
Átlag (Mean)	2.78
Medián (Median)	2.85
Szórás (Std Dev)	0.35
Minimum	2.21
Maximum	3.27
Alsó kvartilis (Q1)	2.46
Felső kvartilis (Q3)	3.09

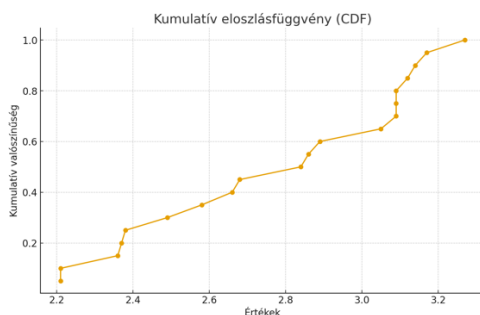
Értékelés

A biztonsági tényezők átlaga **~2.78**, ami stabil állapotot jelez. A medián kissé magasabb (**~2.85**), mint az átlag, ami arra utal, hogy az adatok enyhén aszimmetrikusak (kissé jobbra húznak), vagyis több érték esik magasabb tartományba.

A szórás **0.35**, ami viszonylag kis szórást jelez: a számított biztonsági tényezők többsége közel helyezkedik el az átlag környezetéhez.

A minimum (**2.21**) és maximum (**3.27**) értékek alapján a biztonsági tényezők tartománya mérsékelt, szélsőértéknek tekinthető pont nincs — egyik érték sem lóg ki drasztikusan.

2) Kumulatív eloszlás (CDF) értelmezése



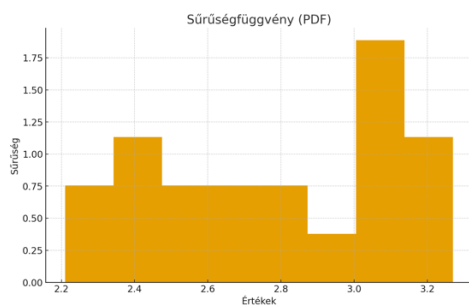
A CDF görbe azt mutatja, hogy a biztonsági tényezők adott érték alatti hányada hogyan oszlik meg.

Megfigyelések:

- A legalacsonyabb értékek (**~2.2–2.4**) a minták kb. **10–25%-át** teszik ki.
- A minták fele **~2.85** alatt található → ez egybeesik a mediánnal.



- Az értékek kb. **75%-a 3.1 alatt** található.
 - A görbe a felső tartományban meredekebb, ami azt jelzi, hogy a
- 3) Sűrűségfüggvény (PDF) értelmezése**

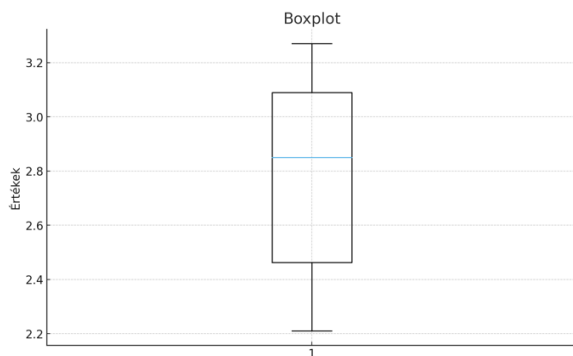


biztonsági tényezők jelentős része a **2.9–3.2** tartományban koncentrálódik.

A PDF hisztogram alapján:

- A leggyakrabban előforduló értékek **2.8–3.2** között helyezkednek el.
- A 2.2–2.4 közötti biztonsági tényezők ritkábban fordulnak elő, de jelen vannak.
- A hisztogram enyhe jobboldali torzulást mutat → több a magasabb biztonsági tényező.

4) Boxplot értelmezése



- Nincsenek extrém kiugró értékek → a modell eredményei **konzisztensek**.
- A medián kissé a felső kvartilis felé tolódik → enyhe negatív ferdeség.

A boxplot egy közepesen szűk értékeloszlást mutat, szélsőséges adatok nélkül.

A boxplot a következőket mutatja:

- A doboz közepe (medián) ~2.85.
 - A kvartilisek:
 - $Q1 \approx 2.46$,
 - $Q3 \approx 3.09$
- a minták 50%-a ebben a tartományban helyezkedik el.



Összefoglaló értékelés

A Bishop-módszerrel számított biztonsági tényezők:

- stabil eloszlást mutatnak,
- jelentős részük **2.6–3.1** között található,
- az átlag **2.78**, ami stabil állapotot jelez,
- a kis szórás az eredmények **megbízhatóságát** jelzi,
- nincs szélsőséges, kiugró érték.

Következtetés:

A modellezett rézsüállékonysága a statisztikai eredmények alapján **jó**, az eredmények szórása alacsony, ami azt sugallja, hogy a modell következetesen kedvező állapotot jelez.

7. A rekultiváció utáni állékonyság vizsgálata

A hulladéklerakó rekultivációt követő állékonyságának vizsgálatát az alapállapotban elvégzett stabilitási vizsgálatok eredményeire építettük. Az előzetes számítások alapján a hulladéktest állékonynak bizonyult, ezért további állékonyság-vizsgálatok elvégzésére alkalmasnak ítéltük.

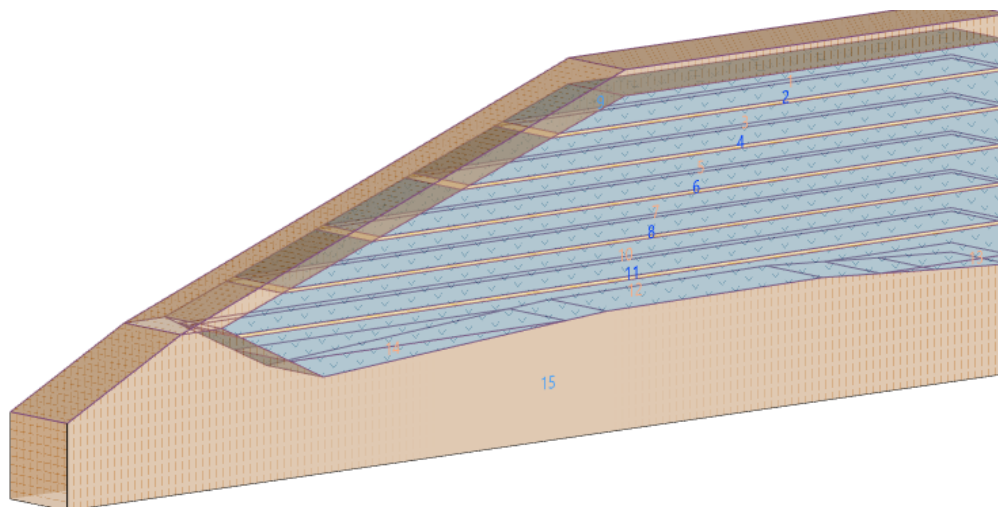
A rekultiváció modellezése során a meglévő geometriai kialakítást változatlanul hagyva egy **1,5 m vastagságú rekultivációs rétegrendet** helyeztünk el a keresztmetszet felső és rézsü részén (hulladékkal borított terület). A módosított rétegrend figyelembevétele mellett a vizsgálatot újra elvégeztük.

Tekintettel arra, hogy az alapállapotban meghatározott biztonsági tényezők közül egy paraméterhalmaz eredményezte a legalacsonyabb értéket, a rekultivált állapotban kizárólag ezen paraméterekre végeztük el a számítást. Feltételeztük ugyanis, hogy azoknál a paraméterkombinációknál, amelyek az alapállapotban magasabb biztonsági tényezőt szolgáltattak, a rekultivációt követően az állékonyság továbbra is kedvező marad, ha a legalacsonyabb esetben is az.

Ennélfogva, amennyiben a legalacsonyabb biztonsági tényezőt adó paraméterekkel végzett vizsgálat kielégítő eredményt mutat, úgy **az állékonyság a többi paraméter esetében is teljesül**, mivel azok kedvezőbb tartományt képviselnek.

Az alkalmazott megközelítés lehetővé teszi, hogy a rekultiváció hatását a biztonsági tényező kritikus tartományában vizsgáljuk, miközben ésszerű számítási igényt tartunk fenn. Ezáltal igazolható, hogy a rekultivációt követően a hulladéklerakó stabilitása megfelelő szinten biztosított.

Ezt a modellezett állapotot az **7.3. ábra** szemlélteti.



7.3. ábra
Legalacsonyabb F_s -t adó paraméterekkel felépített 3D modell (MANASSERO)

Az állékonyságvizsgálat eredményeit az alábbiakban mutatjuk be.

	Bishop	Janbu
REK	2,02	2,02

Megállapítható, hogy mindkét alkalmazott számítási metodika alapján a hulladéklerakó továbbra is állékony marad, az elvárt biztonsági tényezőt jelentősen meghaladó értékekkel.

Az előírt minimális biztonsági tényező **$F_s \geq 1,35$** , azonban a biztonság javára az elvárt értéket **1,50**-nek tekintettük (a hulladéktest inhomogenitása miatt). A vizsgálati eredmények alapján ez a követelmény **valamennyi esetben teljesült**, így a rekultivált állapot állékonysági szempontból is megfelelőnek tekinthető.



8. Összegfoglalás

1. Vizsgálataink során több módszerrel is meghatároztuk hulladéklerakó feltöltési magasságának növelése után az állékonyság szempontjából leginkább veszélyes lerakó-keresztmetszetében az állékonysági biztonság alakulását.
2. A dokumentumban közölt összes eredmény az *EUROCODE 7* szerinti méretezés alapján, a nyírószilárdsági paraméterek karakterisztikus értékének figyelembe vételével készült, azaz az állékonyságvizsgálatok során **a biztonsági tényező elvárt minimális értéke $F_s = 1,35$, azonban az 1,5 feletti értéket tartjuk megfelelőnek.** (Ennek oka, hogy a számításhoz felhasznált adatok bizonytalanok (nem tény-adatok, helyspecifikus mérési eredmények, mint a geotechnikában általában felhasznált adatok, hanem szakirodalmi adatok). Pontos adatok alapján a 1,35 értéket is megfelelőnek tartjuk, azonban a biztonság javára döntve adtuk meg az általunk megfelelőnek tartott értéket). A modell egyszerűsítése a valóságnak, amely még pontosan megismerhető felépítés esetében is egy egyszerűbb leképzése a valóságnak. Jelen esetben nem természetesen települt földtani közeget, hanem épített hulladék rétegeket vizsgáltunk, amelyben még az adott rétegek esése is fontos szempont az állékonyságvizsgálat szempontjából. Ezek az adatok nem állnak, nem is állhatnak rendelkezésre, ezért tartjuk célszerűnek az óvatosabb megközelítést.
3. A vizsgált szelvények esetében az **ÖNORM** és **Manassero** által javasolt értékekkel a számított biztonsági tényezők **megfelelőek.**
4. A véletlenszerűen választott, a hulladékokra jellemző, a nemzetközi szakirodalomban közölt, és onnan feldolgozott, a teljes hulladékfizikai értékpár spektrumot átfogó értékpárokból futtatott modellszámítás **megfelelő** biztonsági tényezőt adott.



Összefoglalva megállapítható, hogy az elvégzett rézsúállékonysági modellvizsgálatok minden esetben kedvező biztonsági tényező-értéket adtak. Ennek alapján a hulladéklerakó tervezett kialakítása rézsúállékonysági szempontból megfelelőnek tekinthető.

A vizsgálati eredmények alapján a teljes értékelés tovább folytatható, ennek következő lépéseként a süllyedésszámítás elvégzése szükséges.

9. A hulladéklerakó végső kialakításának süllyedésszámítása

Az állékonysági vizsgálat elvégzését követően kiszámítottuk, hogy a hulladéklerakó tervezett morfológiájának változása miként hat a **hulladéklerakó alatti talajok és a szigetelőrendszer süllyedésére.**

Általánosságban elmondható, hogy a tervezett **~14 m-es hulladékmagasság nem tekinthető extrémnek**; a hazai és nemzetközi gyakorlatban ez **kifejezetten alacsony értéknek számít.** Számos hulladéklerakó **legalább 30 m magasságra** kerül megtervezésre, de **50 m körüli magasság** is előfordul.

Így a **14 m hulladékmagasság** kifejezetten **alacsonynak** tekinthető, ami részben annak következménye, hogy a lerakó alapterülete viszonylag kicsi, ezért jelentősen nagyobb magasság nem alakítható ki.

1. A számítás metodikája

A számítás során ugyanabból a szelvényből indultunk ki, mint az állékonyságvizsgálat esetében.

Szükségessnek tartottuk a hulladéklerakó építését megelőző **talajvizsgálati jelentés** beszerzését, amelyet az akkori **IPPC-engedély készítőjétől** szereztünk be. Az IPPC-engedélyt akkor a **TerraMed Kft.** készítette, azonban a cég azóta megszűnt.



A talajvizsgálati jelentésből azoknak a fúrásoknak a **rétegsorát** vizsgáltuk, amelyek a hulladéklerakó területének környezetében vagy azt közvetlenül érintve kerültek lemélyítésre. Ezekből **származtattuk az alapadatokat**.

Azon adatok esetében, amelyek a talajvizsgálati jelentésben nem kerültek megadásra, **szakirodalmi adatokat** használtunk fel, minden esetben **forrásmegjelöléssel**. Az így összeállított adathalmaz feldolgozásával a **GEO5 szoftvercsomag – Settlement moduljával** süllyedésszámítást végeztünk a **végző állapotra vonatkozóan**.

A számítás fő kérdése az volt, hogy a **süllyedések okozhatnak-e talajtörést**, vagy vezethetnek-e a **szigetelő rendszer bármilyen káros deformációjához**. Továbbá kiemelendő, hogy a **süllyedés mértéke befolyásolhatja a csurgalékvíz gyűjtését és kivezetését** a hulladéklerakóból.

A **GEO5 szoftver Settlement moduljának** részletes bemutatásától, illetve a számítás részletes metodikájának ismertetésétől eltekintünk, mivel a program **szakmai körökben általánosan ismert**, és ilyen célokra széles körben alkalmazott.

2. Alapadatok, vizsgálati adatok

A fejezetben a **számításhoz szükséges alapadatokat** mutatjuk be.

A jelen dokumentáció mellékleteként csatolt talajvizsgálati jelentés alapján a **hulladéklerakó teljes szelvénye alatt iszapos homokréteg található. A felszín alatti vízszint 3–4 méter között helyezkedik el**. Ezeket az adatokat **kiindulási paraméterként** használtuk fel a számítógépes modellünkben.

Jellemző geotechnikai paraméterek — iszapos homok

Fizikai / mechanikai paraméterek

Paraméter	Jellemző tartomány
Tömegsűrűség (ρ_s)	1 800 – 2 100 kg/m ³
Porozitás (n)	0,30 – 0,50
Poisson-tényező (v)	0,25 – 0,35
Young-modulus (E)	10 – 80 MPa
Nyírómodulus ($G = E / [2(1+v)]$)	~ 4 – 30 MPa
Belső súrlódási szög (ϕ)	28–35°



Paraméter	Jellemző tartomány
Kohézió (c)	0–5 kPa

Források

Budhu, M. — Soil Mechanics & Foundations (3rd Ed.)

– Sandy & silty soils: $v = 0.25\text{--}0.35$; $\phi \approx 28\text{--}35^\circ$; $E \approx 10\text{--}80\text{ MPa}$

1. **Das, B.M. — Principles of Geotechnical Engineering (8th Ed.)**

– Typical soil parameters for silty sand

2. **Holtz, Kovacs & Sheahan — An Introduction to Geotechnical Engineering (2nd Ed.)**

– Silty sand density, modulus ranges

3. **Lambe & Whitman — Soil Mechanics**

– Általános rugalmassági paramétertartományok

Jellemző geotechnikai paraméterek gát

1) tömörített homokos kavics / kavicsos homok (GW–GM–SW)

Paraméter	Tipikus tartomány / tipikus érték
Tömegsűrűség (ρ_{bulk})	2 000 – 2 200 kg/m ³ ($\gamma \approx 20\text{--}22\text{ kN/m}^3$)
Porozitás (n)	0,25 – 0,40
Poisson-tényező (ν)	0,25 – 0,35 (gyakran 0,30)
Young-modulus (E)	80 – 250 MPa (rel. sűrű: 150–250 MPa)
Nyírómodulus (G)	$\sim 30\text{--}90\text{ MPa}$ ($G = E / 2(1+\nu)$)
Belső súrlódási szög (ϕ)	36 – 42°
Kohézió (c)	$\approx 0\text{ kPa}$ (elhanyagolható)

Források:

1. **Das, B.M. – Principles of Geotechnical Engineering (8th ed.)** – tipikus paramétertartományok homokos kavicsra és agyagra; ν , E , ϕ , c .

2. **Budhu, M. – Soil Mechanics and Foundations (3rd ed.)** – szemcsés és finomszemcsés talajok rugalmas és szilárdsági paraméterei.



3. **Holtz, R.D., Kovacs, W.D., Sheahan, T.C. – Introduction to Geotechnical Engineering (2nd ed.)** – kompaktált töltések jellemzői.
4. **Lambe, T.W., Whitman, R.V. – Soil Mechanics** – rugalmas állandók és tipikus tartományok.

Jellemző paraméterek – települési szilárd hulladék (MSW)

Poisson-tényező (ν)

Jellemző tartomány: **0.15 – 0.35**

Források:

1. Beaven, R. P. & Powrie, W. (1996). *Hydrogeological and gas flow properties of household waste landfill materials.*
→ $\nu \approx 0.3$
2. Zekkos, D. (2005). *Evaluating the shear strength of municipal solid waste.*
→ $\nu = 0.15\text{--}0.35$ tartományt alkalmaz
3. Dixon, N. & Jones, D. R. V. (2005). *Engineering properties of municipal solid waste.*
→ $\nu \approx 0.25\text{--}0.35$

Rugalmassági modulus (E)

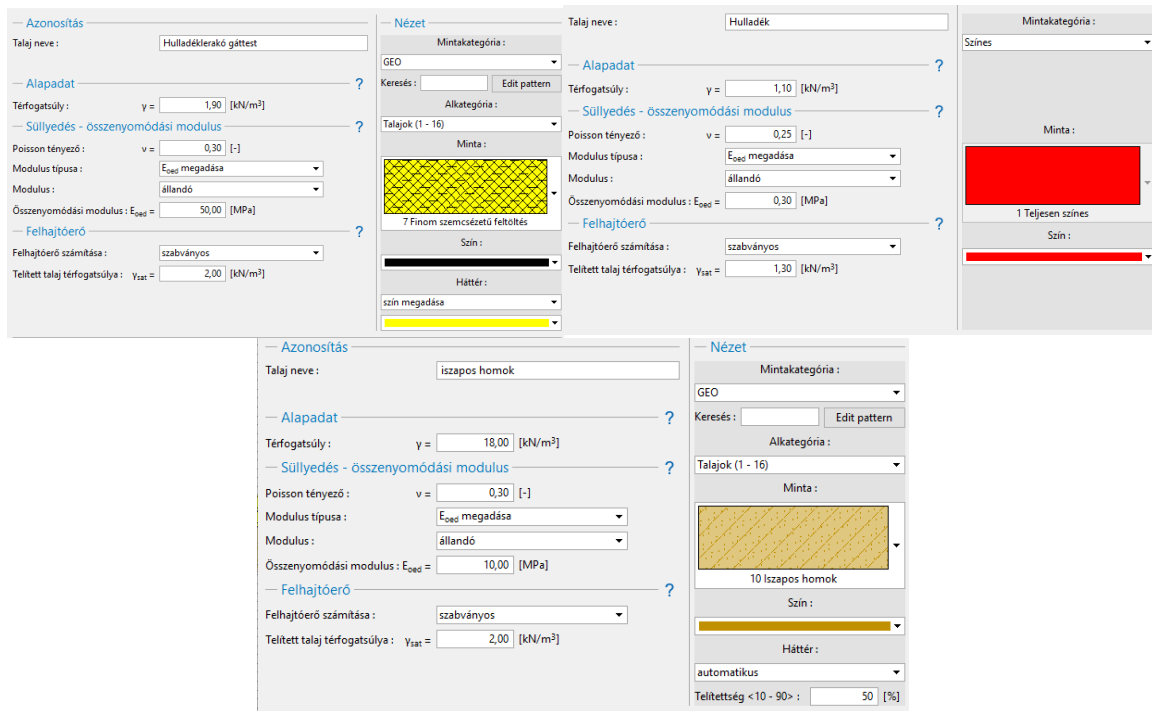
Jellemző tartomány: **1 – 50 MPa**

Források:

1. Hartz, K. E. (2002). *Mechanical properties of municipal solid waste.*
→ $E \approx 1\text{--}20$ MPa
2. Kavazanjian, E. et al. (1999). *In situ deformation properties of municipal solid waste.*
→ $E \approx 5\text{--}50$ MPa (függően az eltemetési mélységtől)
3. Zekkos, D. (2005). *Evaluating the shear strength of municipal solid waste.*
→ $5\text{--}30$ MPa
4. Dixon & Jones (2005). *Engineering properties of MSW.*
→ fiatal ($1\text{--}10$ MPa), idősebb ($10\text{--}40+$ MPa)



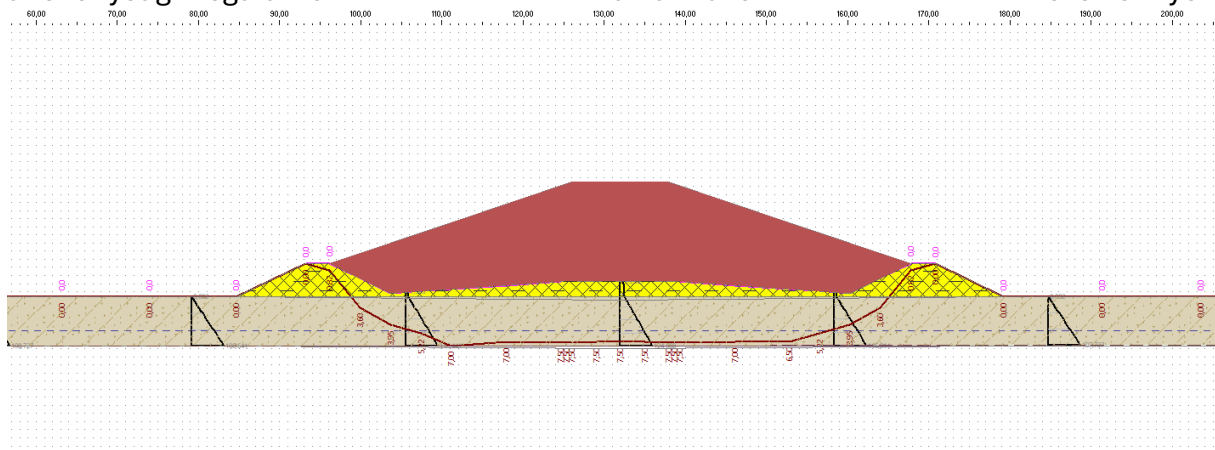
Az alábbiakban bemutatjuk a szoftverbe bevitt paramétereket a programból készített képernyőmentések alapján:



The image shows two screenshots of the Geon System software interface. The top screenshot is for 'Hulladék' (Waste) and the bottom screenshot is for 'iszapos homok' (Clayey sand). Both screenshots show the 'Alapadat' (Basic data) and 'Nézet' (View) tabs. The 'Alapadat' tab contains fields for 'Térfigsúly' (Unit weight), 'Süllyedés - összenyomódási modulus' (Settlement - compression modulus), 'Poisson tényező' (Poisson's ratio), 'Modulus típusa' (Modulus type), 'Modulus' (Modulus), 'Összenyomódási modulus: E_{oed}' (Compression modulus: E_{oed}), 'Felhajtóró' (Lift rod), 'Felhajtóró számítása' (Lift rod calculation), and 'Telített talaj térfigsúlya: γ_{sat}' (Saturated soil unit weight). The 'Nézet' tab shows 'Mintakategória' (Sample category), 'Keresés' (Search), 'Alkategória' (Subcategory), 'Minta' (Sample), 'Szin' (Color), and 'Háttér' (Background). The 'Hulladék' screenshot shows a yellow patterned sample, while the 'iszapos homok' screenshot shows a brown patterned sample.

9.1. ábra
Számítási alapadatok

A modellezett szelvényt a **9.2. ábra** szemlélteti, amely azonos a korábban az állékonyságvizsgálathoz alkalmazott szelvénnel.



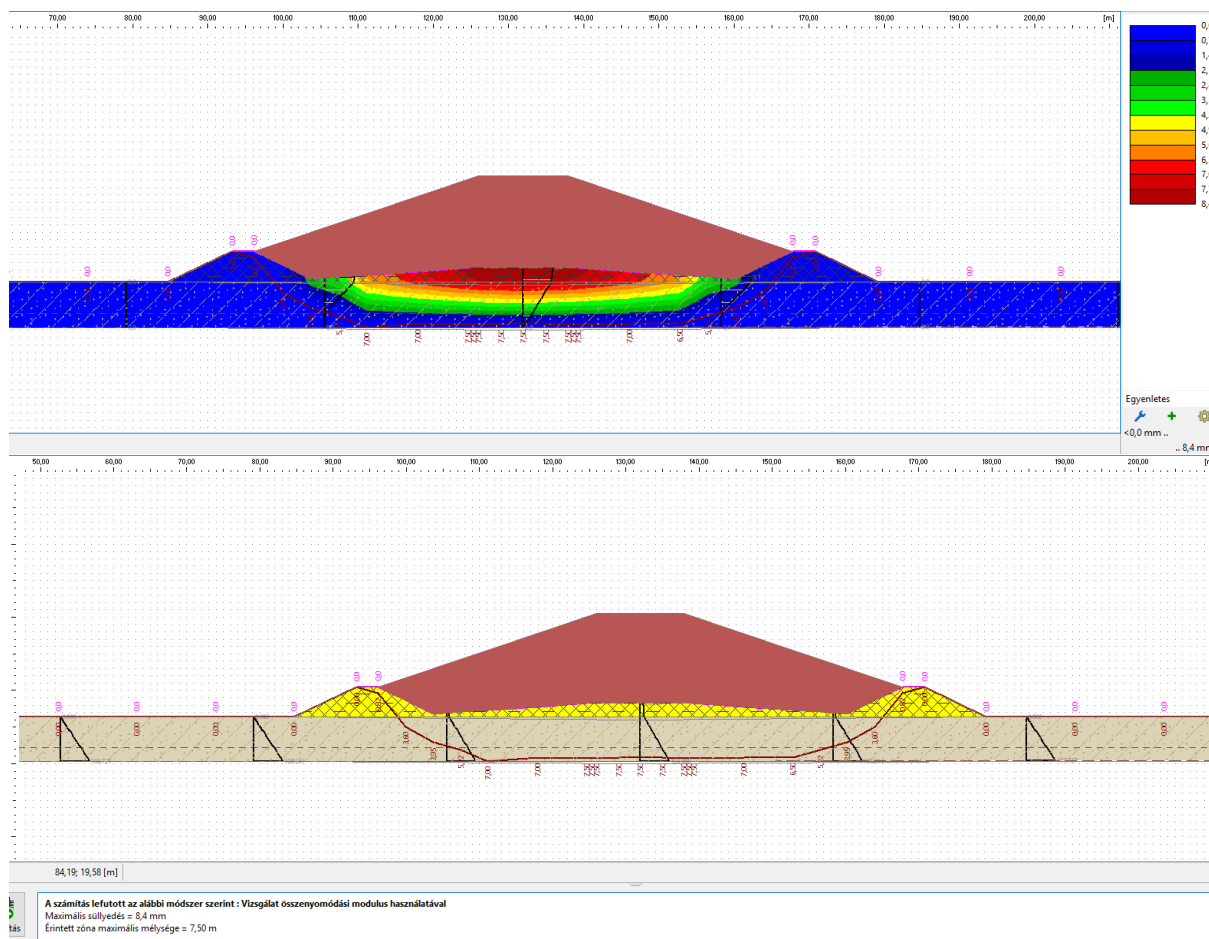
9.2. ábra
Számítási alapadatok



3. A modell futtatásának eredményei

A modellt a konszolidáció lefutásaig futtattuk, tekintettel arra, hogy a vizsgálat célja a teljes terhelésből származó, a deponált hulladék alatt várható süllyedések meghatározása volt.

A számítási eredmények alapján a maximális süllyedés 8,4 mm, így 1 cm alatti érték adódott. A terheléssel érintett zóna legnagyobb mélysége 7,5 m. Az eredmények bemutatását a **9.3. ábra** tartalmazza.



9.3. ábra
Számítási alapadatok



Megállapítások

Összefoglalva megállapítható, hogy a várható süllyedések minimálisak, ezért talajtörés vagy alaptörés bekövetkezése ilyen terhelés mellett nem várható.

Másik fontos kérdés, hogy a hulladéklerakó csurgalékvíz-gyűjtő rendszerében a süllyedések hatására kialakulhat-e pangóvízes zóna, vagy olyan terület, amely gátolja a csurgalékvíz teljes körű elvezetését. Megállapítható, hogy a hulladéklerakó vápaiban kialakított mélyvonalak esetében az esés mértéke körülbelül 1,5%. Az 1 cm nagyságrendű süllyedés ehhez képest elhanyagolható, hiszen az 1,5%-os esés azt jelenti, hogy 100 méteren mintegy 150 cm a szintkülönbség.

Belátható, hogy ekkora esésviszonyok mellett az 1 cm-nél kisebb süllyedés a csurgalékvíz elvezetését nem befolyásolja érdemben, így pangóvízes zóna kialakulása nem várható.

A süllyedésszámítás alátámasztotta, hogy az aljzatra és az altalajra vonatkozóan az ilyen módon kialakított hulladéklerakó nem jelent problémát; a csurgalékvíz-gyűjtő rendszerben nem okoz olyan jelenséget, amely műszaki szempontból kifogásolható lenne. Ennek megfelelően a vizsgálat a harmadik ütemmel tovább folytatható.

A következő fejezetben azt vizsgáljuk, hogy a műszaki védelem egyes elemeire — különösen a mesterséges anyagokra — vonatkozóan jelenthet-e problémát a hulladékelhelyezés.



10. A tervezett végforma beépített anyagokra gyakorolt hatása

A hulladékszigetelési rendszerbe integrált anyagok túlnyomó többsége műanyagipari eredetű, amelyek megfelelő alakváltozási képességgel rendelkeznek.

A vizsgálat szempontjából az alábbi komponensek kiemelendők:

- HDPE szigetelőlemez,
- geotextília,
- dréncső

A beépített elemek anyaghasználata döntően polietilénre, ezen belül nagy sűrűségű polietilénre (HDPE) épül; ebből készül többek között a HDPE szigetelőlemez és a dréncső is.

A geotextíliák jellemzően polipropilén alapanyagból készülnek.

Ezen anyagok többsége rugalmas, és az elszakadásukhoz nagyságrendekkel nagyobb nyúlást képesek elviselni. A kialakuló minimális süllyedés tehát beláthatóan nem okozhat tönkremenetelt egyik anyagban sem. A hulladéklerakó épített, természetes anyagú szigetelése következtében nem jönnek létre olyan éles peremek sem, amelyek a rétegeket esetleg károsíthatnák. Összességében megállapítható, hogy a kialakított végforma nem okoz többletterhelést a hulladéklerakó épített szigetelő rendszerére nézve.

11. Összefoglalás

A végrehajtott geotechnikai vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a tervezett hulladéklerakó – amely a hazai hulladékgazdálkodási gyakorlatban nem tekinthető nagy magasságúnak – a többi lerakóhoz viszonyítva laposabb rézsűkialakítással rendelkezik. A lejtésviszonyok és a geometriai paraméterek vizsgálata alapján sem rézsűállékonysági, sem konszolidációs (süllyedési) szempontból nem mutatkozik olyan körülmény, amely a létesítmény stabilitását kedvezőtlenül befolyásolná. A modellfuttatások eredményei a kialakítás geotechnikai megfelelőségét támasztják alá.

A lerakó műszaki védelmét biztosító rétegrend vonatkozásában megállapítható, hogy a tervezett magasztás nem eredményez olyan mértékű többletterhelést, amely akár a természetes, akár a mesterséges eredetű aljzatszigetelő rétegekben káros vagy



visszafordíthatatlan állapotot idézne elő. A beépített anyagok rugalmas viselkedése, valamint a fellépő alakváltozások csekély mértéke biztosítja, hogy a szigetelőrendszer épsége és funkcióképessége fennmaradjon.

Összességében megállapítható, hogy a hulladéklerakó tervezett végső kialakítása geotechnikai szempontból megfelelő, a műszaki védelmi rendszere tekintetében kockázatot nem jelent.

A rekultivációs rétegrend kialakítása szempontjából az 1:3 lejtésű rézsű nem jelent érdemi kockázatot megcsúszás vagy megnyílás tekintetében. Hulladéklerakók rekultivációja során jellemzően 1:2,5 meredekségű rézsűt alkalmaznak, amely megfelelő stabilitást biztosít a rétegrend számára. Ennek megfelelően az 1:3 rézsű kedvezőbb lejtésű, ezért a rekultivációs rétegrend esetleges elmozdulásával összefüggő kockázat nem azonosítható.

A kapacitás számítást és a metszeteket a TRIVERAX Bt. készítette a Szelektív NKft. megbízásából.


GEON SYSTEM KFT.
3519 MISKOLC, GÖRÖMBÖLYI ÚT 39/A
Adószám: 13605045-2-05

Dr. Szabó Attila
okl. környezetmérnök
GT-T tervező
ügyvezető


Mellékletek:

1. Helyszínrajz
2. Jogosultságok




Megrendelő:


Szelektív Hulladékhasznosító és Környezetvédelmi Nkt.
3000 Hatvan, 054/14 hrsz.



Tervező:

TRIVERAX
Környezetvédelmi, Mérnöki és Tanácsadó Bt.
7627 Pécs, Vadász u. 60/2.
E-mail: triverax@triverax.hu


Fülöp Zoltán
VZ-TELEK/SG/02.09.16



Projekt:

Hatvan
Regionális Települési Hulladékhasznosító és Hulladéklerakó

Helijai szám:

Hatvan 054/14

Munkaszám:

H-25/9

Terv címe:

Hulladéklerakó feltöltési helyszínrajza

Tervfázis:

Koncepció

Szakág:

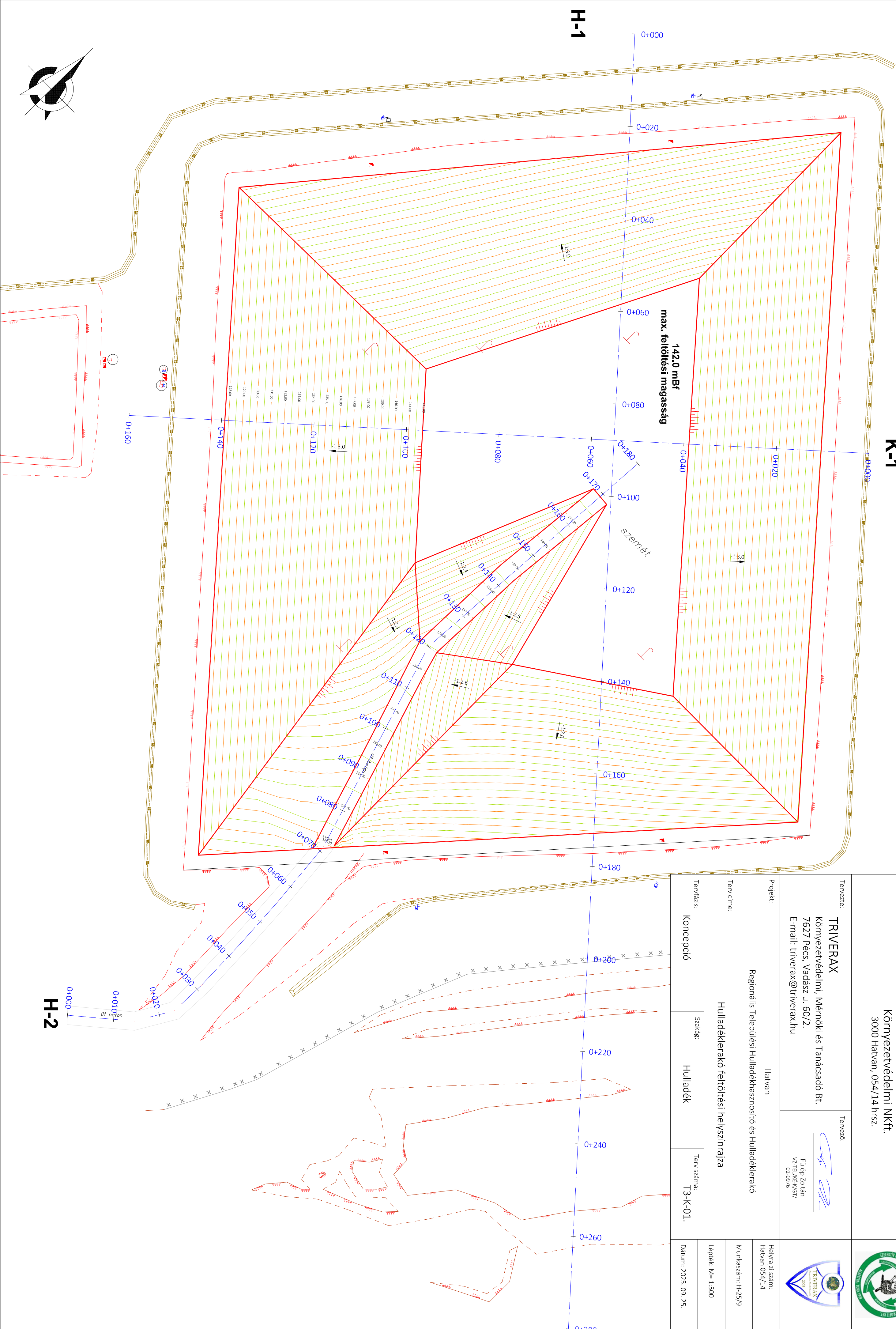
Hulladék

Terv száma:

T3-K-01.

Dátum:

2025. 09. 25.





Dr. Szabó Attila Imre

Kamarai számok: 05-1399, 05-51779

Végzettségek: okl. környezetmérnök

Cím:

Telefonszám:

E-mail: attila.drszabo@gmail.com

Engedélyek:

GT - Geotechnikai tervezés (2029.11.22)

SZKV-1.1. - Hulladékgazdálkodási szakértő

SZKV-1.2. - Levegőtisztaság-védelem szakértő

SZKV-1.3. - Víz- és földtani közeg védelem szakértő

ME-VZ - Vízgazdálkodási építmények építésének műszaki ellenőrzése (2029.11.22)

VZ-VG - Vízgazdálkodási tervezési szakterület, egyéb vízgazdálkodási tervezési részsakterület (2029.11.22)

SZKV-1.4. - Zaj- és rezgésvédelem szakértő

Tanúsítványok:

K-Sz - Klímavédelmi szakértő (2028.11.28)

