

Mikoviny Sámuel Földtudományi Doktori Iskola

A doktori iskola vezetője:
Dr. h.c. mult. Dr. Kovács Ferenc
egyetemi tanár, az MTA rendes tagja



HULLADÉKLERAKÓK LEZÁRÁSÁNAK AKTUÁLIS KÉRDÉSEI

PhD ÉRTEKEZÉS

Kutatóhely: *Miskolci Egyetem*
Műszaki Földtudományi Kar
Földtani Intézet
Földtan Teleptani Intézeti Tanszék

Készítette: **Szabó Attila** okleveles környezetmérnök

Tudományos vezető: **Dr. Némedi Varga Zoltán**
a földtudomány doktora,
egyetemi tanár

2008.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	4
1. Hulladéklerakók veszélyeztető potenciáljának meghatározása	6
1.1. A környezeti kockázatok értékeléséhez rendelkezésre álló módszerek	7
1.2. A hulladéklerakók környezeti kockázatának meghatározására kidolgozott módszer	9
1.2.1. A lerakó területének értékelése (1. modul)	10
1.2.2. Az aljzatszigetelő rendszer értékelése (2. modul)	13
1.2.3. A csurgalékvízgyűjtő rendszer értékelése (3. modul)	14
1.2.4. A lerakott hulladék értékelése (4. modul)	16
1.2.5. A monitoring rendszer értékelése (5. modul)	17
1.2.6. A depóniagáz rendszer értékelése (6. modul)	19
1.2.7. A kockázatok értékelése	20
1.3. Esettanulmány a környezeti kockázat meghatározásához	20
1.3.1. A Miskolc, Bogáncs úti hulladéklerakó	21
1.3.2. A Miskolci Regionális Hulladéklerakó	21
1.3.3. A kockázatok értékelése	22
1.4. Összefoglalás	24
2. Zárószigetelő rendszerek alkalmazása, alternatív zárószigetelők	26
2.1. A zárószigetelő rétegrend kialakításának háttere	26
2.1.1. Hulladéklerakók átmeneti lezárása	26
2.1.2. A hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok felgyorsítása	28
2.1.2.1. A lebomlási folyamatok gyorsításának lehetőségei	28
2.2. A hulladéklerakók végleges lezárása	29
2.3. Zárószigetelő rendszerek alkalmazhatósága	32
2.3.1. A zárószigetelő rendszerek megoldásai	32
2.3.1.1. Agyagszigetelés	32
2.3.1.2. Bentonitszőnyegek alkalmazása	34
2.3.1.3. Polimerekkel javított homok-bentonit keverék (TRISOPLAST®)	37
2.3.1.4. Bentonit és talaj keverékből előállított szigetelőrétegek	39
2.3.1.5. A HYDROSTAB® eljárás	42
2.3.1.6. Kapilláris szigetelőrendszer	43
2.3.1.7. A geomembránok alkalmazása	44
2.3.1.8. Evapotranszspirációs szigetelőrendszer	46
2.3.1.9. Aszfalt szigetelés	47
2.4. Összefoglalás	48
3. Állékonyságvizsgálatok	51
3.1. A hulladékok jellemző térfogatsűrűség értékei	51
3.2. A hulladékok nyírószilárdsági paramétereinek jellemző értékei	53
3.3. A depóniatest állékonyságvizsgálata	55
3.3.1. A BISHOP és a JANBU féle állékonyságvizsgálati módszerek	57
3.3.2. A hulladéklerakó geometriájának meghatározása	58
3.3.3. A hulladékrétegek nyírószilárdsági paramétereinek meghatározása	59
3.3.4. A rétegrendek meghatározása	62
3.3.5. A depóniatest állékonyságvizsgálatának eredményei	62
3.4. Összefoglalás	68
4. Különböző zárószigetelési rendszerek vízháztartásának vizsgálata	70
4.1. A HELP® modell alkalmazása vízháztartási vizsgálatoknál	70
4.1.1. A szoftver gyakorlati alkalmazása, az alapadat-rendszer előállítása	70
4.1.2. A vízháztartás egyes elemeinek meghatározása	71

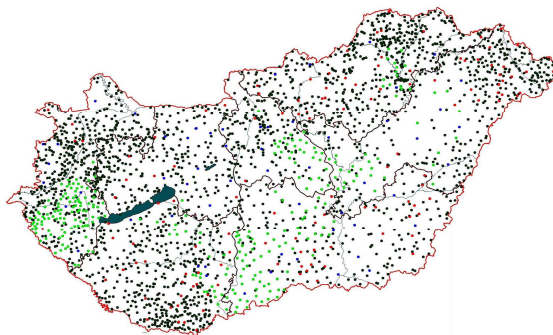
4.2.	A HELP® modellben található időjárási adatok alkalmazhatósága Magyarországon	73
4.2.1.	Magyarország éghajlata, jellemzői az elmúlt 100 évben a hőmérséklet és a csapadék vonatkozásában	73
4.2.1.1.	Hőmérséklet	73
4.2.1.2.	Csapadék	74
4.3.	A Visual Help® programban található meteorológiai adatok	75
4.4.	Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatainak összehasonlítása a Visual HELP® programban található adatokkal	76
4.4.1.	Csapadék	76
4.4.2.	Hőmérséklet	78
4.4.3.	Az időjárási adatok és a Visual HELP® modell eredményei közötti összefüggés vizsgálata	79
4.4.3.1.	A vizsgált esetek	79
4.4.3.2.	A vizsgálati eredmények	80
4.4.3.2.1.	Az „A” és a „B” esetek összehasonlítása	80
4.4.3.2.2.	A „C” és a „D” esetek összehasonlítása	81
4.4.3.2.3.	Ugyanazon modell különböző területekre való futtatásának eredményvizsgálata	82
4.5.	Különböző zárószigetelési rétegrendek vízháztartásának vizsgálata	84
4.5.1.	Az elvégzett modellvizsgálatok	85
4.5.2.	A modellvizsgálatok eredményei	86
4.5.2.1.	Az „A” eset: a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által javasolt rétegrend	86
4.5.2.2.	A „B” eset: bentonitszőnyeg alkalmazása	87
4.5.2.3.	A „C” eset: HDPE geomembrán alkalmazása	89
4.5.2.4.	A vizsgálati eredmények összefoglalása	91
4.6.	Evapotranszpirációs rekultivációs rétegrend alkalmazása	92
4.6.1.	Az AES Energetikai Kft. Dél-Borsodi hőerőmű zagyterének vízháztartási modellvizsgálata	93
4.6.1.1.	Az evapotranszpiráció és a terület növényzettel való borítottságának vizsgálata	94
4.6.1.2.	A vizsgálat során használt időjárás adatok	96
4.6.1.3.	A vizsgálat során modellezett lezárási rétegrendek	96
4.7.	A modellvizsgálat eredményeinek összefoglalása	98
4.8.	Összefoglalás	100
5.	A hulladéklerakók rekultivációjának költségelemzése	102
5.1.	A költségelemzés szükségessége	102
5.2.	A rekultivációk folyamata, a munkálatok során felmerülő költségek	103
5.2.1.	A felszámolással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek	103
5.2.2.	Az átmeneti lezárással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek	105
5.2.3.	A végleges lezárással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek I.	106
5.2.4.	A végleges lezárással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek II.	107
5.3.	A rekultivációhoz felhasználható természetes anyagok előfordulása	109
5.3.1.	Homok	111
5.3.2.	Kavics	111
5.3.3.	Agyag	113
5.3.4.	Humusz	115

5.4.	A rekultivációhoz használt anyagok bekerülési költsége.....	116
5.4.1.	Az ajánlati árak kérdése	116
5.4.2.	Természetes anyagok bekerülési költsége.....	116
5.4.2.1.	Homok	116
5.4.2.2.	Homokos kavics, kavics	118
5.4.2.2.1.	Homokos kavics	118
5.4.2.2.2.	Osztályozott mosott kavics.....	119
5.4.2.3.	Agyag	121
5.4.2.4.	Bányameddő	121
5.4.2.5.	Humusz / Humuszban gazdag talaj	122
5.5.	Mesterséges anyagok	122
5.5.1.	Geoműanyagok.....	122
5.5.2.	Geoszintetikus anyagok.....	124
5.5.3.	Geotextíliák	125
5.5.4.	Geodrének	125
5.5.5.	Újrahasznosított anyagok	125
5.6.	Hulladék átvételi díjak	126
5.6.1.	Nem veszélyes hulladék átvételi díjak	126
5.6.2.	Inert hulladékok átvételi díjai.....	129
5.7.	Szállítási költségek.....	130
5.8.	A munkavégzés költségei.....	130
5.9.	A költségszámítás módszertana	131
5.10.	Különböző rekultivációs megoldások, lezárási alternatívák becsült költségének összehasonlítása	132
5.10.1.	Felszámolással történő rekultiváció	132
5.10.2.	Átmeneti lezárás	133
5.10.3.	Végleges lezárás	134
5.11.	Összefoglalás.....	137
ÖSSZEFOGLALÁS		139

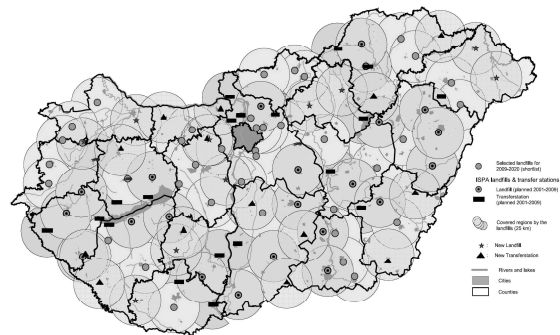
Bevezetés

A hulladékgazdálkodás helyzete az elmúlt másfél évtizedben jelentősen megváltozott hazánkban. A korábbi évtizedek jól bevált gyakorlatát, mely szerint a keletkezett lakossági, ipari hulladékot a települések szélén, sokszor elhagyott bányagödrökben rakták le, felváltotta a hulladékok tudatos, célzott gyűjtése, majd a környezetvédelmi szempontokat figyelembe vevő lerakókban történő ártalmatlanítása. Az elmúlt egy évtizedben új regionális hulladéklerakók épültek, ahol nemcsak a hulladék lerakása, hanem a hulladék kezelése, feldolgozása is szerepet kap. Új fogalmakkal, feladatokkal ismerkedtünk meg, mint regionális hulladéklerakók, komposztálás, szelektív gyűjtés stb.

A regionális hulladéklerakók építése lassan befejeződik, kialakul a tervezett országos hulladékgazdálkodási rendszer (**1/b. ábra**). Az új lerakók értelemszerűen a jelen és a közeljövő hulladékgazdálkodási feladataira jelentenek megoldást, a régi hulladéklerakók környezetvédelmi problémáinak megoldását más úton kell rendezni. A régi, most már felhagyott hulladéklerakók száma meglehetősen nagy. Egy 2003-ban készült felmérés alapján hazánkban több, mint 2500 hulladéklerakó található (**1/a. ábra**). A lerakók száma, helye változást mutat, elsősorban növekvő irányba.



1/a. ábra
Rekultiválandó hulladéklerakók



1/b. ábra
Az új hulladékgazdálkodási rendszer

A hulladékgazdálkodásunk következő nagy feladata ezen hulladéklerakók felülvizsgálata, felszámolása. A nagy szám természetesen nem minden esetben jelent nagy lerakott hulladékmennyiséget. Azt azonban nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy ezek a lerakók a legtöbb esetben semmilyen műszaki védelemmel nem rendelkeznek, folyamatosan veszélyt, kockázatot jelentenek a környezetünkre.

Az előző évben meghirdetett Környezeti Operatív Program (röviden: KEOP) lehetőséget nyújt a felhagyott települési szilárdhulladék-lerakók rekultivációjára. A rendelkezésre álló közel 100 milliárd Forint a hulladéklerakók jelentős részének a rekultivációját biztosítja. Ezen kedvező lehetőséggel a legtöbb lerakó esetében a pályázók élnek. A program támogatást nyújt a rekultiváció teljes folyamatára (felülvizsgálat – tervezés – kivitelezés). Valószínűsíthetően több ilyen alkalom nem lesz a hulladéklerakók rekultivációjának elvégzésére, ezért alapvető cél, hogy ezen program keretein belül a lehető legtöbb lerakó rekultivációját elvégezzük. Ez egyrészt a tervezőkre, másrészt az engedélyező hatóságok számára komoly terhet, kihívást jelent a következő években.

A hulladéklerakással kapcsolatos jogszabályok jelentős változáson mentek keresztül az elmúlt években. A jogszabályi előírások számos esetben szigorodtak, egyes esetekben – és ilyenek a rekultivációra vonatkozó előírások is – nagyobb tervezői szabadságot adnak. A tervezők viszonylag szabadon változtathatnak a rekultiváció zárószigetelésének rétegrendjén, alternatív megoldásokat alkalmazhatnak, egyedi rétegrendet alakíthatnak ki.

A rekultivációk kivitelezését leginkább közbeszerzési eljáráson keresztül nyerik el a kivitelező cégek. Az eljárások során a legtöbb esetben a döntő tényező a legkedvezőbb ajánlati ár adása, amely kockázatos dolgokhoz is vezethet. A legkedvezőbb ár alapján történő döntéshozatal természetes, de okozhatja a rekultiváció környezetvédelmi szempontból nem megfelelő végrehajtását, hiszen a rendelet lehetőséget ad jelentős módosításokra, egyes esetekben érvényesülhet a tervezői körökben sokszor hangoztatott mondat: „a papír mindent elbír”.

Mindannyiunk közös célja olyan hulladéklerakó rekultivációk megvalósítása, amely a környezetvédelmi, műszaki szempontokat messzemenően figyelembe veszi, ugyanakkor a zárószigetelés költséghatékonyan megoldható. Erre a különböző alternatív szigetelő rendszerek lehetőséget biztosítanak, azonban ezek alkalmazása, tervezése komoly felkészültséget, tudást igényel.

A dolgozat elkészítése során nagy hangsúlyt fektettem – az egyes eljárások, az alternatív szigetelőrendszerek műszaki-szakmai bemutatásán, értékelésén, vizsgálatán túl – a rendszerek költséghatékonyságának vizsgálatára, melyet a műszaki, szakmai kérdések mellett, különösen fontos tényezőnek tartok.

Dolgozatomban az elmúlt közel nyolc év vizsgálatait, valamint tervezési, kivitelezési tapasztalatait alapján próbálom a hulladéklerakók rekultivációjának aktuális kérdéseire a válaszokat megadni. Úgy érzem, hogy a hulladéklerakók rekultivációja nem az engedélyes vagy a kiviteli tervek elkészítésével kezdődik, a feladat ettől sokkal összetettebb, komplex tudást, szemléletet igényel.

Bízom benne, hogy az érintett témakörök, az eredményeim segítséget nyújtanak a tervező kollégáim számára a gyakorlati tervezések során, és a későbbiekben hatékonyan fel tudják használni kutatási eredményeimet.

1. Hulladéklerakók veszélyeztető potenciáljának meghatározása

A hulladéklerakók rekultivációjának tervezéséhez a lezárni kívánt hulladéklerakó alapos ismerete szükséges. Egy adott hulladéklerakó környezetre gyakorolt kockázatát a rekultivációs tervezés előtt elvégzett teljeskörű környezetvédelmi felülvizsgálat elvégzésével lehet megbecsülni. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a felülvizsgálatot nem csupán a rendelet által kötelezően előírt tartalomjegyzéknek megfelelően kell elkészíteni, hanem minden – a rekultivációs tervezés során szükséges – kérdésre választ kell adni. Ezek a kérdések bővebb vizsgálatot jelentek, mint egy „egyszerű” környezetvédelmi felülvizsgálat. A felülvizsgálatnak fel kell tárnia minden olyan kockázati elemet, amely alapján a lerakó rekultivációja megtervezhető, kivitelezhető. A rekultivációs tervezés leegyszerűsítve nem más, mint a meglévő, vagy a későbbiekben valószínűsíthető környezeti kockázatokra adott műszaki válaszok.

Természetesen a rekultivációs tervezés elveiben elvégezhető a konkrét kockázatok ismerete nélkül, a létező legbiztonságosabb rekultivációs rétegrend és egyéb létesítmények (pl. résfal) megtervezésével, ami azonban sok esetben a beruházó számára jelentős mértékű és a legtöbb esetben szükségtelen többletkiadással járna.

Nem szabad megfeledkezni, a lerakók helykiválasztása során alkalmazandó „optimális kockázat elvéről” sem, amely szerint minden emberi tevékenység bizonyos kockázattal jár. Ezt egy optimálishoz közelítő minimális szintre célszerű csökkenteni, amelyet tudatosan vállalni kell. A zérushoz közelítve történő csökkentés olyan mértékű többletráfordítással járna, amely nem lenne konform az eredménnyel. A tervezésnél meg kell teremteni a környezeti kockázat és rekultiváció bekerülési költségének összhangját.

Egy másik fontos érv a lerakó környezetre gyakorolt kockázata megismerése mellett az, hogy a lerakókat nem minden esetben, sőt a legtöbb esetben nem a környezetvédelmi szempontból legmegfelelőbb helyre építették, a létesítmény helyszínének kiválasztása során egyéb (pl. gazdasági, gazdaságossági) szempontok élveztek előnyt. Különösen igaz ez a több mint 20 éve épült és mostanáig, vagy ma is üzemelő hulladéklerakókra. A tudatos, célzott helykiválasztásra az elmúlt másfél évtizedben helyeződött át a hangsúly, amely során a lerakó helykiválasztását több-kevesebb sikerrel a környezetvédelmi szempontok (is) vezérelték.

Egy hulladéklerakó a legnagyobb környezetvédelmi kockázatot a földtani közegre és a felszín alatti vizekre jelenti. A kockázatértékelés, és a későbbi tervezés szempontjából a földtani közegre és a felszín alatti vízre vonatkozó kockázatok ismerete kiemelten fontos.

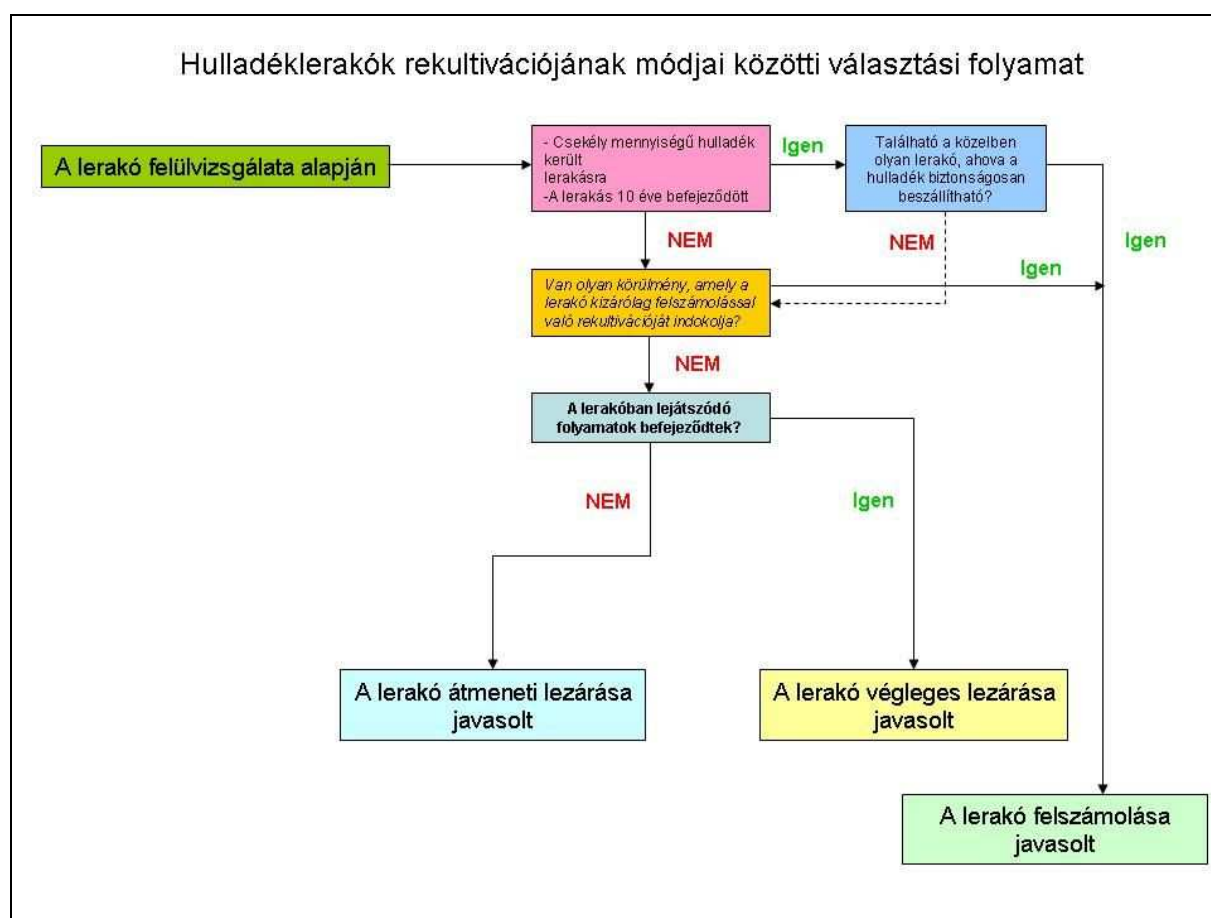
A veszélyeztető potenciál meghatározása különösen nagy hangsúlyt kap abban az esetben, amikor több hulladéklerakót kívánnak rekultiválni egy projekt keretén belül. Ebben az esetben, mivel az egységes alapokon nyugvó kockázatértékelés ezt lehetővé teszi, alkalom nyílik a hulladéklerakók környezetre gyakorolt hatásának egymással való összevetésére, a lerakók rekultivációja prioritási sorrendjének meghatározására. Célszerű elvégezni a kockázatelemzéseket abban az esetben is, amikor a lerakók rekultivációjára egy meghatározott keret áll rendelkezésre. Ebben az esetben a kockázatelemzések elvégzésével a későbbi döntések jól megalapozhatóak.

A téma aktualitását adják a jelenleg zajló KEOP pályázatok, ahol egy projekten belül több tíz, de akár száz hulladéklerakó rekultivációjára kerül majd sor.

1.1. A környezeti kockázatok értékeléséhez rendelkezésre álló módszerek

A földtani közegre gyakorolt hatás megismerésére számos értékelő módszer létezik. Ezen módszerek többsége a lerakók helykiválasztási folyamatának a támogatására készült, azonban az egyes módszerek filozófiájának figyelembe vételével az alapelvek jól használhatók a rekultiváció során is.

A területértékelésnek több, a gyakorlatban bevált módja létezik. Az egyik lehetséges változat, amikor egy folyamatábrán végighaladva értékeljük a környezeti kockázatot (Szabó A., 2008.). A vizsgált kérdésekre alapvetően csak „igen” vagy „nem” válasz adható. Ez az értékelési mód nem teszi lehetővé az egyes vizsgálandó problémák számszerűsítését, vagy különböző „fontossággal”, súlyozással történő figyelembe vételét. Egy ilyen értékelést mutat be az **1.1. ábra**.



1.1. ábra

**Hulladéklerakók rekultivációjának módjai közötti választási folyamat
(Szabó A., 2008.)**

Az ábra alapján jól látszik, hogy ezen értékelő módszer segítségével nincs lehetőség az egyes kockázati tényezőket külön-külön, illetve különböző mértékben értékelni. Az ehhez hasonló értékelési módok legnagyobb előnye a gyors kivitelezhetőség, amely azonban egyben a hátránya is, a módszer alapos vizsgálatra nem alkalmas, elsősorban alapvető kérdések eldöntésénél célszerű alkalmazni.

A hulladéklerakó hely kiválasztásának rangsorolásánál jól bevált az egyes tényezők súlyozott arányban történő figyelembe vétele, amit SENG (1979.) is javasolt. A módszer alap gondolata, hogy minden egyes vizsgálati kritériumhoz hozzárendel egy a jelentőségének megfelelő súlyarány számot, amely alapján az adott helyzet értékelhető, illetve több esettel összehasonlítható. SENG kritériumrendszerében nemcsak a földtani, vízföldtani, vízgazdálkodási adottságokat veszi figyelembe a területértékelés során, hanem az adott objektum térségének területgazdálkodási, infrastrukturális, meteorológiai, stb. adatait is.

Veszélyeshulladék-lerakók hely kiválasztása során alkalmazott egyik értékelési módszer a Le GRAND-BROWN (in FEHÉR, 1984.) által kidolgozott értékelő rendszer, amely alapvetően a hidrogeológiai adottságokra alapoz. A módszer alkalmazása során négy könnyen értékelhető tulajdonságot vizsgál, melyek az alábbiak:

- a tárolóhelynek – mint potenciális szennyező-forrásnak – a távolsága a legközelebbi vízhasználati ponttól;
- a talajvízszint mélysége a lerakó fenékszintje alatt;
- a talajvíz hidraulikus nyomáskülönbsége a területen;
- a szennyező-forrás alatti talaj vízáteresztő és szorpciós jellemzői.

A két értékelési módszer (igen/nem, súlyozás) között foglal helyet a TOMBÁCS-RADNAI (1989.) által javasolt eljárás, amely során az értékelésben szereplő egyes tényezők azonos súllyal szerepelnek a vizsgálatban, azonban az egyes tényezőket 1-10 között lehet értékelni. Az eljárás a környezeti feltételek (levegőtisztaság-védelem, vízvédelem, termőterületek, domborzat) mellett műszaki és gazdaságossági feltételeket egyaránt vizsgál.

A veszélyeshulladék-lerakók helyének geológiai, hidrogeológiai szempontból való értékelésére BOHN (1982.) javasolt pontozásos értékelést. A módszer számos jó gondolatot tartalmaz a természeti adottságok figyelembe vételére, de az értékelési rendszere túlságosan egyoldalú.

Kis méretű hulladéklerakók környezeti kockázatának elemzésére javasol megoldást a Golder Associates cég új-zélandi vállalata által 2002-ben kidolgozott RASCL módszer (Risk Assessment for Small Closed Landfills – Kis lezárt hulladéklerakók kockázatelemzése). A szerzők az eljárást 12 hulladéklerakon tesztelték, alapfeltételként régóta működő monitoring rendszert szabtak meg. A módszer alkalmazhatóságát legfeljebb 15.000 m³ kapacitású hulladéklerakókra terjesztették ki. A vizsgálati eljárás az alábbi kockázati tényezőket veszi figyelembe:

- A talajvízre gyakorolt hatás kockázata;
- A felszíni vizekre gyakorolt hatás kockázata;
- A depóniagáz akkumulálódásának kockázata;
- A felszíni hatások kockázata.

A vizsgált tényezőkön belül minden esetben az alábbiakra végzi el az értékelést:

- Szennyezők;
- Elérési útvonal(ak);
- Receptor.

Az értékelés során az egyes adatok súlyozottan adhatók meg 0-1 közötti (előre definiált) értékben.

A vizsgálat végén a lezárt hulladéklerakókat a módszer három kategóriába sorolja be:

- Alacsony kockázat;
- Közepes kockázat;
- Magas kockázat.

A besoroláson túl, a módszer használata során adódó értékek lehetővé teszik a lerakók egymással történő összehasonlításának lehetőségét.

Egy súlyozott kockázatelemző módszert javasol az ERM Hungária Kft – GREENTECH Kft által 2003-ban kidolgozott módszer (Szabó A. - Szabó I., 2006.), amelynek előnye az egyszerűség és az értékelési alapadatok egyszerű hozzáférhetősége. Az általuk figyelembe vett paraméterek többsége a HU 9911-01. számú PHARE projektben található HIR (Linsy) adatbázisból beszerezhető.

Az általuk kidolgozott értékelési módszer főbb jellemzői az alábbiak:

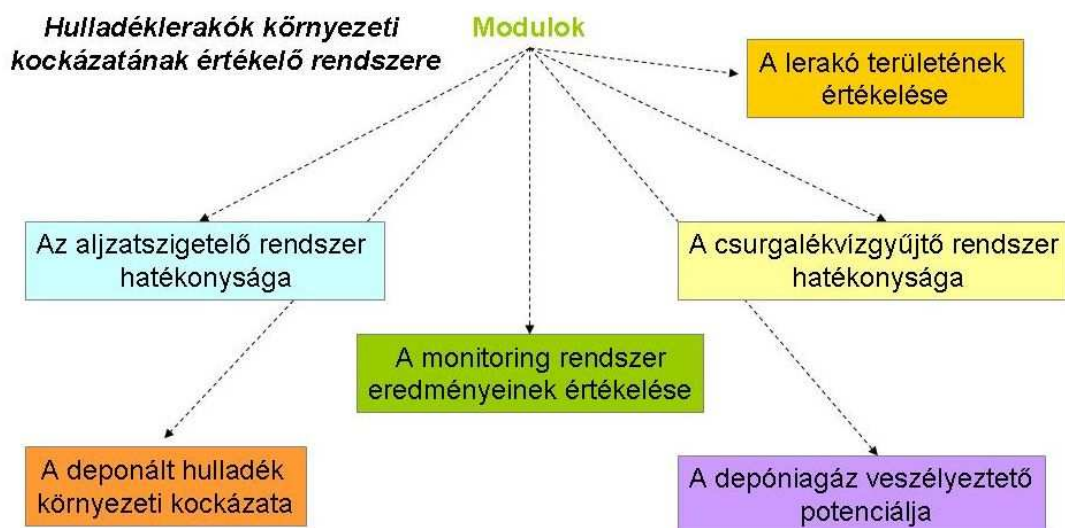
- egy adott lerakó környezeti hatását 15 adat felhasználásával határozták meg (ebből 6 adat a lerakó területi adottságaira, 9 adat pedig a lerakó műszaki kialakítására, üzemelési körülményeire vonatkozik),
- az egyes adatok esetében a környezetterhelés figyelembe vételével 3 válasz lehetőséget határoztak meg,
- egy adott lerakó esetében a vizsgált adatra vonatkozó választ jellemzően a HIR adatbázisából határozták meg (ha felülvizsgálati dokumentáció is rendelkezésre áll, értelemszerűen abból is meghatározásra kerülhet a válasz),
- egy adat jellemzéséhez tartozó válaszokhoz 0-3 között pontértéket rendeltek:
 - = 0 pont: környezetterhelés nem valószínűsíthető,
 - = 1-3 pont: a környezetterhelés valószínűsíthető mértéke 1 pont esetén kicsi, 2 pont esetén közepes, 3 pont esetén nagy,
- mind a 15 adathoz egy 1-3 közötti súlyszámot is rendeltek, amely súlyszámok az egyes adatoknak a környezetterhelés szempontjából eltérő mértékű jelentőségét fejezik ki.

1.2. A hulladéklerakók környezeti kockázatának meghatározására kidolgozott módszer

Az előző eljárások, módszerek és az eddigi tapasztalataink figyelembe vételével készítettem el egy olyan kockázatelemzési eljárást, amely a környezeti tényezők mellett a hulladéklerakó létesítményeit, műszaki védelmi rendszerét, illetve monitoring rendszerét is figyelembe veszi, értékeli.

Az értékelő folyamat több főmodulból áll, amelyek további almodulokból épülnek fel.

Az értékelő folyamat főmoduljait az **1.2. ábra** mutatja be.



1.2. ábra
Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelő rendszere

A módszer alkalmazása elsősorban az inert- és kommunálishulladék-lerakók estében javasolt.

1.2.1. A lerakó területének értékelése (1. modul)

A lerakóból esetlegesen kijutó szennyezés terjedésének elsődleges teherviselője a depónia általaja és a talajvíz. A hulladékból a csurgalékvíz kijutása révén a szennyező komponensek a talajvízbe jutnak, a talajvíz áramlásával távolabbi területekre is eljuthatnak.

A lerakó területének értékelési modulját hat alrészre osztottam, amely alegységek alapos vizsgálatával választ kapunk arra a kérdésre, hogy a depóniatestből esetlegesen kijutó szennyezés esetében mekkora az esélye annak, hogy az a közvetítő közegben (talajvíz) tovaterjedjen.

A modulban a lerakó értékelése az **1.3. ábra** által bemutatott almodulokban történik.

Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelő rendszere I. modul



1.3. ábra
Hulladéklerakók területének értékelése, I. modul

A lerakó elhelyezkedésével kapcsolatban az értékelendő szempontokat és a javasolt, adható pontszámokat az **1.1-1.2. táblázatok** tartalmazzák.

1.1. táblázat

Hulladéklerakók elhelyezkedésével kapcsolatos értékelendő szempontok I.				
A hulladéklerakó elhelyezkedése I.		Adható pontszámok	Minimális pontszám kritériuma	Maximális pontszám kritériuma
A lerakó elhelyezkedése	Lakott terület	7-10	lakosságot kevésbé érintő terület	lakosságot közvetlenül veszélyeztető terület
	Ipari, mezőgazdasági terület	5-10	létesítményekre, környezetre alacsony kockázat	létesítményekre, környezetre magas kockázat
	Védett terület közelében	7-10	védett terület veszélyeztetettsége alacsony	védett terület veszélyeztetettsége magas
	Egyéb	0-10	környezetre való veszélyesség alacsony	környezetre való veszélyesség magas

Az almodulban adható maximális pontszám: 10 pont

Az almodulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,5

1.2. táblázat

Hulladéklerakók elhelyezkedésével kapcsolatos értékelendő szempontok II.				
A hulladéklerakó elhelyezkedése II.		Adható pontszámok	Minimális pontszám kritériuma	Maximális pontszám kritériuma
A lerakó altalaja	Agyag	0-3	közepes, kővér agyagok nem repedezett, homogén, megfelelő vastagság	sovány agyag, repedezett, kis vastagság
	Iszap	4-6	kis vastagság, iszapra jellemző, de alacsonyabb vízzáróság	nagy vastagság, iszapokhoz képest jó vízzáróság, szennyezőanyag visszatartó-képesség
	Homok, homokliszt, kavics	6-10	-	kategóriának megfelelő alacsony szivárgási tényező
A talajvíz felszín alatti mélysége	0-1,5 m között	5-10		talajvízszint 0-0,5 m között található
	1,5-5 m között	3-5		
	5 m alatt	0-2		
Vízbázisvédelmi szempontok	Nem érintett terület	0		
	A lerakó vízbázis területén helyezkedik el, de a vízbázis nem sérülékeny	1-5	A lerakó műszaki védelemmel rendelkezik	A lerakó műszaki védelemmel nem rendelkezik
	A lerakó sérülékeny vízbázis területén található	5-10	A lerakó műszaki védelemmel rendelkezik	A hidrogelógiai 'A' védőterületen belül található a lerakó
A felszín alatti vizek érzékenysége	Kiemelten érzékeny területen helyezkedik el	8-10	Megfelelő műszaki védelemmel rendelkező lerakók	Műszaki védelemmel nem rendelkező lerakók
	Fokozottan érzékeny területen helyezkedik el	6-8		
	Érzékeny területen helyezkedik el	3-6		
	Kevésbé érzékeny területen helyezkedik el	0-2		
Felszíni vizek, vízfolyások távolsága	< 500 m	6-10		
	500-1500 m	3-6		
	> 1500 m	0-3		
A lerakó környezetében az éves csapadék mennyisége	700 mm alatt	0		
	700-2000 mm	3		
	2000 mm felett	5		

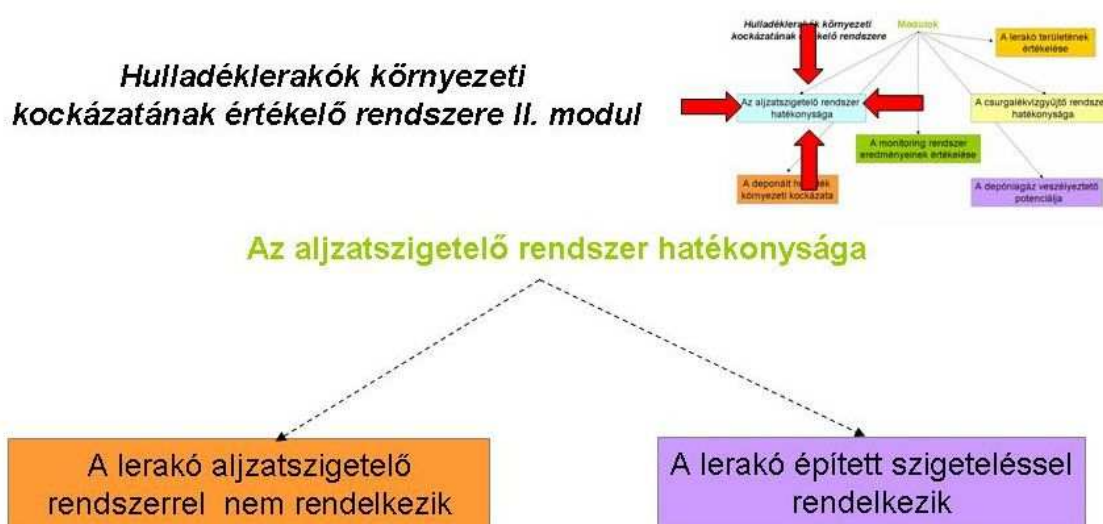
Az almodulban adható maximális pontszám: 55 pont

Az almodulhoz tartozó súlyozás értéke: 1,0

1.2.2. Az aljzatszigetelő rendszer értékelése (2. modul)

A műszaki védelem megléte jelentősen lecsökkenti a depóniatestből a szennyezés kijutásának a kockázatát. A műszaki védelem nem jelent garanciát arra, hogy a hulladéklerakóból nem jut ki szennyeződés. A műszaki védelmi rendszer vizsgálatánál figyelembe kell venni a műszaki védelem elemeit, az egyes elemek beépítéskori minőségellenőrzési dokumentumait. Vizsgálni, és a vizsgálatok alapján értékelni kell, hogy nem következett-e be a hulladéklerakó üzemelése során olyan káresemény, amely a műszaki védelemben valamilyen kedvezőtlen, a védelmi feladat ellátásában visszafordíthatatlan változást okozott.

– A 2. modulban a lerakó értékelését a **1.4. ábra** szemlélteti.



1.4. ábra

Hulladéklerakók aljzatszigetelő rendszere hatékonyságának értékelése, II. modul

A lerakó aljzatszigetelő-rendszerével kapcsolatban az értékelendő szempontokat és a javasolt, adható pontszámokat a **1.3. táblázat** tartalmazza.

1.3. táblázat

A hulladéklerakó aljzatszigetelő-rendszerével kapcsolatos értékelendő szempontok					
Az aljzatszigetelő rendszer értékelése			Adható pontszámok	Minimális pontszám kritériuma	Maximális pontszám kritériuma
I. A hulladéklerakó épített szigeteléssel nem rendelkezik	A lerakó altalaja	Vízzáró, műszaki védelmet ellát	3-5	minimálisan 1m vastagságú $k < 1 \times 10^{-9}$ m/s szivárgási tényezővel rendelkező homogén agyagréteg, maximális talajvízszint legfeljebb 1,5-2,0 m [Szabó, 1999.]	minimálisan 1 m vastagságú $k < 1 \times 10^{-9}$ m/s szivárgási tényezővel rendelkező homogén agyagréteg, maximális talajvízszint < 1,0 m
		Vízzáró, műszaki védelmet részben ellát	6-8	homogén, vízzáró ($k < 1 \times 10^{-9}$ m/s) agyagréteg, melynek vastagsága < 1 m	
		Nem vízzáró	10	Vízáteresztő altalaj	
II. A hulladéklerakó épített szigeteléssel rendelkezik	Az épített szigetelés	Kombinált	0-1	Az épített szigetelőrendszer megfelel a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet előírásainak, az építés során a megfelelő minőség folyamatosan, szakszerűen ellenőrzött	
		Csak természetes anyagú	2-4	min. 1m vastagságú, vízzáró ($k < 1 \times 10^{-9}$ m/s) épített agyagréteg, vagy ezzel egyenértékű rétegek, mely az építés során folyamatosan ellenőrzött	
		Csak mesterséges anyagú	4		
		Szenzorrendszerrel nem rendelkezik	0		
		Szenzorrendszerrel rendelkezik	-1	a szenzorrendszer bizonyíthatóan működik	

Az almodulban adható maximális pontszám: 10 pont

Az almodulhoz tartozó súlyozás értéke: 3,0

1.2.3. A csurgalékvízgyűjtő rendszer értékelése (3. modul)

A modulban vizsgált almodulokat az 1.5. ábra foglalja össze.

Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelő rendszere III. modul



1.5. ábra:
Hulladéklerakók csurgalékvízgyűjtő rendszerének értékelése, III. modul

A lerakó csurgalékvízgyűjtő rendszerével kapcsolatban az értékelendő szempontokat és a javasolt, adható pontszámokat az **1.4. táblázat** tartalmazza.

1.4. táblázat

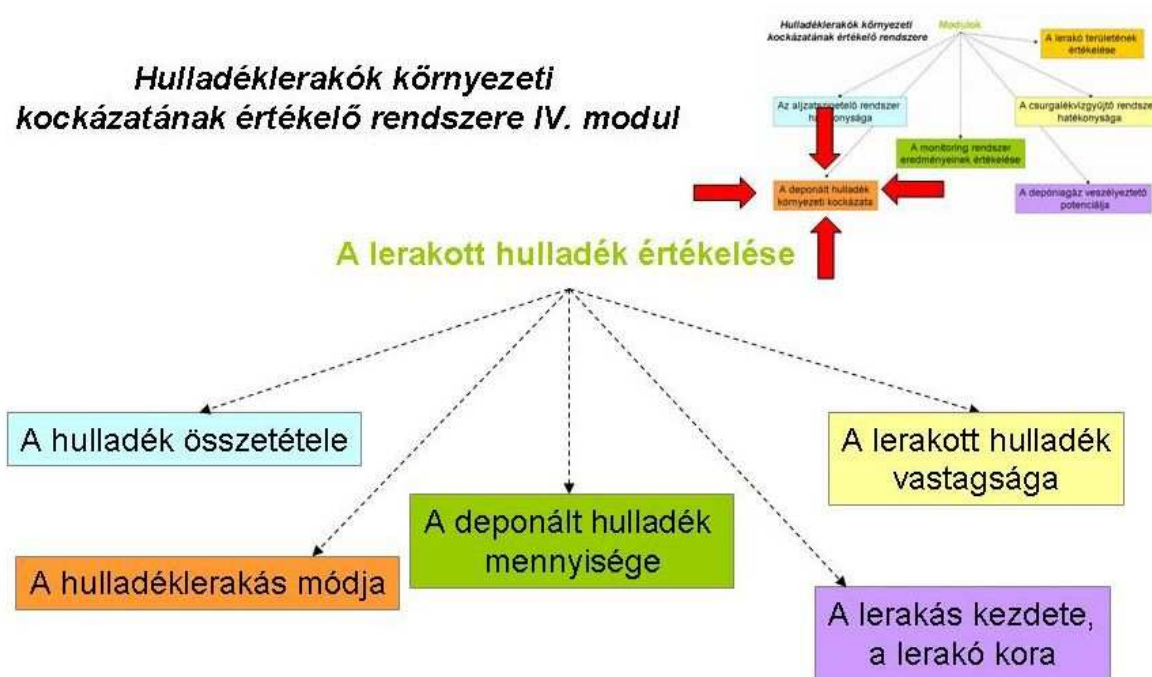
A hulladéklerakó csurgalékvízgyűjtő rendszerével kapcsolatos értékelendő szempontok				
A csurgalékvízgyűjtő rendszer értékelése		Adható pontszámok	Minimális pontszám kritériuma	Maximális pontszám kritériuma
A hulladéklerakó csurgalékvízgyűjtő rendszerrel nem rendelkezik		10		
A csurgalékvízgyűjtő medence szigetelése	Kombinált	0-2		
	Csak természetes anyagú	3-5		
	Csak mesterséges anyagú	5-6		
A csurgalékvízgyűjtő medence szenzorrendszerrel rendelkezik	Igen	-1		
	Nem	0		
A csurgalékvíz kezelésének módja	Gyűjtés-elszállítás	0	A teljes keletkező csurgalékvíz-mennyiség elszállításra kerül	
	Gyűjtés-visszaforgatás	3-4		
	Gyűjtés-kezelés	0-2	A csurgalékvíz kezelése során a kijutó kezelt víz a környezetet egyáltalán nem veszélyeztetheti	
	Nincs	6		

A modulban adható maximális pontszám: 16 pont

A modulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,75

1.2.4. A lerakott hulladék értékelése (4. modul)

A 4. modulban a lerakó értékelése az **1.6. ábrán** bemutatott módon történik.



1.6. ábra
Hulladéklerakókban a lerakott hulladék értékelése, IV. modul

A lerakott hulladékkal kapcsolatban az értékelendő szempontokat és a javasolt, adható pontszámokat az **1.5. táblázat** tartalmazza.

1.5. táblázat

A lerakott hulladékkal kapcsolatos értékelendő szempontok				
A lerakott hulladék értékelése		Adható pontszámok	Minimális pontszám kritériuma	Maximális pontszám kritériuma
A hulladék összetétele	Nem ismert	10	A hulladék összetétele nem ismert, az összetételt nem vizsgálták	
	Nem veszélyes hulladék	6	A lerakóra bizonyítottan csak nem veszélyes hulladék került beszállításra	
	Veszélyes hulladék	8		
	Inert hulladék	2	A lerakóra bizonyítottan csak inert hulladék került beszállításra	
A hulladéklerakás módja	Ellenőrzött, rendezett	0-2	A lerakó működése óta a hulladéklerakás ellenőrzött, rendezett	
	Nem rendezett	6-10		
	Illegális	10		
A lerakott hulladék becsült mennyisége	1.000 m ³ alatt	1		
	1.000-10.000 m ³ között	2		
	10.000-100.000 m ³ között	4		
	100.000-300.000 m ³ között	6		
	300.000-600.000 m ³ között	8		
	600.000 m ³ felett	10		
A lerakott hulladék vastagsága	5 m alatt	1		
	5-10 m	3		
	10-15 m	5		
	15-20 m	7		
	20 m felett	10		
A hulladéklerakás kezdete	Nem ismert	10		
	5 év óta	2		
	5-10 év	4		
	10-15 év	6		
	15 év felett	8		

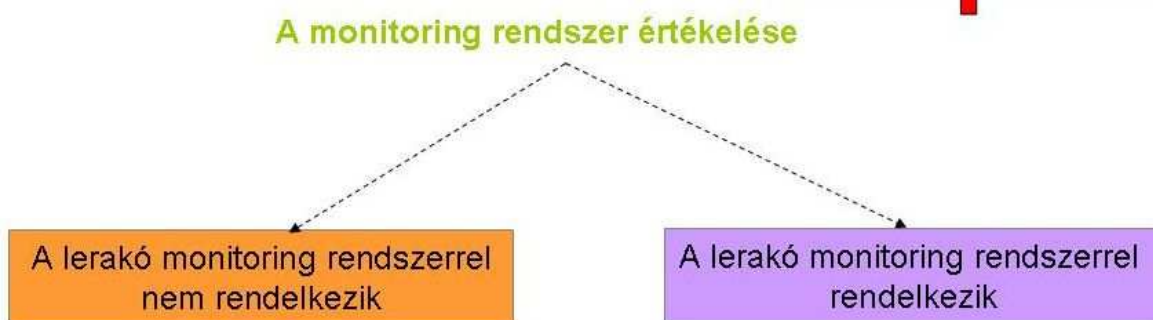
A modulban adható maximális pontszám: 50 pont

A modulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,5

1.2.5. A monitoring rendszer értékelése (5. modul)

A monitoring rendszer vizsgálatát az 1.7. ábra szemlélteti.

Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelő rendszere V. modul



1.7. ábra
Hulladéklerakók monitoring rendszerének értékelése, V. modul

A monitoring rendszerrel kapcsolatban az értékelendő szempontokat és a javasolt, adható pontszámokat az **1.6. táblázat** tartalmazza.

1.6. táblázat

A monitoring rendszerrel kapcsolatos értékelendő szempontok				
A monitoring rendszer értékelése		Adható pontszámok	Minimális pontszám kritériuma	Maximális pontszám kritériuma
A hulladéklerakó monitoring rendszerrel nem rendelkezik	A talajvíz minőségére korábbi vizsgálati eredmények nem állnak rendelkezésre	15		
	A talajvíz minőségére korábbi vizsgálati eredmények rendelkezésre állnak	7	Vizsgálati eredmények rendelkezésre állnak, de az észlelések alkalmasszerűen történtek	
A hulladéklerakó monitoring rendszerrel rendelkezik	A monitoring rendszer működése és ellenőrzése folyamatos	0-3		
	A monitoring rendszer működése nem folyamatos	4-5		
	A vizsgálati eredmények nem mutatnak ki szennyezést	0		
	A vizsgálati eredmények szennyezést mutatnak ki	6-10	A szennyezés mértékétől függően	

A modulban adható maximális pontszám: 15 pont

A modulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,75

1.2.6. A depóniagáz rendszer értékelése (6. modul)

A 6. modulban vizsgált esteket az **1.8. ábra** mutatja be.



1.8. ábra

Hulladéklerakók depóniagáz rendszerének értékelése, VI. modul

A depóniagáz gyűjtésével, kezelésével kapcsolatban az értékelendő szempontokat és a javasolt, adható pontszámokat a **1.7. táblázat** tartalmazza.

1.7. táblázat

A depóniagáz kezelésével kapcsolatos értékelendő szempontok				
A depóniagáz-rendszer értékelése		Adható pontszámok	Minimális pontszám kritériuma	Maximum pontszám kritériuma
A hulladéklerakóban keletkezik/keletkezett depóniagáz?	Nem, a hulladék összetétele nem ad lehetőséget depóniagáz keletkezésére	0		
	Nem, a depóniatestben a gázképződést befolyásoló folyamatok lezajlottak	2		
	Igen	A depóniagázt nem gyűjtik	6	
		Gyűjtött	2-4	Passzív gázmentesítő rendszer
		Gyűjtött, kezelt	0-2	Aktív gázmentesítő rendszer

A modulban adható maximális pontszám: 6 pont

A modulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,5

1.2.7. A kockázatok értékelése

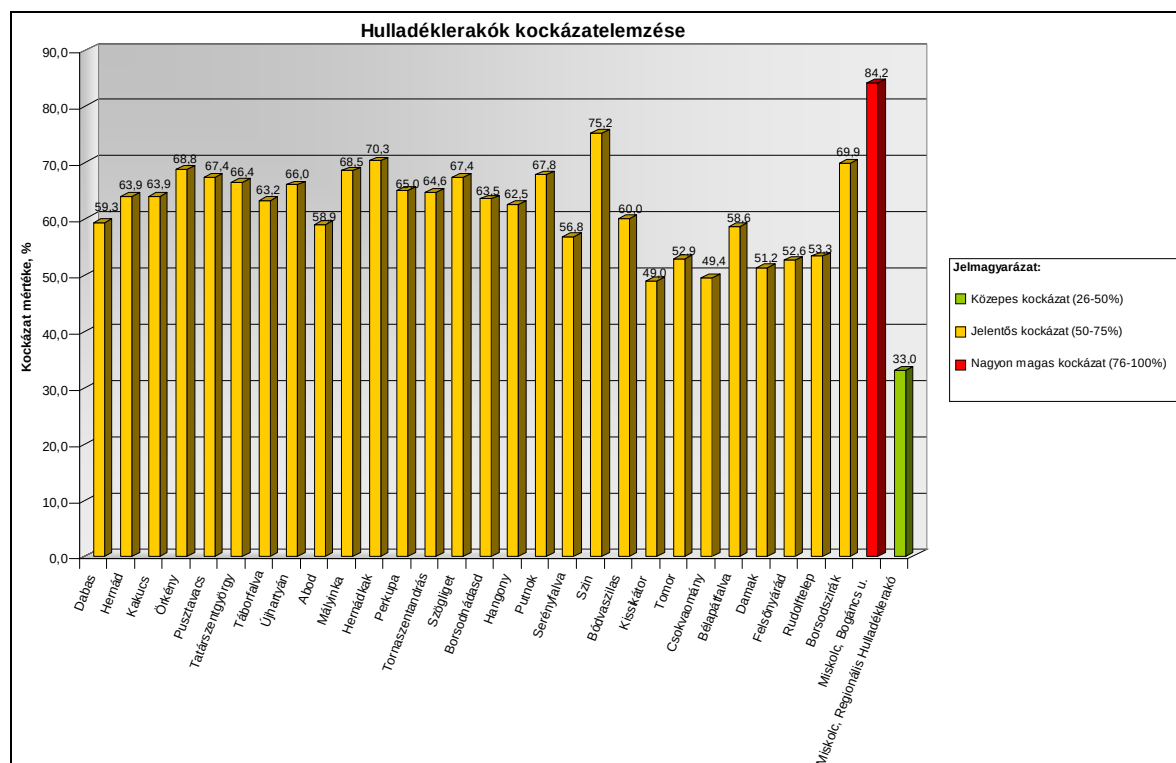
Az értékelés során egy hulladéklerakó kockázatát a *súlyozott maximális pontérték százalékában* kapjuk meg. Egy hulladéklerakó környezetre gyakorolt kockázata a fentiekben részletezettek alapján a következőképpen alakul (1.8. táblázat):

1.8. táblázat

Hulladéklerakó környezeti kockázata	
Súlyozott maximális pontérték százaléka	Környezeti kockázat mértéke
0-25 %	Alacsony, csekély
26-50 %	Közepes
50-75 %	Jelentős
76-100 %	Nagyon magas

1.3. Esettanulmány a környezeti kockázat meghatározásához

A lerakók kockázatértékelését eddig számos hulladéklerakón végeztem el, melyek összefoglalását szemlélteti az 1.9. ábra. A módszer alkalmazását két esettanulmányon keresztül mutatom be részletesen, a már rekultivált Miskolc, Bogáncs úti hulladéklerakó rekultiváció előtti állapotának vizsgálatát, illetve az elmúlt években épült Miskolci Regionális Hulladéklerakót.



1.9. ábra

A lerakók kockázatértékelésének összefoglalása

1.3.1. A Miskolc, Bogáncs úti hulladéklerakó

A rekultiváció előtti állapot

A hulladéklerakó 1973 óta üzemel Miskolc területén felszíne körülbelül 195.000 m². A lerakott hulladék becsült mennyisége 5.000.000 m³. A hulladéklerakóban kommunális hulladék, építési törmelék és ipari eredetű hulladék egyaránt megtalálható, mely a több évtizeden keresztül zajló rendezetlen, ellenőrizetlen hulladéklerakás következménye. A depóniatest semmilyen aljzatszigetelő rendszerrel nem rendelkezik, a terület altalaja nem vízzáró. A talajvízszint nagyon magas, a maximális talajvízszint értéke gyakorlatilag a terepszinten van, így előfordulhat, hogy a hulladéktest alsó része talajvízben áll, mely a hulladékból kijutó szennyezőanyagok mobilizálódását nagymértékben elősegíti. A hulladéklerakó csurgalékvízgyűjtő rendszerrel nem rendelkezik, a hulladéktesten átszivárgó csapadékvíz csurgalékvíz formájában gyakorlatilag közvetlenül a talajvízbe jut. A lerakó közvetlen környezetében talajvíz monitoring rendszer üzemel, mely hét darab észlelőkútból áll. A talajvízben bekövetkezett változásokat negyedévente vizsgálják. A vizsgálati eredmények több esetben mutattak ki talajvízszennyezést, elsősorban a nehézfém komponensekre. Tekintettel arra, hogy a hulladéklerakó az elmúlt 10 évben is folyamatosan üzemelt (elsősorban kommunális-hulladék beszállítás zajlott), a hulladéklerakóban nagy mennyiségben található depóniagáz, melynek gyűjtése, kezelése rekultiváció előtt nem volt megoldott.

1.9. táblázat

A Miskolc, Bogáncs úti hulladéklerakó környezeti kockázatának értékelése						
Modul	Maximális pontszám	Értékelés során adott pontszám	Súlyozás	Súlyozott maximális pontszám	Súlyozott értékelt pontszám	Kockázat (%)
A hulladéklerakó elhelyezkedése I.	10	10	0,5	5	5	100
A hulladéklerakó elhelyezkedése II.	55	42	1,0	55	42	76,3
Az aljzatszigetelő rendszer	10	10	3,0	30	30	100
A csurgalékvízgyűjtő rendszer	16	16	0,75	12	12	100
A lerakott hulladék	50	39	0,5	25	19,5	78
A monitoring rendszer	15	10	0,75	11,25	7,5	66,6
A depóniagáz rendszer	6	6	0,5	3	3	100
Összesen:	162	133	-	141,25	119	84,2 %

1.3.2. A Miskolci Regionális Hulladéklerakó

A Miskolci Regionális Hulladéklerakó a mai műszaki követelményeknek megfelelően épült meg 2005-ben, amely számos település hulladékgazdálkodási, hulladékkezelési problémáját oldja meg. Az újonnan létesült hulladéklerakóra ma már közel 100 település kommunális hulladéka kerül beszállításra, amely az előző esettanulmányban bemutatott és bezárásra került Miskolc, Bogáncs úti hulladéklerakót is felváltotta 2006-tól.

A hulladékot befogadó depóniatér alapterülete körülbelül 10 hektár. Az aljzatszigetelő rendszer kettős műszaki védelemmel rendelkezik, egyrészt egy természetes anyagú aljzatszigetelő rendszerrel, illetve egy két részből álló, mesterséges anyagú aljzatszigeteléssel, mely ezáltal a kombinált szigetelésekre vonatkozó műszaki kritériumokat teljesíti. A mesterséges anyagú aljzatszigetelés alá külön szenzorrendszer nem került beépítésre, azonban a szigetelési munkák átvétele során az egyes hibahelyeket geofizikai módszerrel megkeresték, a HDPE fólián keletkezett hibákat kijavították.

A felszín alatti vizek állapotának megfigyelésére összesen hat darab monitoring kút létesült, átlagosan 9,5 m talpmélységgel. A monitoring kutakból négy darabot a hulladéklerakó depóniatérének sarkaira, egy kutat az üzemi terület, és az üzemi területen található üzemanyagtöltő állomás megfigyelése céljából, egy észlelő kutat pedig a talajvíz áramlási viszonyainak figyelembe vételével a lerakó legtávolabbi részére, a beáramlási oldalra telepítettek.

A hulladéklerakó altalaja nem vízzáró szemcsés összetétel, mely jellemzően homok, illetve kavics. A talajvíz maximális szintje a hulladéklerakó aljzatszigetelésétől 2,5 m mélységben található.

A területre hulló csapadék sokévi átlaga 500-600 mm.

Tekintettel arra, hogy a hulladéklerakó 2005-ben épült, és a hulladékszállítás csak 2006. első negyedévében kezdődött el, így jelen állapotában a hulladéklerakó nem jelent komoly környezeti kockázatot. Az értékeléshez ezért egy a későbbiekben kialakuló állapotot vettem figyelembe, amely során több mint 600.000 m³ hulladék helyezkedik el, több mint 20 m magasságban a hulladéklerakón.

1.10. táblázat

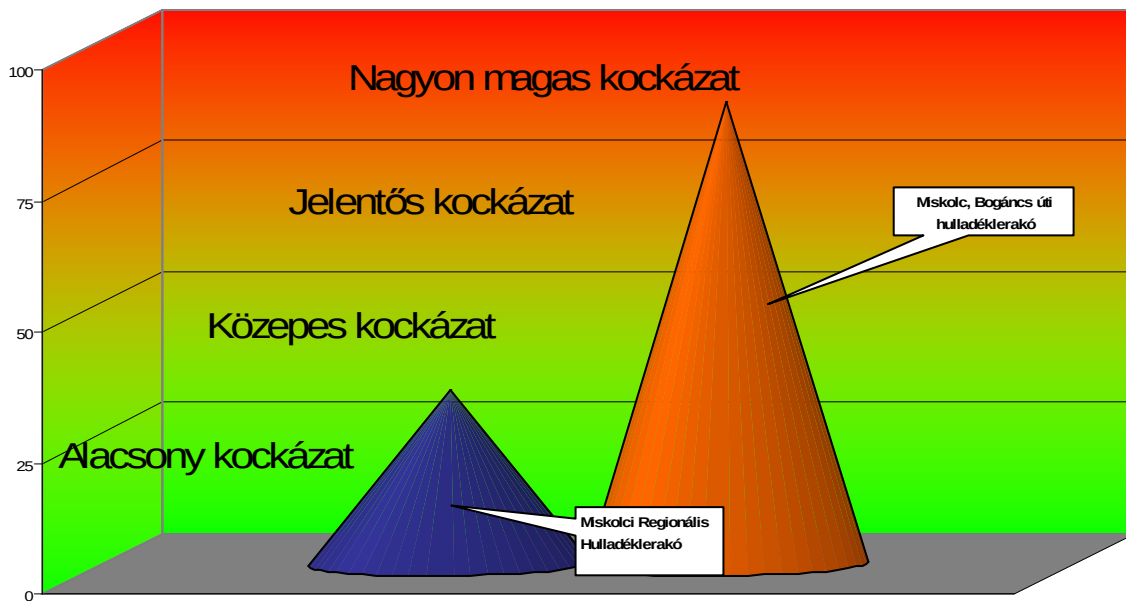
<i>A Miskolci Regionális Hulladéklerakó környezeti kockázatának értékelése</i>						
Modul	Maximális pontszám	Értékelés során adott pontszám	Súlyozás	Súlyozott maximális pontszám	Súlyozott értékelt pontszám	Kockázat (%)
A hulladéklerakó elhelyezkedése I.	10	6	0,5	5	3	60
A hulladéklerakó elhelyezkedése II.	55	21	1,0	55	21	38,1
Az aljzatszigetelő rendszer	10	0	3,0	30	0	0
A csurgalékvízgyűjtő rendszer	16	8	0,75	12	6	50
A lerakott hulladék	50	30	0,5	25	15	60
A monitoring rendszer	15	0	0,75	11,25	0	0
A depóniagáz rendszer	6	4	0,5	3	2	66,6
Összesen:	162	69	-	141,25	47	33,3 %

1.3.3. A kockázatok értékelése

Az értékelés során egy hulladéklerakó kockázatát a súlyozott maximális pontérték százalékában kapjuk meg. Egy hulladéklerakó környezetre gyakorolt kockázatának besorolását az **1.8. táblázatban** bemutattam.

Ezek alapján az esettanulmányban elsőként bemutatott Miskolc, Bogáncs úti hulladéklerakó a nagyon magas környezeti kockázatot jelentő hulladéklerakók közé sorolható (88,2 %), míg a

most épült Miskolci Regionális Hulladéklerakó közepes környezeti kockázatot jelent majd (33,3 %) (1.10. ábra).



1.10. ábra

A Miskolc, Bogáncs úti és a Miskolci Regionális Hulladéklerakó összehasonlítása környezeti kockázat szempontjából

Az ábra alapján jól látható, hogy a Miskolc, Bogáncs úti hulladéklerakó környezeti kockázata sokkal magasabb, mint az újonnan létesült Miskolci Regionális Hulladéklerakóé. A nagyon magas környezeti kockázat előrevetíti a lerakó minél gyorsabb lezárását és rekultivációját (megj.: a rekultiváció időközben megtörtént). A magas kockázati tényezők ismerete a tervezés szempontjából kiemelten fontos volt. A lerakott hulladék mennyiségéből adódóan a lerakó felszámolásában nem lehetett gondolkodni (holott ez a környezeti kockázatok ismeretében indokolható lenne, hiszen a hulladéklerakó alja talajvízben áll, azonban kiugróan magas költséggel járt volna, egy új regionális méretű hulladéklerakót kellett volna építeni). A kiemelkedően magas kockázat miatt a rekultiváció során a monitoring rendszer üzemeltetésére nagy hangsúlyt kell fektetni, ezt jelzi a több, mint 10 kútból álló monitoring rendszer.

A Miskolci Regionális Hulladéklerakó környezeti kockázata sem minimális az elvégzett vizsgálat alapján (alacsony-közepes kockázat). Ennek elsősorban a hulladéklerakó – nem éppen legszerencsésebb – helykiválasztása az oka. Ebből kifolyólag, habár a lerakó műszakilag a legkorszerűbb, sőt megerősített műszaki védelemmel – kettős geomembrán szigeteléssel – rendelkezik, a lerakó altalaja (homok, homokos-kavics összlet) rejt magában némi kockázatot. Jól látható, hogy általános esetben egy újonnan épült lerakó környezeti kockázata (itt mindig egy későbbi időpontban bekövetkező esetleges haváriáról beszélünk, mivel egy új lerakóban nincs hulladék, tehát környezeti kockázatot nem jelent) minimális és az alacsony kockázat kategóriába sorolható. Az ettől eltérő kockázati kategóriákba sorolt hulladéklerakók esetén (ha a létesítés helyén változtatni nem lehetséges) kiemelten fontos a monitoring rendszer korrekt üzemeltetése, a hulladéklerakó állapotának folyamatos nyomon követése.

A két lerakón elvégzett környezeti kockázatelemzés részletei megtekinthetők a Mélyépítés folyóiratban (SZABÓ A., 2005., 2006.), itt csak a legfontosabb következtetéseket mutattam be a kidolgozott kockázatelemzési módszer alkalmazhatóságának a szemléltetésére.

Elvégeztem a környezeti kockázatértékelést kisebb alapterületű, csekélyebb befogadóképességű hulladéklerakó környezeti hatásának értékelésére is (SZABÓ A.–SZABÓ I., 2007.), amely a módszer általános alkalmazhatóságát mutatta.

1.4. Összefoglalás

Egy hulladéklerakó környezeti kockázatának ismerete a rekultiváció tervezése szempontjából alapvető kérdés. A tervezés tulajdonképpen a környezeti kockázatokra adott válaszok együttese, amelynek során nem hagyható figyelmen kívül az „optimális kockázat elve”, miszerint minden emberi tevékenység bizonyos kockázattal jár. Ezt egy optimálishoz közelítő minimális szintre célszerű csökkenteni, amelyet tudatosan vállalni kell. A tervezésnél meg kell teremteni a környezeti kockázat és a rekultiváció bekerülési költségének összhangját. A kockázatelemzésnek alapvetően két módja van:

- eldöntendő kérdésekre történő válaszadással, folyamatábrát követve, melynek előnye a gyors, egyszerű kivitelezhetőség, hátránya az egyes kockázati tényezők „fontosságának” figyelmen kívül hagyása, a módszernek inkább a döntés-előkészítésben van fontos szerepe;
- részletes kockázatelemzés, az egyes kockázati tényezők értékelésével, ahol az egyes kockázati tényezők „fontossága” súlyozáson keresztül érvényesül.

A területértékeléskor használt értékelési módszerek több-kevesebb módosítással felhasználhatók a rekultivációk értékelése során.

Az általam készített környezeti kockázatértékelő módszer külön-külön foglalkozik a környezeti elemekkel, illetve a hulladéklerakó létesítményeivel. Az értékelés lehetővé teszi a hulladéklerakók kockázatának becslését, és ugyanolyan feltételek melletti összehasonlítást. Az összehasonlíthatóság fontossága abban rejlik, hogy több lerakó egy projektben történő rekultivációja során (hazánkban szinte kizárólag ez a gyakorlat) létre lehet hozni egy prioritási sorrendet, amely a döntéshozatalt elősegíti.

IRODALOMJEGYZÉK

- | | | |
|----------|------|---|
| BOHN, P. | 1982 | <i>Radioaktív és erősen toxikus hulladékok elhelyezésére alkalmas geológiai képződmények megítélésének rendszere</i>
Földtani Kutatás, XXV. Évf. 2. sz. pp. 96-99. |
| FEHÉR L. | 1984 | <i>Veszélyes hulladékok</i>
Műszaki Könyvkiadó, Bp |
| SENG, H. | 1974 | <i>Standortbeurteilung bei Deponien</i>
Müll und Abfall, H.5. pp. 147-156 |
| SZABÓ I. | 1999 | <i>Hulladékelhelyezés</i>
Miskolci Egyetemi Kiadó, Egyetemi tankönyv |
| SZABÓ A. | 2005 | <i>Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelése</i>
Mélyépítés, 2005. október-december, pp. 20-27., Springer Media |

- | | | |
|------------------------|------|--|
| SZABÓ A. | 2006 | <i>Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelése II.</i>
Mélyépítés, 2006. január-március, pp. 17-31., Springer
Media |
| SZABÓ A. | 2008 | <i>Hulladéklerakók rekultivációs költségeinek meghatározása</i>
Tanulmány |
| SZABÓ A. – SZABÓ I. | 2006 | <i>Hulladéklerakók lezárása és rekultivációja – tervezési,
műszaki segédlet</i>
Tanulmány |
| SZABÓ A. – SZABÓ I. | 2007 | <i>A káli hulladéklerakó teljeskörű felülvizsgálata</i>
Tanulmány |
| TOMBÁ CZ, E-RADNAI, A. | 1989 | <i>Ajánlás a beruházások környezeti hatásvizsgálatának
tartalmára és módszertanára</i>
Tanfolyami jegyzet, Bp. p. 93. |

2. Zárószigetelő rendszerek alkalmazása, alternatív zárószigetelők

A hulladéklerakók rekultivációjának lényege a deponált hulladék elszigetelése a környezeti elemektől, valamint a lehulló csapadék lerakótestbe történő beszivárgásának megakadályozása. A rekultivációs rétegrend leghangsúlyosabb eleme a zárószigetelő réteg. Ez a réteg látja el a beszivárgást gátló funkciót, a rétegrend többi eleme tulajdonképpen ezen réteg védelmét, hosszútávú jó, hatékony műszaki állapotban tartását szolgálja (a növénytelepítés és a humuszcsepeztető kivételével, amely részben tájba illesztési feladatokat is ellát).

2.1. A zárószigetelő rétegrend kialakításának háttere

A hulladéklerakók kialakítását, üzemeltetését és rekultivációját a többször módosított 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet szabályozza. A hulladéklerakók rekultivációjának, az alkalmazott rétegrendeknek meg kell felelniük az idézett rendeletnek. A rendelet kétféle zárószigetelést különböztet meg:

- Átmeneti lezárás;
- Végleges lezárás.

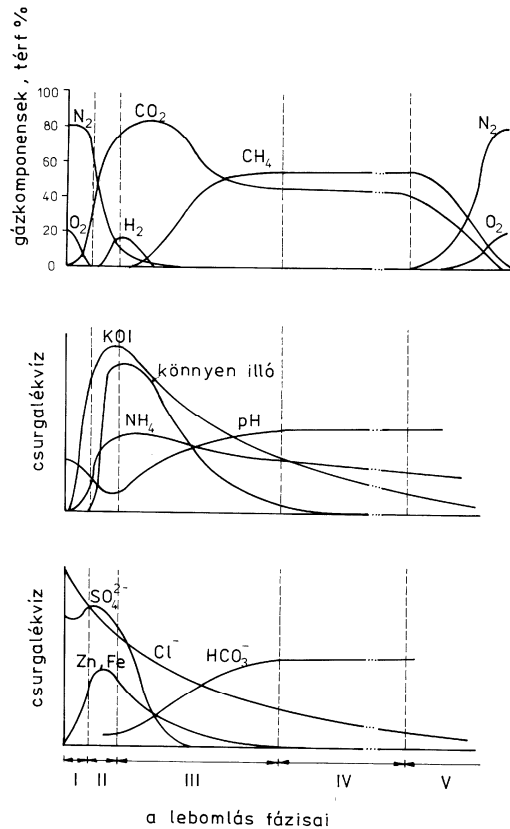
2.1.1. Hulladéklerakók átmeneti lezárása

A hulladéklerakókban deponált hulladék és a lerakótestbe beszivárgó csapadékvíz (csurgalékvíz) között fizikai, kémiai és biológiai folyamatok mennek végbe (ld. **2.1. ábra**). A hulladéktestben lejátszódó folyamatok okozzák a depóniagáz képződést, illetve a hulladéktest konszolidációját, amely a lerakótest jelentős süllyedésével is járhat (SZABÓ I., 1999.). A hulladékban lejátszódó folyamatok alapvetően a lerakó méretétől, a deponált hulladék összetételétől, a lerakott hulladék vastagságától, a depóniagáz kezelésétől függenek. Általános esetben ezeknek a folyamatoknak a döntő része a hulladékbeszállítás megszüntetésétől számított 10 éven belül befejeződik.

A megfelelő hulladékbetöltési, feltöltési magasság elérése után a lerakó vagy annak egy része bezárásra/lezárásra kerül. Azzal, hogy a lerakót lezárjuk a *hulladék-konszolidáció folyamata nem áll meg*, tovább folytatódik/megindul a *hulladék lebomlása*, valamint a *mechanikai konszolidáció*, azaz még hosszú ideig jelentős csurgalékvíz-mennyiséggel és felszínmozgással/süllyedéssel kell számolnunk. Annak érdekében, hogy:

- a hulladék lebomlásához optimális feltételeket biztosítsunk,
 - a végleges zárószigetelő rendszer egyenlőtlen süllyedések miatti tönkremenetelét megakadályozzuk ill. megelőzzük,
- célszerű a lezárás első fázisában egy ideiglenes, átmeneti zárószigetelő rendszert beépíteni.

Az átmeneti zárószigetelő réteget mindaddig üzemeltetni kell, amíg a hulladéktest biológiai és mechanikai stabilizációja/konszolidációja be nem következik.



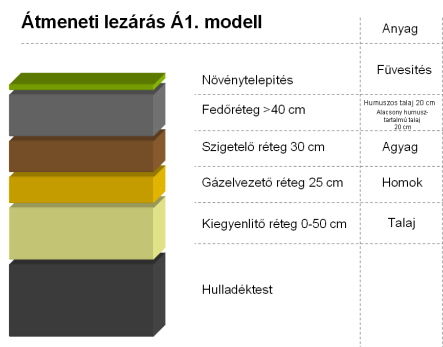
2.1. ábra

A depóniagáz és csurgalékvíz összetevőinek alakulása a lebomlási fázisban
I.: aerob lebomlás; II-IV.: anaerob lebomlás
(CHRISTENSEN - KJELDSSEN, 1989.)

Az átmeneti zárószigetelő rendszer kialakításával kapcsolatos követelmények:

- az alkalmazott anyag a várható süllyedéseket tönkrementel, jelentősebb hatékonyságcsökkenés nélkül el tudja viselni;
- segítse elő a minimális csurgalékvíz-képződést;
- akadályozza meg a csapadékvíznek a kívánatosnál nagyobb mértékű beszivárgását a depóniába;
- tegye lehetővé a depóniagáz ellenőrzött kezelését.

Az átmeneti lezárás 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által javasolt rétegrendjét szemlélteti a 2.2. ábra.



2.2. ábra

Az átmeneti lezárás 20/2006 (IV.5) KvVM rendelet által javasolt rétegrendje

A rendelet az átmeneti lezárások során is lehetőséget biztosít egyenértékű rétegrendek alkalmazására. Szigetelőréteggént az agyag mellett, elsősorban a bentonitszőnyegeket, illetve a HDPE fóliákat jöhetnek számításba. Mivel a lerakóban lejátszódó folyamatokhoz elengedhetetlenül szükséges némi beszivárgó csapadékvíz, kimondhatjuk, hogy a bentonitszőnyegeket és a HDPE fóliákat átmeneti lezárásként *túl jó* vízzáróságot biztosítanak, a víz beszivárgás csak ellenőrizetlen módon, hibás szigetelőrendszer esetén lehetséges. Figyelembe véve, hogy a hulladékok konszolidációjának folyamata monitoring rendszer, mérések segítségével nyomon követhető (SZABÓ I., 1999.), célszerűnek tartom a hulladék állapotának figyelembe vételével tervezett olyan átmeneti zárószigetelés alkalmazását, amely a szükséges mennyiségű vizet a depóniatestbe juttatja.

Amennyiben a lerakótestben lejátszódó folyamatok lezajlottak, a hulladéklerakó végleges lezárása megtörténhet. A végleges lezárás elvégezhető az átmeneti szigetelőrendszer elemeinek a felhasználásával is, amennyiben azok a lezárást követően funkciójukban nem módosultak, illetve a végleges lezáró rétegrendben betöltött szerepüket el tudják látni (SZABÓ A., 2008.).

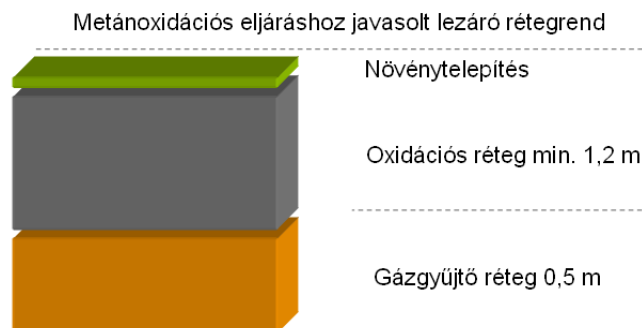
2.1.2. A hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok felgyorsítása

Annak érdekében, hogy a lerakótestben lejátszódó folyamatok minél előbb végbemenjenek, lehetőség van külső beavatkozással a folyamatok gyorsítására. Ennek célja a lerakó minél korábban történő végleges rekultivációja, illetve a lezárt depónia utógondozási időszakának lerövidítése. A konszolidációs folyamat felgyorsítása értelemszerűen többletkiadással jár, ezért, amennyiben kizárólag az utógondozási időszak lerövidítése a cél, abban az esetben célszerű költség-haszon elemzést végezni, amely során a többletráfordítás megtérülését kell vizsgálni.

2.1.2.1. A lebomlási folyamatok gyorsításának lehetőségei

Metán-oxidáció

Általánosan alkalmazott eljárás a metán-oxidáció, amely során a lerakótestbe kutakat fúrnak, és a kutakon keresztül további levegőt juttatnak be. Ennek segítségével a hulladéktest konszolidációja gyorsabban lezajlik, a keletkező biogáz mennyisége csökken (GAMPERLING et al, 2006.). A metán-oxidációs eljáráshoz azonban nem elegendő a többletlevegő bejuttatása, egyedi lezárási rétegrend alkalmazása is szükséges. Ilyen réteg felépítését szemlélteti a 2.3. ábra (LECHNER et al, 2000.)



2.3. ábra

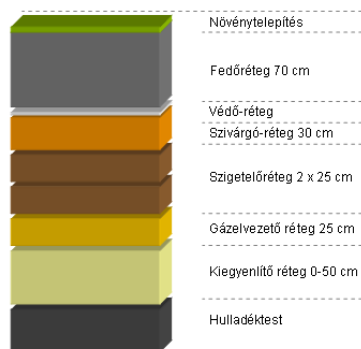
Metán-oxidációs eljáráshoz javasolt lezáró rétegrend LECHNER-HUMER (2000.) szerint

A hulladék nedvességtartalmának növelése, átszellőztetés

A metán-oxidációhoz hasonló eljárás, amely során a lerakótestbe bejutó többletlevégő mellett szabályozott módon a hulladék nedvességtartalmát növelik felülről bejuttatott víz segítségével. Mint ismeretes, a hulladéklerakóban lejátszódó folyamatokhoz vízre (is) szükség van, ezért, a konszolidáció felgyorsítása, optimalizálása érdekében a folyamatokhoz szabályozott mértékben többletvizet juttatnak. Jelentősebb mennyiségű víz hozzáadása a hulladéktestben található szennyezők transzportját is megindítja, amely olyan lerakók esetében, amelyek rendelkeznek csurgalékvízgyűjtő és kezelő rendszerrel, kedvező, hiszen a szennyező anyagokat kijuttatja a depónia területéről, majd kezeli azokat. Ezzel egyrészt a depóniatest környezeti kockázatát csökkenti, másrészt a lebomlási folyamatokat felgyorsítja, ezáltal a hulladéklerakó utógondozásának idejét lecsökkenti (HEYER et al. 2005.).

2.2. A hulladéklerakók végleges lezárása

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által a nem veszélyes hulladéklerakók lezárására javasolt zárószigetelő rétegrend kialakítását a **2.4. ábra** mutatja be.



2.4. ábra

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által javasolt zárószigetelő rétegrend

A **2.4. ábrából** jól látható, hogy a zárószigetelő rétegrend meglehetősen összetett, több, funkciójában különböző rétegből áll, melyek a következők (alulról felfelé haladva):

Kiegyenlítő réteg

Javasolt vastagság: 0-50 cm

Funkciója: a hulladéktest felső és oldalirányú kiegyenlítése, módosítása (beleértve az átmeneti felső zárószigetelő rendszerrel történt lezárás során kialakult süllyedések megszüntetését is), valamint a hulladéktest alkalmassá tétele a következő rétegek elhelyezésére.

Javasolt anyaga: kis mésztartalmú, homogén, nem kötött talaj, kohósalak vagy hulladékégető salakja, B3 kategóriájú lerakó esetén jó gázvezető-képességű talaj, kohósalak, hulladékégető salakja, aprószemcsés hulladék, külön jogszabályban meghatározott maradék hulladék vagy stabilizált biohulladék.

A tapasztalataim azt mutatják, hogy a kiegyenlítő réteg megkívánt vastagsága a hulladékrendezés minőségétől, illetve a lerakott hulladék szemcseösszetételétől függ. A kiegyenlítő réteg képezi a szigetelőréteg aljzatát (amennyiben külön gázvezető réteget nem építünk be a zárószigetelő rendszerbe). A hulladéktest rendezése során az átrendezett hulladék fellazul, nehezen tömöríthető vissza. A hulladékra terített kiegyenlítő réteg szintén nehezen

tömöríthető. A kiegyenlítő réteg vastagságát célszerű minimálisra (de legalább 20 cm!) csökkenteni, ezáltal a szigetelőréteg építése szempontjából kedvezőbb aljzatot kapunk, mint 50 cm vastagság esetén. Egy bentonitszőnyeg, mint zárószigetelő réteg terítése során előfordulhat, hogy vastagabb kiegyenlítő réteg használata során a tömörítetlen, vagy kevésbé tömörített kiegyenlítő rétegen oly mértékben keletkezhetnek benyomódások, mélyedések (pl. gépek mozgásának hatására), hogy a bentonitszőnyeg átlapolásai szétcsúszhatnak, ezáltal a bentonitszőnyeg szigetelő funkciója sérülhet.

Gázvezető réteg (ha szükséges)

A réteg beépítésének szükségességét a rendelet a depóniagáz képződéstől teszi függővé.

Funkciója: a hulladék egyes összetevőinek biológiai bomlása során keletkező hulladéklerakó-gáz gyűjtőrendszerbe történő elvezetése.

Anyaga: kis mésztartalmú, egyenletes szemcseeloszlású, jó gázvezető-képességű anyag, amely az adott esésviszonyok mellett kellő állékonyságú.

Véleményem szerint a gázvezető réteg megfelelő áteresztő-képességű kiegyenlítő réteg alkalmazásával az esetek többségében elhagyható. A gázvezető réteg anyagának tulajdonságai, paraméterei nagy mértékben hasonlítanak a kiegyenlítő réteg anyagára, így úgy gondolom, hogy átgondolt, tervezett (a gázvezetési funkciót is figyelembe vevő) kiegyenlítő réteg alkalmazásával ezen réteg beépítése nem szükséges.

Szigetelőréteg

Javasolt vastagság: 2×25 cm (természetes anyagok alkalmazása esetén)

Funkciója: a víz hulladéktestbe való bejutásának megakadályozása

A réteg többféle (ásványi és mesterséges anyagú) anyag egymás fölé rétegezésével készíthető. Az ásványi vagy természetes anyagú szigetelőrétegnél alkalmazott megoldásnak egyenértékűnek kell lennie az előírt 2×25 cm vastagságú, adott szivárgási tényezőjű (B1b és B3 kategóriájú lerakóknál $k \leq 5 \times 10^{-9}$ m/s, C kategóriájú lerakóknál pedig $k \leq 10^{-9}$ m/s) megoldással. Az egyenértékűség feltétele a hidraulikai egyenértékűség.

Szivárgó- és szűrőréteg

Funkciója: a fedőrétegen esetleg átszivárgó víz szigetelőréteg fölötti tartózkodási idejének csökkentése, illetve a zárórétegből való mielőbbi hatékony elvezetése.

Anyaga: mosott kavics, a rézsűkön osztályozatlan homokos kavics vagy kőzúzalék, $k \geq 5 \times 10^{-3}$ m/s szivárgási tényezőjű aprított hulladék, amelyből vízzel nem oldódik ki kockázatos anyag

A rendelet a rézsűfelületeken kívül nem teszi lehetővé a mosott kavics rétegtől való eltérést. Célszerű azonban azt figyelembe venni, hogy a jogszabály által előírt szivárgási tényezővel – mint a réteg hatékony működését meghatározó döntő műszaki paraméterrel – a homokos kavics rétegek is rendelkeznek. A jogszabály nem ír elő a szigetelő és a szivárgóréteg között szűrő-védő réteget (pl. geotextília), amely a szivárgóréteg és a szigetelőréteg elválasztását oldaná meg. Az elválasztási funkció fontos, tekintettel arra, hogy ha a szivárgórétegbe víz jut be, az leszivárog egészen a szigetelőréteggig, amely majd a szigetelőréteget nedvesíti. Ezen nedvesítés és a szigetelőrétegre jutó terhelés hatására a szivárgóréteg anyaga benyomódhat a szigetelőrétegbe (amennyiben az természetes anyagokból épült), ezáltal csökkentheti a szigetelőréteg védelmi funkcióját.

Részlegesen említi a rendelet a szivárgóréteg felett a szűrő-védőréteget, amelynek alkalmazása a szivárgóréteg eltömődésének, illetve a növényi gyökerek roncsoló hatásának megakadályozása érdekében célszerű.

Fedőréteg

Funkciója: a csurgalékvíz minimalizálása, az alatta lévő rétegek védelme, a növényzet telepítéséhez szükséges, megfelelő környezet biztosítása.

Anyaga: A réteg többféle anyag egymás fölé rétegezésével készíthető. A szivárgó- és szűrőréteggel érintkező (20-30 cm vastagságú) gyökérszűrő réteg erősen kötött vagy erősen kötőrmelékös tömör anyag, célszerűen osztályozott építési-bontási hulladék. Ezt követi az (50-70 cm vastagságú) általaj réteg, amely készülhet kis humusztartalmú talajból vagy stabilizált biohulladékból. A fedőréteg legfelső része a (mintegy 30 cm vastagságú) szerves anyagban gazdag talajréteg, amely a növények táplálását szolgálja. A természetes anyagú szigetelőréteg felett a szivárgó-szűrő réteg és a fedőréteg összvastagsága legalább 1,0 m legyen.

A rendeletben megfogalmazott legalább 1,0 m vastagság elérésének célja kettős:

- Az első, legfontosabb elérendő cél a szigetelőréteg védelme a fagyhatás ellen. Korábbi vizsgálatok bizonyították, hogy a természetes anyagból épült szigetelőrétegek vízzárósága több fagyasztási-felengedési ciklus után akár jelentős mértékben csökkenhet.
- A vastagság elegendő életteret nyújt a célzottan telepített növényzetnek, azonban a tervezés során célszerű olyan növényeket tervezni, amelyek gyökérzete nem tud mélyre hatolni, nem veszélyezteti a szivárgó- és a szigetelőréteget.

Vegetációs réteg

Funkciója: a víz alsóbb rétegekbe való bejutásának akadályozása, illetőleg az erózióval szembeni védelem.

Anyaga: nem mélygyökérzetű, kis tápanyagigényű, szárazság- és forróságtűrő növények, amelyek megfelelnek az ökológiai környezetnek is.

Az egyenértékűség számítása

A zárószigetelő rendszerek esetében a rendelet lehetővé teszi, az ott meghatározott természetes anyagú szigetelőrétegen kívül más, alternatív szigetelőrétegek alkalmazását, melynek feltételül a hidraulikai egyenértékűséget szabja.

A szigetelőrétegre általánosan elmondható, hogy egyenértékűnek tekinthető az a két szigetelőréteg, amelyeket az alkalmazás feltételei mellett azonos kumulatív transzport jellemez.

Aljzatszigetelések esetében döntően a szennyezőanyag-transzport két komponensével kell csak számolnunk (LAKATOS-SZABÓ I., 1999.):

- *hidrodinamikai transzport*
- *diffúziós transzport*

Zárószigetelések esetében bejutó szennyezőanyaggal gyakorlatilag nem kell számolnunk, hiszen „felülről” csak csapadékvíz jut be a rendszerbe, elegendő a hidrodinamikai transzportot figyelembe venni, a szennyezőanyag visszatartó-képességet ebben az esetben figyelmen kívül hagyhatjuk (a zárószigetelő rendszerbe szennyezett anyagok nem építhetők be).

2.3. Zárószigetelő rendszerek alkalmazhatósága

A zárószigetelő rendszerek során hazánkban az eddig befejezett rekultivációk során a legtöbb esetben agyagszigetelést alkalmaztak. Úgy gondolom, hogy az alternatív rendszerek alkalmazásától a tervezők, a kivitelezők és az engedélyező hatóságok általában tartanak, egyrészt, mert ezek a rendszerek többé-kevésbé ismeretlenek, másrészt kevésbé ismertek az alternatív szigetelő rendszerek alkalmazásának előnyei.

Az elkövetkezendő évek jelentős változást hoznak a hulladéklerakók rekultivációjában, a bevezetésben említett KEOP pályázatok több ezer hulladéklerakó rekultivációját oldják meg. A hulladéklerakók rekultivációja jelentős mennyiségű agyag, kavics, stb. beépítését kívánja meg. Ezen anyagigény jelentős részét bányákból, mint anyagnyerőhelyekről oldják meg. Fontos belegondolni abba is, hogy a lerakók rekultivációja során az érintett hulladéklerakó által okozott kockázatokat minimalizáljuk, ugyanakkor egy másik helyen újabb (értelemszerűen a lerakókhoz képest sokkal kisebb) kockázati tényezők jelennek meg (új bányák nyitása, jelentős mennyiségű ásványi anyag kitermelés, szabad vízfelületek nagymértékű növekedése). Másik gyakorlati tapasztalat, hogy nagyobb méretű rekultivációk során, különösen azokon a helyeken, ahol kevés ásványi nyersanyag áll rendelkezésre a lezáráshoz felhasználni kívánt anyagok ára emelkedik.

Úgy gondolom, hogy a rekultivációk során az alternatív zárószigetelések alkalmazása reális lehetőség.

2.3.1. A zárószigetelő rendszerek megoldásai

2.3.1.1. Agyagszigetelés

Általánosan alkalmazott megoldás rekultivációk során az agyagból épített szigetelőrétegek beépítése. A szakirodalom szerint ásványi anyagú szigetelés beépítése 1:2,5 rézsúhajlásig az esésiránnyal párhuzamosan történhet, nagyobb esésnél a beépítése kritikus. A kivitelezések során szerzett tapasztalataim azonban azt mutatják, hogy rézsűk, különösen hosszabb rézsűk esetén az agyagszigetelés beépítése nagyon nehezen vagy egyáltalán nem végezhető el. Az elérni kívánt szigetelő-képességhez a beépíteni kívánt agyagot a legtöbb esetben nedvesíteni kell. Az agyag víztartalom-növeléséhez nem elegendő csupán a vizet a réteg felületére kijuttatni, azt átforgatással be is kell tudni dolgozni az agyagrétegbe. Forró napsütéses nyári napokra jellemző, hogy az agyagrétegre nedvesítés céljából kijuttatott víz 70-80 %-a elpárolog, tehát a víztartalom növelésében a kijuttatott víz csupán 20-30 %-a játszik szerepet. A rézsűoldalakon az anyag nedvesítése, átforgatása nem oldható meg hatékonyan. Az agyagra jellemző, hogy a nedvesedés hatására csúszóssá válik, amely a gépek mozgását sokszor még sík felületen is megakadályozza. Ebből kifolyólag a gépek a hosszú rézsűkön csak a lejtő irányában képesek haladni és a feljutáshoz más utat kell választaniuk. Jól példázza ezt a Miskolc, Bogánics úti hulladéklerakó esete is, ahol 1:3,5 meredekségű rézsűn az agyagszigetelés kivitelezését nem lehetett megoldani, mivel az optimális víztartalom elérésekor a gépek csúsztak, elakadtak, illetve a rézsűn nem tudtak felkapaszkodni. Ebből adódóan minden egyes művelet (járat) során a gépeknek a lerakó tetejére vissza kellett volna kapaszkodniuk, ami ezen lerakó esetén több mint 1 km további mozgást jelentett volna. Fontos megjegyezni, szintén ezen lerakón tapasztaltak alapján, hogy hosszú meredek rézsűkön, még ha elérhető is az optimális víztartalom, az általánosan alkalmazott tömörítő gépek nem tudnak akkora tömörítő munkát kifejezni, hogy a réteg tömörség, illetve vízzáróság

– mint a funkciót meghatározó két alapparaméter – szempontjából megfelelő legyen. Célszerű megemlíteni, hogy a tömörítéshez használt gépek (melyek tömege meghaladhatja a 25 tonnát) meredek, csúszós talajon való mozgása nagyon balesetveszélyes.

Nagyon jól szemléltetik a lejtős térszínen történő szigetelőréteg építési problémáit a mecseki uránérc zagyatárolók lezárásához végzett in situ vizsgálatok eredményei (lásd **2.12. ábrán**). Ugyanazon beépítési technológia mellett a rézsűoldalon lévő próbamezőkön a vízzáróság lényegesen rosszabb volt, mint a vízszintes térszínen.

A hulladéklerakók egyéb felületein (pl. tetők) az agyagszigetelés az általánosan alkalmazott gyakorlat szerint használható. Megfontolandó azonban az agyagszigetelés alkalmazása azokban az esetekben, amikor az agyag nem áll rendelkezésre kellő mennyiségben és/vagy minőségben, és a réteg ismételt beépítése szükséges (pl. újratömörítés, mert a szivárgási tényező értéke nem volt megfelelő a minőségellenőrzés során). Az újratömörítés során az agyagréteget fel kell lazítani, esetleg a víztartalmát növelni kell, majd újratömöríteni szükséges. Mivel az agyagréteg közvetlenül a kiegyenlítő rétegre kerül, a tapasztalataim azt mutatják, hogy a fellazítás során a kiegyenlítő réteg összekeveredhet az agyaggal (pl. a homok kiegyenlítő réteg bekeveredik az agyagrétegbe), ezáltal az agyag vízzáróság tovább csökkenhet.

Ellentétben az aljzatszigetelésnél tapasztaltakkal, a zárószigetelésnél a szigetelőréteg tömörítését, beépítését a *Proctor görbe száraz oldali ágán* ($w_{be} < w_{opt}$) kell végezni, $T_{rp} > 95\%$ tömörségi feltétel mellett.

A természetes anyagú szigetelőréteg kiválasztásánál figyelembe veendő szempontok, értékelési kritériumok:

- Szigetelő-képesség:
 - vízzáróság;
 - gázokkal szembeni szigetelő-képesség.
- Mechanikai ellenálló-képesség:
 - állékonyság;
 - alakváltozási biztonság;
 - erózióval szembeni ellenálló-képesség.
- Időállóság:
 - a gázkondenzátumokkal szembeni ellenálló-képesség;
 - hőmérsékletváltozással szembeni érzékenység;
 - mikroorganizmusok, gombákkal szembeni ellenálló-képesség;
 - a növényi gyökérzettel szembeni jó ellenálló-képesség.
- Kivitelezés
 - a szabályoknak megfelelő kivitelezés biztosítása;
 - mechanikai ellenálló-képesség az építési fázisban előforduló terhekkel szemben;
 - időjárás változással szembeni tűrőképesség;
 - ellenőrizhetőség;
 - javíthatóság.

Az agyag szigetelőréteg alkalmazásának előnyei-hátrányai:

Előnyök:

- általában kedvezőbb ár;
- a kivitelezés nem igényel speciális szaktudást;
- a tömörítés egyszerűbb gépparkkal is elvégezhető, azonban fontos, hogy a kivitelező rendelkezzen a tömörítéshez megfelelő géplánccal.

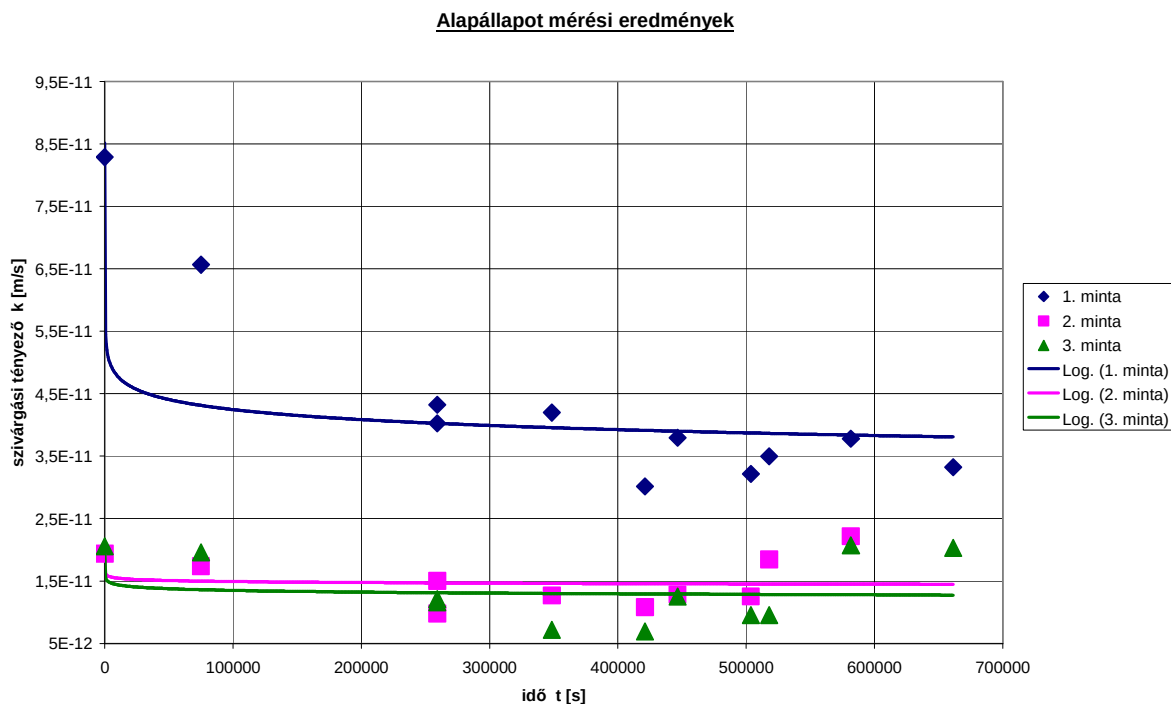
Hátrányok:

- a kivitelezés függ az időjárástól;
- télen, esős, csapadékos időben a kivitelezés nem végezhető;
- folyamatos helyszíni minőségellenőrzés szükséges;
- időigényes kivitelezés;
- jelentős gépköltség a kivitelezés során;
- nem egyenletes minőség;
- az agyagbányák sok esetben nagy távolságra találhatók (magas költség);
- ahhoz, hogy elkerülhető legyen az agyagszigetelésbe a szivárgóréteg anyagának benyomódása célszerű geotextília védőréteget beépíteni.

2.3.1.2. Bentonitszőnyegek alkalmazása

Reális és egyben költséghatékony alternatívát jelentenek a bentonitszőnyegek, melyek két geotextília (szőtt, nemszött) rétegből és a rétegek között található jó minőségű, különböző mennyiségű bentonitporból, vagy bentonit-granulátumból állnak. A bentonittöltet jellemző mennyisége $4,2\text{--}5,0 \text{ kg/m}^2$. Ezt a három rétegből álló szerkezetet száltűzéssel rögzítik egymáshoz. A rendszer lényege, hogy a bentonit jelentős mennyiségű vizet képes felvenni, ezáltal megduzzad, de a duzzadást az egymáshoz rögzített geotextília rétegek megakadályozzák és ezáltal a két geotextília között nagyon kis vízáteresztő-képességű réteg alakul ki.

A bentonitszőnyegek szivárgási tényezőjére jellemző érték: $1 \times 10^{-11}\text{--}5 \times 10^{-11} \text{ m/s}$. Bentonitszőnyegen végzett szivárgási tényező vizsgálatok eredményeit mutatja be a **2.5. ábra** (SZABÓ A. – SZABÓ I., 2005.).

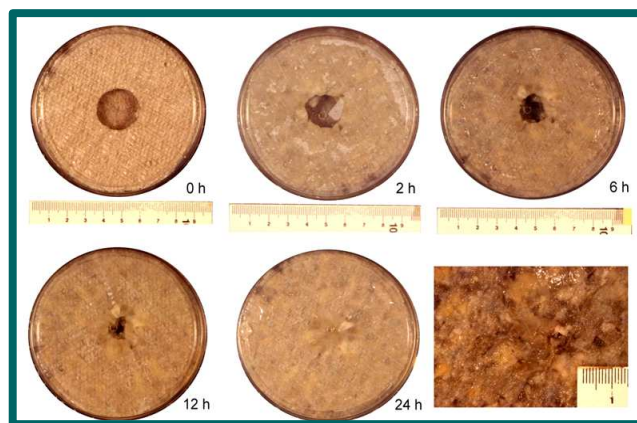


2.5. ábra
A BENTOMAT-SC típusú bentonitszőnyeg szivárgási tényező vizsgálati eredményei

A bentonitszőnyeg alkalmazásának előnyei-hátrányai:

Előnyök:

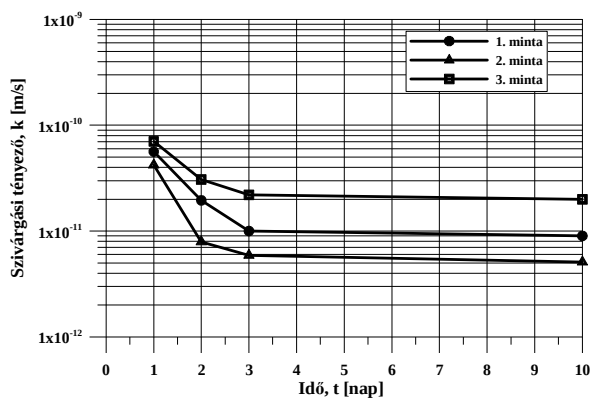
- Folyamatosan ellenőrzött minőség;
- Nincs szükség helyszíni minőségellenőrzésre;
- Kiváló ún. „öngyógyuló” képesség (ld. **2.6. ábra**);
- Gyors, pontos kivitelezés ($> 5.000 \text{ m}^2$ / nap);
- A beépítés eszközigénye alacsony;
- A beépítés munkaerőigénye alacsony (6 ember);
- A beépítés az időjárástól kevésbé függ, hideg időjárásban is beépíthető;
- Rézsún alkalmazható (1:3 rézsűmeredekség felett további elemek beépítése szükséges);
- Tervezhető szállítás, beépítés;
- A szivárgó réteg beépítéskor a bentonitszőnyeg felé nem szükséges geotextília védőréteg.



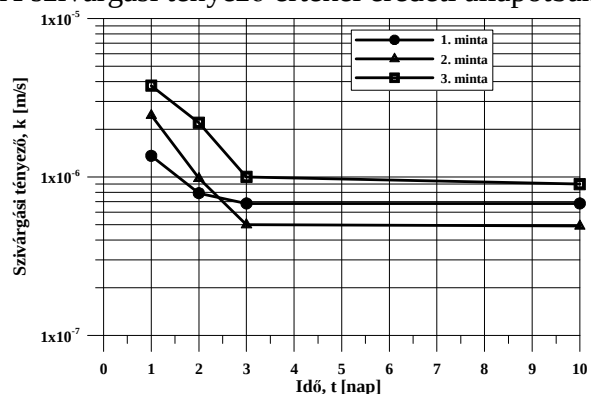
2.6. ábra
Bentonitszőnyegek öngyógyuló képessége
(MAUBEUGE, K.P., 2002.)

Hátrányok:

- Esős időben nem fektethető;
- Fektetés utáni azonnali takarás, fedés szükséges, mert a bentonitszőnyeg ennek hiányában jelentősen duzzad, ezáltal a szélessége csökken (akár 15-20 %);
- Megfelelően kialakított aljzat szükséges a fektetéshez;
- Közvetlenül gépek nem mozoghatnak a felületén – sérülékenységi;
- Direkt hajlításokra érzékeny, a hajlítási pontokon a szivárgási tényező értéke megnövekszik (SZABÓ I., 2005.) (ld. **2.7. ábra**).



A szivárgási tényező értékei eredeti állapotban

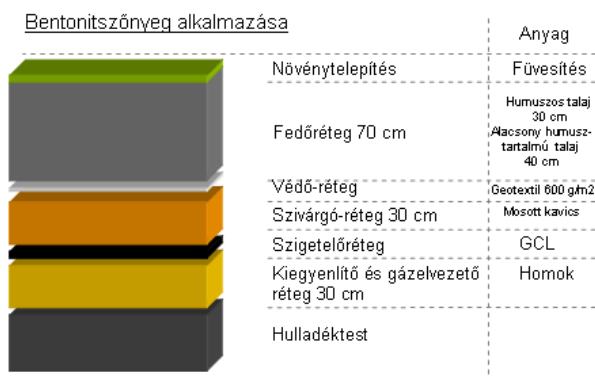


A szivárgási tényező értékei többszöri áthajtogatás után

2.7. ábra

A bentonitszőnyegek szivárgási tényező mért értékének változása
többszöri áthajtogatás után
(SZABÓ I., 2005.)

A bentonitszőnyegek felhasználásával javasolt zárószigetelési rétegrendet mutatja be a 2.8 ábra.



2.8. ábra

Bentonitszőnyeg alkalmazásának javasolt zárószigetelési rétegrendje

2.3.1.3. Polimerekkel javított homok-bentonit keverék (TRISOPLAST®)

A polimer adalékanyagot tartalmazó ásványi anyagú keveréktalajok a már ismert összetevők mellett további adalékként általában üzleti titokként kezelt összetételű polimert adagolnak. A legismertebb ilyen polimer adalékú keveréktalaj a TRISOPLAST® nevű szigetelőanyag (TD Umwelttechnik GmbH & Co. KG, Wentdorf). Magyarországon kevésbé ismert és még egyáltalán nem alkalmazták, ezért a többi alternatív megoldásnál részletesebben ismertetjük. A TRISOPLAST® szigetelőanyag műszaki adatait a **2.2. táblázatban** foglaltuk össze. Németországi tapasztalatok a keverékkel kapcsolatosan rendkívül kedvezőek, amit kiterjedt laboratóriumi vizsgálatok támasztanak alá:

Időállósága jelenleg nem tisztázott. A keverék kémiai egyensúlyi állapotban van, várhatóan hosszú távon stabil marad, azonban a polimer adalék időállóságát még vizsgálni kell. Kevés tapasztalat van a szilárdsági tulajdonságoknak a beépített rétegben való változására.

A Na-Ca *kationcsere* lényegesen lassúbb, mint a bentonitszőnyegekénél.

Biológiai hatásokkal (pl. zárószigetelésnél) szemben ellenálló, azonban további tapasztalatokra van szükség.

Szivárgási tényező értéke: nagyon kedvező, az eddigi vizsgálatok eredményei 6×10^{-11} - 10^{-12} m/s tartományban mozogtak.

Gázáteresztő-képesség: megegyezik a hagyományos ásványi anyagú szigetelőrétegekével.

Deformációs tulajdonságok: kedvezőek, a vizsgálatok szerint a relatíve száraz állapotú réteg több százaléknyi deformációra is repedésmentesen reagált.

Állékonyság: a viszonylag magas bentonittartalom a meredekebb részsükön az állékonyságot csökkenti, további helyszíni vizsgálatok szükségesek.

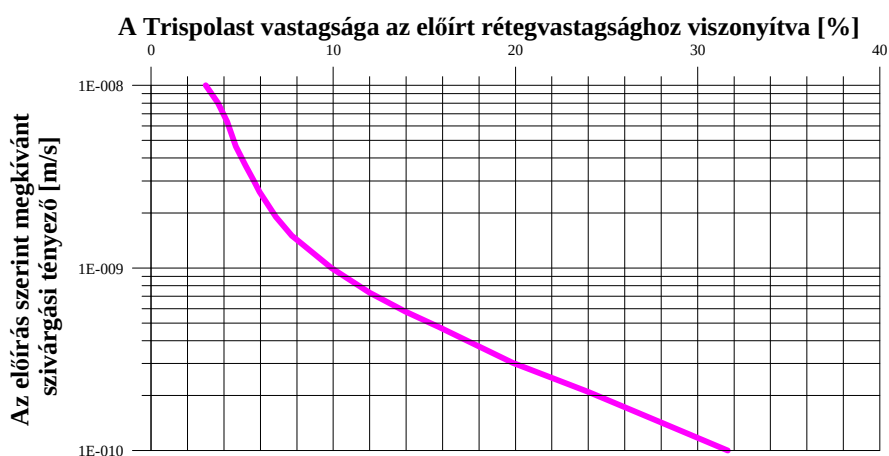
Előállítás: a keveréket *helyszínen, keverő-berendezéssel kell előállítani, a recept szigorú betartásával*. A beépítése hagyományos gépekkel lehetséges. A szivárgási tényező viszonylag érzéketlen a tömörítés minőségére, tapasztalat szerint 80-85 % tömörségi fok elérése után a k-tényező jelentősen nem változik, $T_{rp} = 92$ % elérése egyenletes, kis szivárgási tényező értéket biztosít. A minimális beépítési rétegvastagság 7-10 cm. Mechanikai sérülésekre kevésbé érzékeny, mint például a bentonitszőnyegek.

Folyamatos helyszíni minőségellenőrzés szükséges.

2.2. táblázat

A TRISOPLAST [®] szigetelő anyag jellemző paraméterei	
Összetétele:	$\leq 89,1\%$ ásványi alapanyag (pl. homok) $\geq 10,7\%$ bentonit $> 0,2\%$ polimer
Az ásványi alapanyaggal szemben támasztott követelmény:	$0,063\text{ mm-nél kisebb szemcseméret}$: $\leq 10,0$ súly % $4,0\text{ mm-nél nagyobb szemcseméret}$: $\leq 0,5$ súly % $5,6\text{ mm-nél nagyobb szemcseméret}$: $0,0$ súly % átlagos szemcseátmérő (D_{50}) : $0,15\text{--}0,70\text{ mm}$ szervesanyag tartalom : $\leq 1,5$ súly % mésztartalom : $\leq 5,0$ súly % pH érték : $4,5\text{--}10,0$ vezetőképesség : $1000\text{ }\mu\text{S/cm}$
Beépítési térfogatsűrűség	$1,62 - 1,76\text{ g/cm}^3$
Optimális tömörítési víztartalom	$8 - 16\%$
k - tényező (vízre)	$8,9 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-12}\text{ m/s}$
k - tényező (csurgalékvízre)	$4,3 \times 10^{-11} - 2,5 \times 10^{-11}\text{ m/s}$
k - tényező többszöri fagyasztás-felengedési ciklus után	$k_f \approx 1,8 \times 10^{-11}\text{ m/s}$
k - tényező (10 % deformáció mellett)	$k_f < 6 \times 10^{-11}\text{ m/s}$
Megengedett lehajlási görbületi sugár	$r \approx 6,0\text{ m}$ $w_n \approx 6\%$ víztartalomnál $r \approx 2,5\text{ m}$ $w_n \approx 20\%$ víztartalomnál
Nyírószilárdsági paraméterek	belső súrlódási szög ($\Phi \geq 30^\circ$); kohézió: ($c \geq 17\text{ kPa}$)
Geomembrán (érdesített) és a TRISOPLAST réteg közötti súrlódási jellemzők	súrlódási szög: $\Phi^* \geq 28^\circ$; adhézió: $a = 3 - 4\text{ kPa}$
Duzzadás	$\sigma = 10\text{ kPa}$ – nál $\varepsilon_{\max} = 8\%$ $\sigma = 130\text{ kPa}$ – nál $\varepsilon_{\max} = 0\%$

A megkívánt vízzáróági kritérium alapján a szükséges beépítési rétegvastagságot a 2.9. ábra alapján határozhatjuk meg.



2.9. ábra

A TRISOPLAST[®] szigetelőréteg beépítési vastagságának a meghatározása (EGLOFFSTEIN - BEHRENS, 2002.)

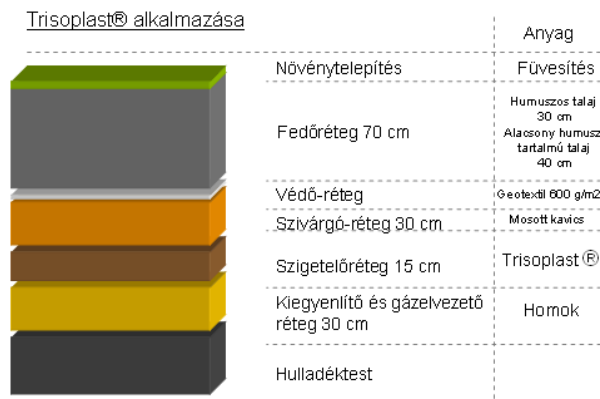
Előnyök:

- Gyors, hatékony kivitelezés;
- A kivitelezés az időjárástól kevésbé függ;
- Nem változó minőség;
- Meredek rézsűkön is alkalmazható;
- Ellenőrzött, vezérelt körülmények között történő előállítás;
- Egyszerű beépítés.

Hátrányok:

- Magas ár;
- Jelentős szállítási távolságok;
- Megfelelően, nagy pontossággal előkészített kiegyenlítő réteg szükséges;
- Speciális berendezéseket igényel.

A TRISOPLAST[®] szigetelőrendszer javasolt felépítését szemlélteti a **2.10. ábra**.



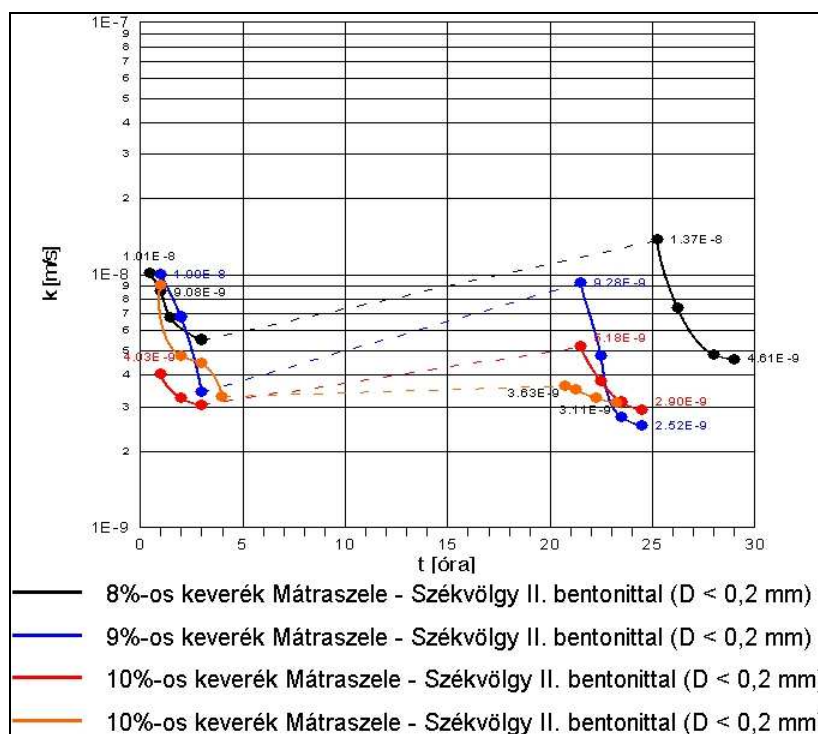
2.10. ábra

Trisoplast[®] alkalmazásának tipikus zárószigetelési rétegrendje

2.3.1.4. Bentonit és talaj keverékből előállított szigetelőrétegek

A lerakók helyén az esetek többségében nem áll rendelkezésre a helyszínen, vagy gazdaságos távolságon belül jó minőségű agyag. Ebben az esetben kedvezően alkalmazhatók szemcsés talaj és bentonit megfelelő arányú keverékből készített keverékek. A keverék szemcseeloszlása akkor a legjobb, ha *megfelel a Fuller-görbe kívánalmainak*. Keverékanyagként számos anyagot lehet alkalmazni, azonban az optimális keveredéshez szükséges a keverékanyag kis szemcsemérete, melyet homok alkalmazásával megfelelően lehet biztosítani. A rendszer zsugorodásra kevésbé hajlamos, alkalmazása a meredekebb rézsűhajlások esetében azonban csak speciális technológia mellett javasolt. A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a vízzáróságot jelentősen befolyásolja a bentonitszemcsék mérete, melyből igazán hatékonyak az 1 mm alatti szemcsefrakció bizonyult. Fontos a bentonit és a keverékanyag beépítés előtti előkészítése (örlés, keverés), illetve a beépítés során a technológiai utasítás nagyon szigorú betartása. A rendszer hatékonyságát jelentősen befolyásolhatja a beépítendő anyagokat keveredésének (homogenizálásának) mértéke. A keveréshez szükséges bentonit mennyisége a hozzáadott bentonit minőségétől függően

körülbelül 5-15 % (SZABÓ A., 2002./a). Egy korábbi vizsgálat sorozat eredményét mutatja be a **2.11. ábra**, amely során különböző összetételű bentonit-homok keverékek alkalmazhatóságát vizsgáltuk. A két anyag keverését általában helyszínen célszerű megoldani, ipari keverőgépek segítségével. Az agyaghoz hasonlóan, a beépítést ebben az esetben is csak megfelelő időjárási körülmények között szabad elvégezni, a vízzáróságot befolyásolja a beépítéskori víztartalom, gyökerekkel, állatokkal szemben nem ellenálló.



2.11. ábra

**Különböző bentonit-homok keverékek vízzáróságának összehasonlítása
(SZABÓ A.-SZABÓ I., 2002.)**

Előnyök:

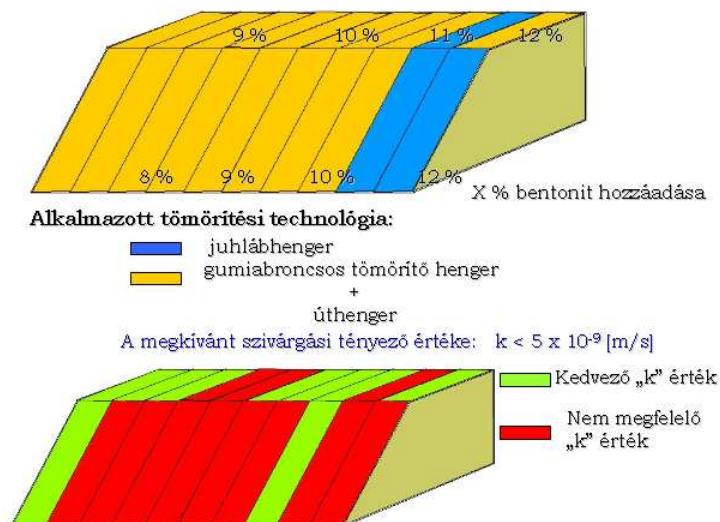
- meredek rézsűhajlásnál is alkalmazható, max 1:1,5 (speciális beépítési technológia mellett);
- zsugorodásra kevésbé hajlamos, így kisebb az esélye száradási repedések kialakulásának;
- megfelelő tapasztalatok állnak rendelkezésre már kivitelezett zárószigeteléseknél.

Hátrányok:

- kivitelezése fokozott technológiai fegyelmet, felkészültséget igényel;
- a megkívánt vízzáróság csak szűk víztartalom intervallumban biztosítható, ezért a keverék előállítására *speciális keverő-berendezést igényel a helyszínen*;
- kivitelezés közbeni erózióérzékenység.

2001-ben helyszíni nagymodell-kísérletet végeztünk abból a célból, hogy megvizsgáljuk, hatékonyan alkalmazható-e a homok-bentonit keverék zárószigetelő réteggént (SZABÓ A., 2002./b). A projekt során megvizsgáltuk a hazai számításba jövő bentonitokat, a szükséges bekeverés mértékét. A kísérletben a feladatunk a megfelelő helyszíni keverési arány meghatározása, a kivitelezés során a megfelelő géppark kiválasztása, a kivitelezés irányítása és a helyszíni szivárgási tényező értékének meghatározása volt. A kísérleti területet parcellákra bontottuk, egy parcella tartalmazott mind sík, mind rézsűs felületet. A vizsgálat

során több mint 160 szivárgási tényező vizsgálatot végeztem. A nagymodell-kísérlet eredményeit mutatja be a **2.12. ábra**.

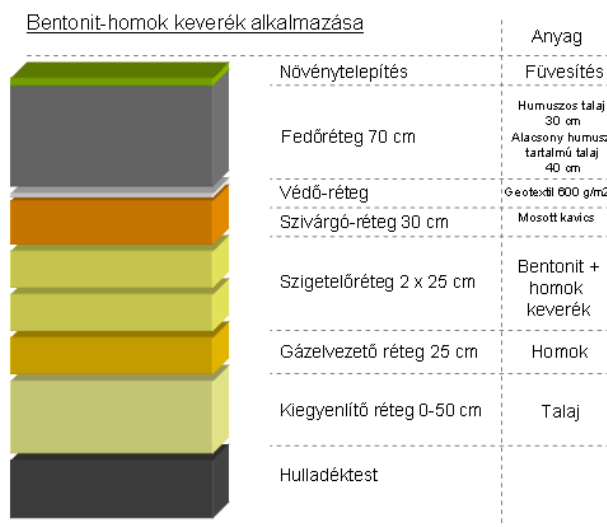


2.12. ábra

Különböző összetételű homok-bentonit keveréktalajok vízzáróságának mért értékei (SZABÓ A., 2002./b)

A **2.12. ábra** alapján látható, hogy a homok-bentonit keverékből épített szigetelőréteg reális alternatívát jelent a zárószigetelő rendszerek vonatkozásában. Jól látható, hogy a rézsűs felületen a tömörítés mértéke nem volt megfelelő, amely alátámasztja az agyagszigetelő rétegek alkalmazhatóságánál leírtakat. Meglepő eredményt hozott a juhlábhengerrel végzett tömörítés eredménye. Ekkor egyik esetben sem kaptunk megfelelő szivárgási tényező értéket. Ennek egyik oka lehetett a nem megfelelő palásttal rendelkező henger alkalmazása (a réteg vastagságához képest a hengeren található tüskék túlságosan nagyok voltak, ezért a tömörítés helyett vélhetően szétszaggatta a réteget).

Bentonit-homok keverékből épített szigetelőrendszer javasolt felépítését mutatja be a **2.13. ábra**.

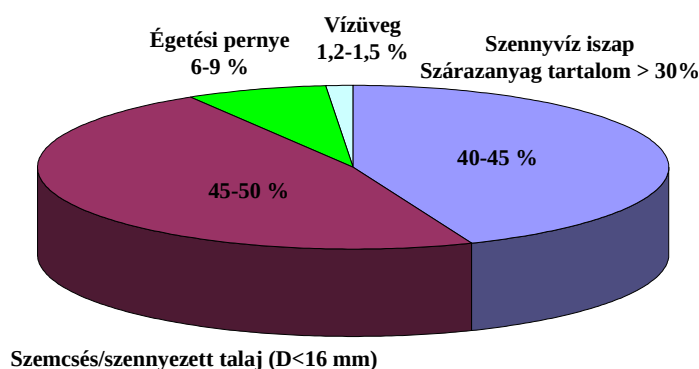


2.13. ábra

Bentonit-homok keverékek alkalmazásának egyik lehetséges zárószigetelési rétegrendje

2.3.1.5. A HYDROSTAB[®] eljárás

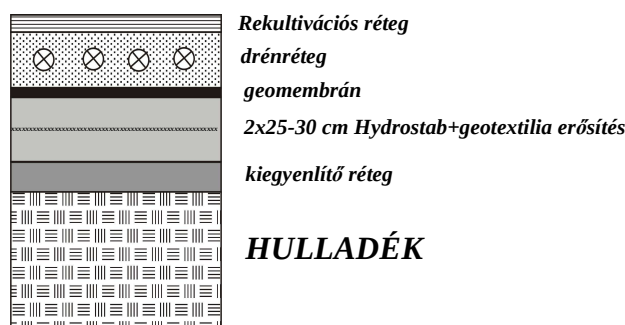
A Hydrostab[®] technológia egy – a depóniaépítésben Európa néhány országában több-kevesebb sikerrel alkalmazott – ún. vízüveges technológia. Egyedi megoldása a módszernek, hogy alapanyagként olyan összetevőket használ fel, amelyeknek ártalmatlanításáról, kezeléséről egyébként gondoskodni kellene. A Hydrostab[®] technológiában használt keverékek összetételét a **2.14. ábra** szemlélteti, s mint látható: homok, szennyezett talaj, égetési pernye, szennyvíziszap és vízüveg az egyes alkotóelemek.



2.14. ábra
A Hydrostab[®] keverékek átlagos összetétele
(SZABÓ A. – SZABÓ I., 2003./a)

Az eddigi laboratóriumi és kivitelezési tapasztalatok azt mutatják, hogy a Hydrostab[®] technológia a zárószigeteléssel kapcsolatos elvárásokat kielégíti (BELOUSCHEK, 2002.). Különösen fontos a jó szennyezőanyag visszatartó képesség, mert a beépítendő komponensek szennyezőanyag tartalma magas, és kívánatos, hogy ezek ne oldódjanak ki. A *speciális ún. Terrostab vízüveg adalékkal készített szigetelőrétegben kialakuló szilikát gél biztosítja a szennyező anyagok immobilitását, valamint az agyagrétegtől lényegesen kedvezőbb deformációs képességet.*

Hydrostab[®] lezárási rétegrend alkalmazására mutat be példát a **2.15. ábra** (SZABÓ I., 2003.).



A HYDROSTAB RÉTEGREND

2.15. ábra
A Hydrostab[®] lezárási rétegrend

2.3.1.6. Kapilláris szigetelőrendszer

A kapilláris szigetelőrendszer egy kétrétegű, eltérő szemcseméretű rétegekből álló rendszer. Alul helyezkedik el a *durvább szemcseméretű* 0,2-0,3 m vastag, (általában kavics, homokos kavics) ún. *kapilláris blokk*, fölötte pedig a 0,4-0,6 m vastag, finom-, középfinom-szemcséjű homok anyagú *kapilláris réteg*. Telítetlen állapotban a *finomszemcséjű kapilláris rétegnek lényegesen nagyobb a kapilláris szívása, mint a durvaszemcséjű kapilláris blokknak, s így a háromfázisú (talaj-levegő-víz) rendszerben a kapilláris réteg szivárgási tényezője lényegesen nagyobb, mint a kapilláris blokkban.*

Számos kedvező tapasztalat áll rendelkezésre a rendszer hatékonyságáról.

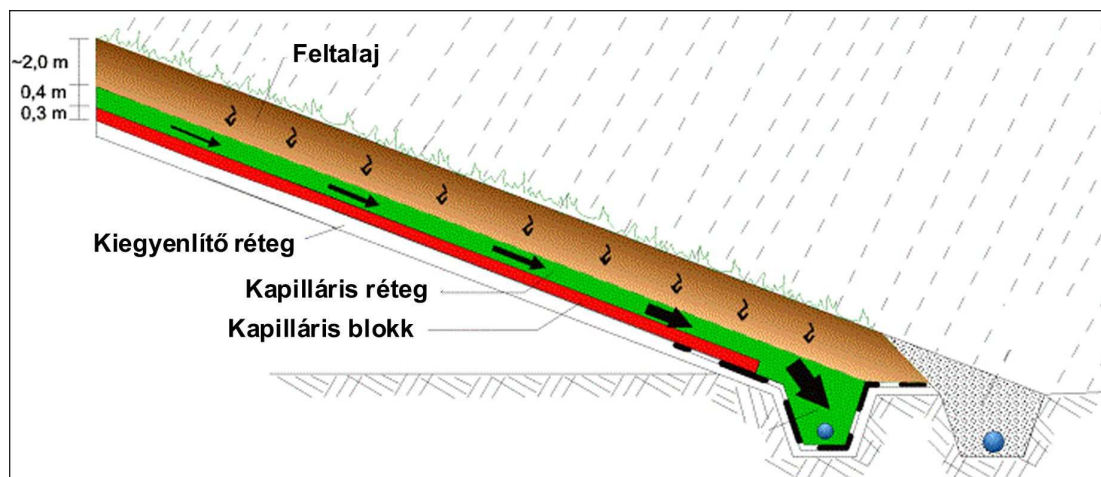
1:2,5 lejtőhajlásig problémamentesen kivitelezhető. A kapilláris réteg és a kapilláris blokk közé célszerű egy *geotextília szűrőréteg* beépítése, a finomszemcsék bemosódásának elkerülése érdekében.

Előnyei:

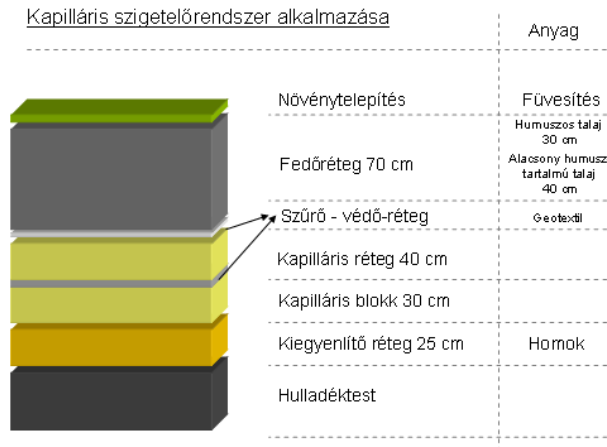
- viszonylag egyszerű kivitelezhetőség, alacsony építési költségek;
- egyszerű minőségi ellenőrzés;
- kiszáradással szemben érzéketlen;
- nagyobb dőlésszögek melletti alkalmazhatóság.

Alkalmazásánál figyelembe kell venni, hogy szemben a többi „hagyományos” természetes anyagú szigetelőrétegekkel, a kapilláris szigetelő rendszer *gázokkal szemben nem szigetel*.

Kapilláris szigetelőrendszer elvét és a javasolt zárószigetelési rétegrendet mutatják be a **2.16-2.17. ábrák**.



2.16. ábra
A kapilláris szigetelőrendszer elve



2.17. ábra
Kapilláris zárószigetelési rétegrend javasolt felépítése

2.3.1.7. A geomembránok alkalmazása

A számos geomembrán típus közül a zárószigetelésnél elsősorban a HDPE és EPDM fóliák jöhetnek számításba (SZABÓ A. – SZABÓ I., 2003./b). A kivitelezés költségeit tekintve a gyakorlatban a HDPE fóliák alkalmazása az elterjedtebb. A geomembrán megkívánt vastagsága 2,0 mm. Megfelelő anyagválasztás és beépítés esetén élettartamuk mai ismereteink szerint a 100 évet meghaladja. A HDPE és EPDM lemezek összehasonlítását szemlélteti a **2.2. táblázat** (IMRE et al., 2003.).

A kiválasztás szempontjai, követelmények:

o **Szigetelő-képesség:**

- vízzáróság,
- gázokkal szembeni szigetelő-képesség;
- mechanikai ellenálló-képesség;
- az érdesített, strukturált felszínű lemezek 1:2,5 rézsűhajlásig állékonyak;
- kedvező alakváltozási tulajdonságok, legalább 3 %-os nyúlás sérülésmentes felvétele.

o **Időállóság:**

- a megfelelő tanúsítvánnyal rendelkező fóliának a releváns kémiai anyagokkal és a gázkonduktivitással szemben ellenállónak kell lennie;
- mikroorganizmusok, gombák elleni ellenálló-képesség;
- növényi gyökérszettel szembeni ellenálló-képesség.

o **Kivitelezés:**

- az előírásoknak megfelelő kivitelezhetőség;
- külső terheléssel szembeni ellenálló-képesség (védőréteg alkalmazása szükséges);
- időjárás állékonyosság (5 °C alatt tilos fektetni, napsugárzás hatásával szembeni ellenálló-képesség);
- ellenőrizhetőség (hegesztés, toldás);
- javíthatóság.

2.2. táblázat

A HDPE és EPDM geomembránok viselkedésének összehasonlítása		
Az értékelés szempontjából vizsgált paraméter	HDPE	EPDM
Fizikai jellemzők		
Húzószilárdság	kiváló	jó
Szakadási nyúlás (egyirányú)	kiváló	kiváló
Többtengelyű nyúlás	gyenge	jó
Továbbszakadási ellenállás	jó	jó
Statikus pontszerű terheléssel szembeni ellenálló-képesség	jó	kiváló
Dinamikus pontszerű terheléssel szembeni ellenálló-képesség	gyenge	jó
Feszültségi repedésképződés(stress cracking)	gyenge	jó
Termikus nyúlás/zsugorodás	jó	kiváló
UV sugárzással szembeni ellenálló-képesség, öregedés	kiváló	kiváló
Súrlódási jellemzők	jó	kiváló
Vízgőz áteresztő-képesség	kiváló	jó
Gázáteresztő-képesség	jó	gyenge
Fektetési jellemzők		
Fektetési sérülékenység	érzékeny	nem érzékeny
Fektetési gyűrődés	gyenge	kiváló
Helyszíni javíthatóság	jó	jó
Hegeszthetőség	kiváló	kiváló
Forró, száraz klímában történő fektetés	gyenge	kiváló
Hideg időben való fektetés	gyenge	jó
Kémiai kompatibilitás		
Általános ellenálló-képesség (Savak, lúgok, fém sók oldatai)	kiváló	kiváló
Szénhidrogének	gyenge/jó	gyenge/jó
Ásványolaj, kőolajszármazékok	jó	nem ellenálló
Aldehidek, amionok	jó	jó
Észterek, ketonok	jó	jó
Fenolszármazékok	jó	jó
Oxidánsok	jó	kiváló

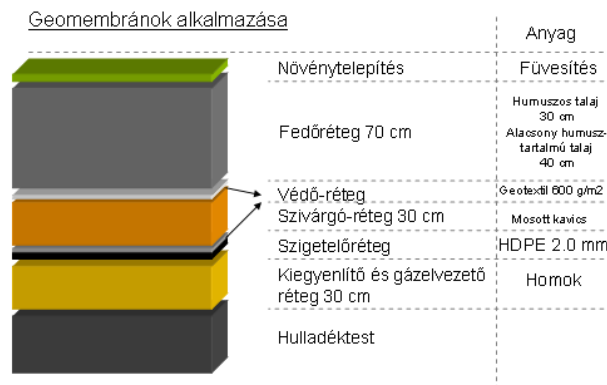
Előnyök:

- folyamatos, a gyártó által garantált minőség;
- hatékony kivitelezés;
- kiváló vízzáróság;
- a kivitelezés időjárástól kevésbé függ;
- kiváló ellenálló-képesség a gyökérzettel szemben.

Hátrányok:

- magas ár;
- beépítése szakértelmet kíván;
- beépítéséhez speciális gépek szükségesek;
- kisebb vastagságok alkalmazása esetén sérülékeny;
- a fólia alá kerülő réteg előkészítése szükséges;
- a fóliát védeni kell a mechanikai sérülésektől, ezért geotextil védőréteg beépítése szükséges.

Geomembránok felhasználásával épített zárószigetelő rendszer felépítésének javasolt rétegrendjét mutatja be a **2.18. ábra**.



2.18. ábra

Geomembránok felhasználásának javasolt zárószigetelési rétegrendje

2.3.1.8. Evapotranszspirációs szigetelőrendszer

A hulladéklebomlási folyamat során az optimális lebomláshoz a hulladéktestben egy bizonyos mennyiségű, a hulladék fajtájától, összetételétől, szervesanyag tartalmától függő vízmennyiségre is szükség van. Ebből adódóan nem biztos, hogy minden esetben a hulladék teljes izolációja jelenti a legjobb megoldást. Az előzőekben leírtak és gazdaságosságuk miatt kerülnek egyre inkább előtérbe az ún. evapotranszspirációs (ET) zárószigetelések.

Az ET szigetelések méretezése a vízháztartási mérlegen alapul, amit a talaj tározási tényezője, a csapadék, a felszíni lefolyás, az evapotranszspiráció és az infiltráció határoz meg. Az ilyen típusú szigetelők kialakításánál lényeges kérdések:

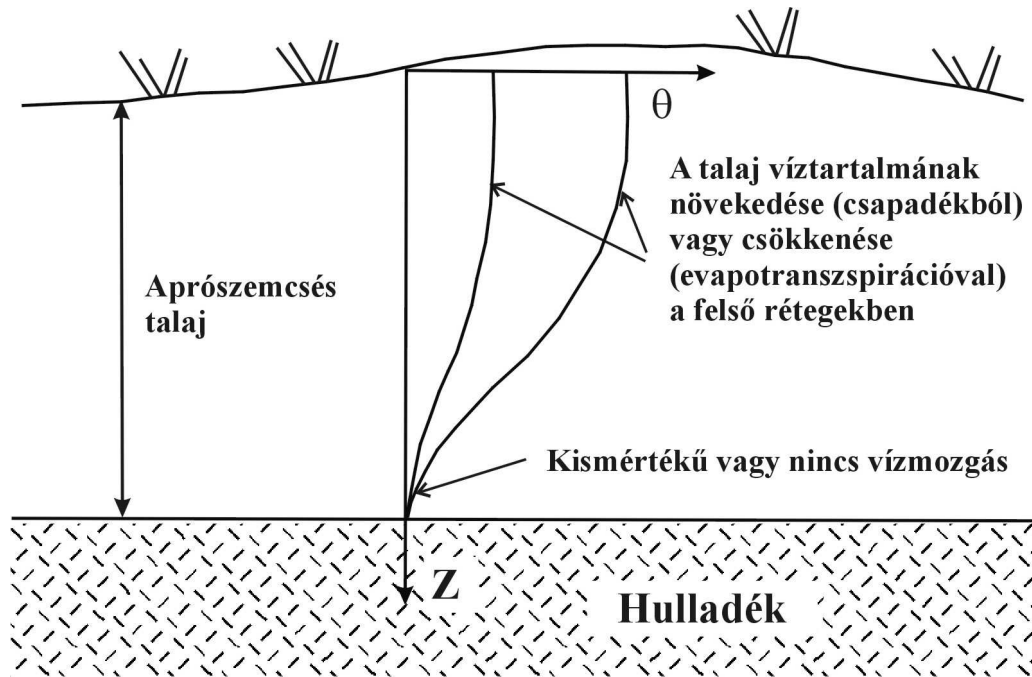
- A nagy tározási tényezővel (szabadföldi vízkapacitás nagyobb, mint 200 mm) rendelkező finomszemcsés talajok, mint az iszap, agyagos iszap alkalmazása.
- Öshonos vegetációk telepítése az evapotranszspiráció növelése érdekében.
- Helyben előforduló talajok alkalmazása a költséghatékony kialakítás érdekében.

Valójában a kapillaris zárószigetelő rendszer is bizonyos mértékig az ET szigetelések közé sorolható, legalábbis több szerző ide sorolja.

Az egyrétegű ET szigetelőrendszerek koncepciók vázlatát és működésének elvét szemlélteti a **2.19. ábra**.

Az ET zárószigetelés szükséges vastagságának a meghatározása a lerakó vízháztartásának a vizsgálatát kívánja meg, amit a gyakorlatban jól bevált HELP[®] modellel elvégezhetünk. A méretezés lépései:

- A tervezett éves beszivárgási arány meghatározása a kritikus meteorológiai évre, valamint a tározási tényező definiálása.
- A tervezett beszivárgási arány definiálása. Ezt az értéket általános esetekben 10 mm/év értékben határozzák meg természetes szigetelők (agyagszigetelők) esetében. Geomembrán és geokompozit szivárgóréteg esetében kb. 3 mm/év. A tervezett beszivárgási arányt meghatározhatjuk a hulladéklebomláshoz szükséges vízmennyiség alapján is.
- A zárószigetelő réteg vastagságának kiszámítása.



2.19. ábra
Az evapotranszpirációs lezárás

Előnyök:

- könnyű, egyszerű kivitelezés;
- költséghatékony;
- a beépítése nem kíván különösebb szaktudást (a tervezése igen!);
- a kivitelezés viszonylag független az időjárástól;
- a meghibásodás valószínűsége csekély.

Hátrányok:

- nem minden hulladéklerakó esetében alkalmazható;
- komoly tervezést igényel;
- a lerakott hulladék széleskörű ismeretét igényli.

2.3.1.9. Aszfalt szigetelés

Az aszfalt szigetelés számításba jöhet a szigetelő fólia helyett kombinált szigetelőrendszer elemeként, vagy önmagában is a zárószigetelő rendszer kialakításakor. Hazánkban az alkalmazása nem terjedt el.

A rendszer felépítése: német ajánlás alapján (HAUBRICH, 2002.) általában egy legalább 8 cm vastag, 5 %-nál kisebb hézagtenyezőjű *aszfalt hordozó réteg*, amelyre 2×6 cm vastagságú, $n \leq 3$ % hézagtenyezőjű *aszfalt tömítő/szigetelő réteg* kerül.

Amennyiben az aszfalt réteg alá ásványi anyagú szigetelőréteg kerül beépítésre, úgy teherbírasi okból a beépítése az optimális tömörítési víztartalom (w_{opt}) alatt, a Proctor-görbe ún. száraz oldali ágán történik.

Az aszfaltszigetelés előnyei:

- kiváló gázzáró- és vízzáró-képesség;
- jó mechanikai terhelhetőség;
- kedvező alakváltozási jellemzők;
- kiszáradásra nem érzékeny;
- gyökérzettel szembeni ellenálló-képesség;
- kedvező állékonyság.

Általában 1:2,5 lejtésig alkalmazható, esetenként nagyobb lejtőszög esetén is beépíthető, a beépítés kötélvontatással (csörlővel) mozgatott tömörítőgéppel történhet.

2.4. Összefoglalás

A hulladéklerakó bezárását követően a hulladéktestben még fizikai, kémiai és biológiai folyamatok zajlanak le, amelyek során depóniagáz képződik, illetve a hulladék konszolidációja során a depónia süllyedése következik be. Addig, amíg a hulladéklerakóban ezek a folyamatok zajlanak, addig a lerakó lezárását átmeneti rétegrenddel kell megoldani. Az átmeneti rétegrend célja a beszivárgó csapadékvíz mennyiségének csökkentése mellett, bizonyos mennyiségű csapadékvíz bejuttatása a depóniatestbe, mivel a lebomlási folyamatokhoz valamennyi vízre, nedvességre is szükség van. Általában a hulladék konszolidációjának és a depóniagáz képződésnek jelentős része a lerakó bezárását követő 10 éven belül lezajlik, azonban ez jelentős mértékben függ a lerakott hulladék összetételétől, a lerakó kialakításától, a hulladék magasságától és számos további más tényezőtől.

Az átmeneti lezárást úgy kell megtervezni, hogy az a szükséges vízmennyiség bejutását biztosítsa.

A hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok metán-oxidációs és infiltrációs eljárással meggyorsíthatók, ezáltal a végleges záróréteget korábban meg lehet építeni. A lebomlási folyamatok gyorsításával értelemszerűen a hulladék utógondozásának időtartama is lerövidül. A gyorsítás elősegítésének megvalósítását minden esetben gondos, alapos tervezésnek kell megelőznie.

A zárószigetelésre számos alternatív megoldás kínálkozik, amelyek egyenértékűek a jogszabályban ajánlott agyagszigeteléssel. Hazánkban az agyagszigetelés mellett elsősorban a bentonitszőnyeg, illetve a HDPE fólia alkalmazása terjedt el, illetve vélhetően a későbbiekben is ezeket az anyagokat fogják beépíteni.

A bentonit + talaj, illetve a bentonit + talaj + polimer bekeverésével készített szigetelőrétegek hatékony szigetelési megoldást jelentenek, azonban ezen rétegek beépítése nagy tapasztalatot, megfelelő műveleti sort kíván. Célszerű ezeket a rendszereket olyan helyeken használni, ahol a lerakó közelében nem áll rendelkezésre megfelelő agyagréteg.

Az evapotranszpirációs zárószigetelés a hulladéklerakók szigetelésének leginkább költséghatékony módja. Ezt a szigetelőrendszert azonban csak olyan helyeken lehet használni, ahol a lerakott hulladék összetétele, ezáltal a környezetre gyakorolt hatások ismertek, illetve a lerakó veszélyeztető potenciálja alacsony. Tekintettel arra, hogy ez a megoldás vízzáró szigetelőréteget nem tartalmaz, a csapadékvíz bejutását evapotranszpirációs úton csökkenti (azonban nem akadályozza meg teljes mértékben!) a rekultivációs réteg műszaki paramétereit, illetve a felhasznált növénytakarót a meteorológiai adottságokat messzemenően figyelembe véve, egyedileg kell megtervezni.

A hulladéklerakók oldalrészűinek szigetelésére az agyag, illetve a bentonit + talaj keverékek kevésbé alkalmasak, a rézsűkön a munkagépekkel nem lehet megfelelő tömörítő munkát kifejtteni, ezért a rézsűkön a geoszintetikus agyagszigetelők (pl. bentonitszőnyeg), illetve a geomembránok alkalmazása mindenképpen indokolt.

IRODALOMJEGYZÉK

- | | | |
|--------------------------------------|--------|---|
| BELOUSCHEK, P. | 2002 | <i>Ausgewählte deponietechnische Eigenschaften von Abdichtungsschichten nach der HYDROSTAB® - Technologie</i>
(Szakvélemény, kézirat) |
| CHRISTENSEN, TH.H -
KJELDSSEN, P. | 1989 | <i>Basic biochemical process in landfills Sanitary Landfilling</i> (ed.: CHRISTENSEN, TH.H.-COSSU, R.-STEGMANN, R.)
Academic Press, pp. 29-48.) |
| EGLOFFSTEIN - BEHRENS | 2002 | <i>Zur Einbaudicke von Trisoplast® bei temporären und endgültigen Abdichtungssystemen</i>
Müll und Abfall Ausgabe 11/2002.
Erich Schmidt Verlag |
| GAMPERLING-LECHNER | 2006 | <i>Methanoxidation zur Verminderung der Gasemissionen aerob In-Situ stabilisierter Altdeponien</i>
Praxistagung Deponie 2006, Tagungsband
Cuvillier Verlag, ISBN 10:3-86727-064-3 |
| HAUBRICH, E. | 2002 | <i>Oberflächenabdichtungssysteme. Stand der Technik. Systemauswahl-technische und wirtschaftliche Bewertungskriterien</i>
Deponietechnik 2002.
Abschlussplanung und Sicherung von Deponien
www. mu.sachsen-anhalt.de/lau.default/htm |
| HEYER K.; HUPE K.;
STEGMANN R. | 2005 | <i>Wasserinfiltration und Aerobisierung zur Reduzierung der Deponienachsorge</i>
Praxistagung Deponie 2005, Tagungsband
Cuvillier Verlag, ISBN 3-86537-284-8 |
| IMRE S.,-SZABÓ A.,-
SZABÓ I | 2003 | <i>A HDPE és EPDM geomembránok összehasonlító vizsgálata a környezetvédelmi alkalmazhatóság szempontjából</i>
XVII. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás, Siófok, 2003. szeptember 23-25. Konf.
Kiadvány |
| LAKATOS I. – SZABÓ I. | 1997 | <i>A környezetvédelemben alkalmazható vertikális és horizontális szigetelőgátak egyenértékűségének feltételei</i>
Mélyépítéstudományi Szemle, 1997.12. sz. pp. 423-432. |
| LECHNER P.; HUMER M. | 2000 | <i>Technischer Aufbau einer Deponieabdeckschicht zum Zweck der Methanoxidation</i>
Deponietechnik 2000., Hamburger Berichte 16
Verlag Abfall aktuell, Stuttgart |
| MAUBEUGE, K.P. | 2002 | <i>The basics of Geosynthetic Clay Liners</i>
PP előadás anyaga, 2002., Montreal |
| SZABÓ A. | 2001 | <i>Homokliszt és különböző típusú bentonitok keverékének vízzárósága helyszíni és laboratóriumi vizsgálatok alapján</i>
GEOTECHNIKA 2001 Konferencia, Ráckeve, 2002. október 30-32. (Kézirat) |
| SZABÓ A. | 2002/a | <i>The impermeability of bentonite sand liners in practice</i>
Medzinarodnej Konferencie Doktrandoj a Mladych |

SZABÓ A.	2002/b	Vedeckych Pracovníkov Herlány (SK), 2002. április 8-9, Konf. Kiadvány <i>Bentonit-homok keverékből épített szigetelőrétegek vízzárósága a gyakorlatban</i>
SZABÓ A.	2004	VIII. Széchy Károly emlékülés, 2002, kézirat <i>Hulladéklerakók zárószigetelési lehetőségei</i> Mélyépítés , 2004. január-március, pp. 36-42., Springer Media
SZABÓ A.	2008	<i>Hulladéklerakók rekultivációs költségeinek meghatározása</i> Tanulmány
SZABÓ A – SZABÓ I.	2002.	<i>Homok-bentonit keverékek szivárgási tényező vizsgálati</i> Vizsgálati jelentés
SZABÓ A – SZABÓ I.	2003/a	<i>A felső zárószigetelés kialakításának egy új alternatív</i> <i>megoldása a HYDROSTAB® technológia</i> (Szakvélemény)
SZABÓ A – SZABÓ I.	2003/b	<i>HDPE és EPDM geomembránok összehasonlító vizsgálata</i> Szakvélemény
SZABÓ A – SZABÓ I	2005	<i>A BENTOMAT-SC típusú bentonitszőnyeg vizsgálati</i> <i>eredményei, műszaki paraméterei</i> (Szakvélemény)
SZABÓ I.	1999	Hulladékelhelyezés Miskolci Egyetemi Kiadó, Egyetemi tankönyv
SZABÓ I.	2003	<i>A hulladéklerakók zárószigetelésének egy új, alternatív</i> <i>megoldási lehetősége: a HYDROSTAB® technológia</i> XVII. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás Siófok, 2003. szeptember 23-25 Konferencia kiadvány
SZABÓ I.	2005	<i>Hulladéklerakókkal kapcsolatos geotechnikai vizsgálatok</i> Habilitációs téziszfüzet, 2005., kézirat

3. Állékonyságvizsgálatok

A rekultiváció megtervezéséhez elengedhetetlen a lerakó előzetes állékonyságvizsgálata. Az állékonyságvizsgálatnál meg kell győződnünk, hogy:

- A kialakított depónitest megfelelő állékonysági biztonsággal rendelkezik-e?
- A tervezett zárószigetelő rétegrend a meglévő lejtési viszonyok mellett biztonságosan elhelyezhető, megépíthető-e? Ebben az esetben vizsgálnunk kell, hogy:
 - = A teljes zárószigetelő rendszer állékony-e?
 - = A zárószigetelő rendszer egyes elemeinek az egymáson való megcsúszása ellen megfelelő-e az állékonysági biztonság?

Munkám során elsősorban a depóniatest állékonyságvizsgálati kérdéseivel foglalkoztam. A zárószigetelő rendszer tervezéséhez, állékonyságvizsgálatához még viszonylag kevés adattal rendelkezünk. Itt különösen érdekes és fontos probléma a meredek hajlásszöggel kialakított lerakók zárószigetelő rendszerének a kialakítása. Ezen problémával egy innovációs kutatás keretében már foglalkoztunk, de a probléma még további vizsgálatokat igényel.

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 a lerakott hulladék fizikai paramétereire, elsősorban a nyírószilárdsági paraméterekre valamint a hulladék térfogatsűrűség értékére van szükségünk.

A lerakott hulladék utólagos állékonyságvizsgálata, ellenőrzése elsősorban a dombépítéssel kialakított és a lejtőnek támaszkodó depóniáknál fontos.

Az állékonyságvizsgálatokhoz ismernünk kell a lerakott hulladéknak az alábbi paramétereit:

- térfogatsűrűség;
- kohézió;
- belső súrlódási szög.

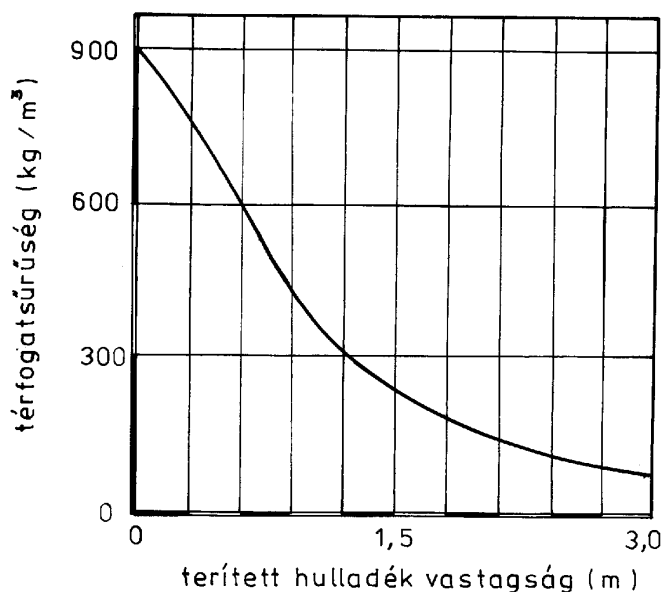
A következőkben a nemzetközi irodalom alapján a kommunális (nem veszélyes) hulladékok fizikai paramétereit tekintem át, foglalom össze.

3.1. A hulladékok jellemző térfogatsűrűség értékei

A térfogatsűrűség értéke igen tág határok között változik és függvénye a hulladék összetételének, nedvességtartalmának, a lebomlás fokának, a napi takarás vastagságának, a lerakás módjának, az alkalmazott tömörítő eszköznek, a depónia magasságának, az egyszerre lerakott hulladék terítési vastagságának, a hulladék korának, stb. Az **3.1. ábra** az egyszerre leterített hulladékréteg vastagságának a függvényében szemlélteti az elért térfogatsűrűség értékét.

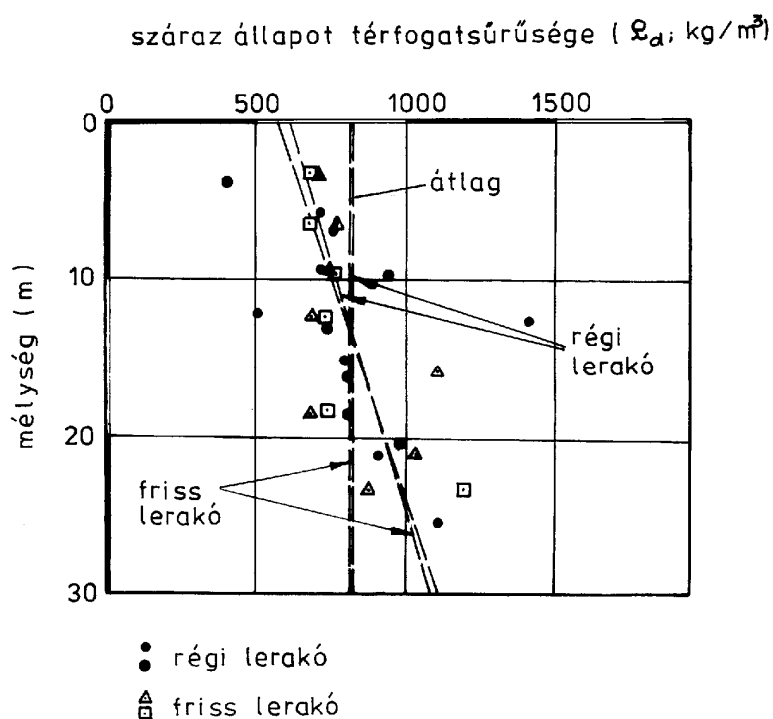
Egy jól üzemelő lerakó esetében a terítési rétegvastagság kb. 0,5-0,7 m, így a tömörítés során átlagosan 500-600 kg/m³-es térfogatsűrűség érték érhető el. Nagyobb rétegvastagság esetén az elérhető tömörség értéke csökken. Nyers hulladék térfogatsűrűsége általában 150-350 kg/m³ között változik, 1 MPa talpnyomásnál kisebb tömörítőgéppel 350-550 kg/m³-es értékkel számolhatunk. Kompaktorokkal 800-1000 kg/m³, egyes speciális eljárásokkal 1000 kg/m³-nél nagyobb érték is elérhető (SZABÓ I., 1999.). A lerakott hulladék sűrűsége a lerakóban értelemszerűen a mélységnek is függvénye. Minél mélyebben lévő réteget vizsgálunk, annál nagyobb a térfogatsűrűség, mivel a hulladék egyre konszolidáltabb. A **3.2. ábrán** helyszíni vizsgálatokkal meghatározott térfogatsűrűség értékek láthatók, különböző korú hulladékok esetén. Mint látható, átlagosan 750-800 kg/m³ térfogatsűrűség értéket mértek, és 20-30 m

mélységben 1200-1300 kg/m³ volt a jellemző érték. Az állékonyságvizsgálatoknál 1000-1200 kg/m³ értékkel vehetjük figyelembe a hulladék súlyából adódó tömeget (SZABÓ, 1999.).



3.1. ábra

A tömörítéssel elért térfogatsűrűség alakulása az egyszerre leterített rétegvastagság függvényében
(TCHOBANOGLOUS et al., 1977.)

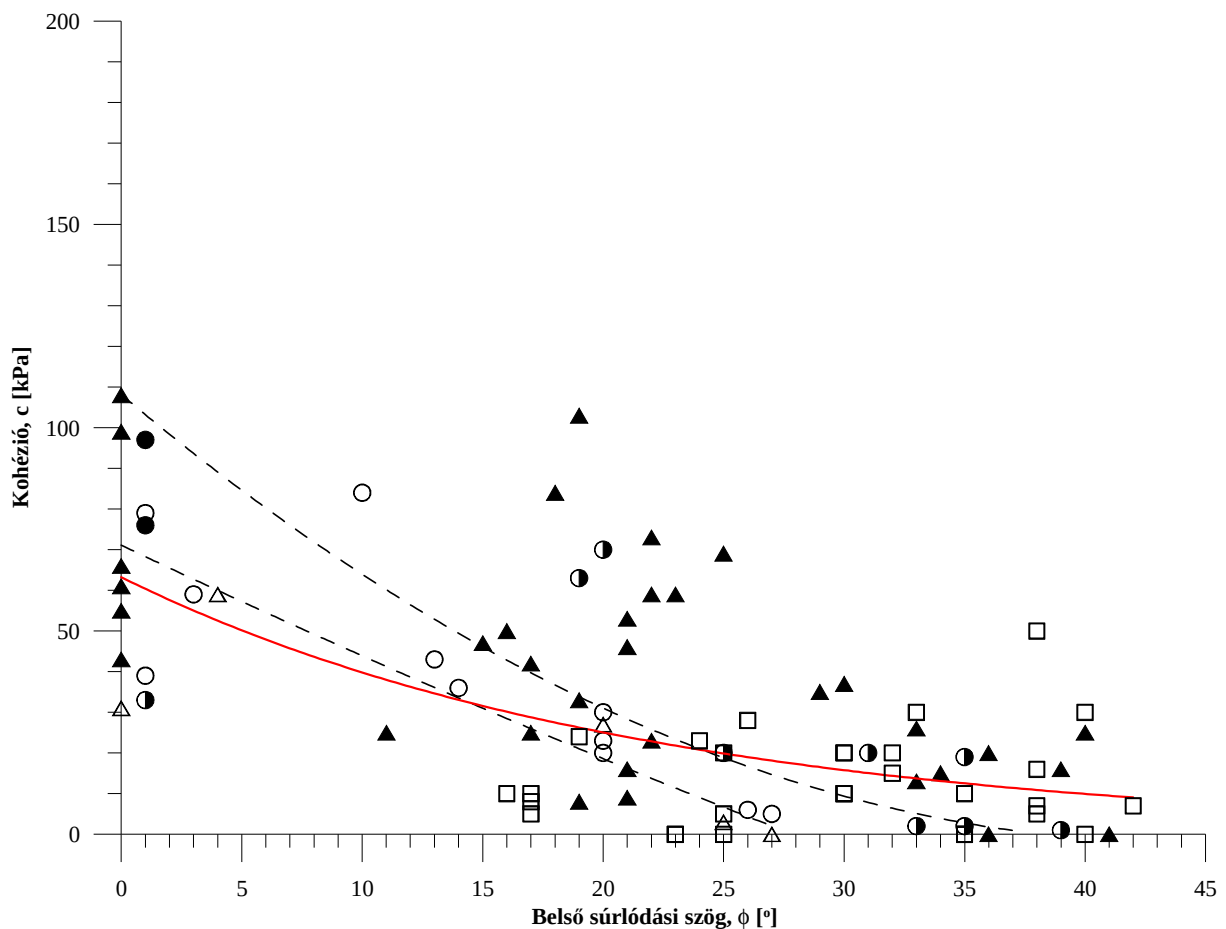


3.2. ábra

Helyszíni vizsgálatokkal meghatározott térfogatsűrűség értékek különböző korú hulladékok esetében
(OWEIS - KHERA, 1990.)

3.2. A hulladékok nyírószilárdsági paramétereinek jellemző értékei

A **nyírószilárdsági paramétereknek** talán még a térfogatsűrűség értékeknél is nagyobb a szórása. A **3.3. ábrán** különböző eredetű és összetételű hulladékok különböző módszerekkel meghatározott *kohézió* és *belső súrlódási szög* értékeit tüntettem fel a nemzetközi irodalomban fellelhető adatok alapján (JESSBERGER, 1990., SINGH - MURPHY, 1990., SZABÓ I., 1999., VILAR ÉS CARVALHO 2002., CAICEDO 2002.). Mint látható, az értékpárok igen széles tartományban fordulnak elő, s meglehetősen nehéz állást foglalni, hogy a tervezésnél, méretezésnél mely értékpárokkal dolgozzunk, hiszen az értékek jelentősen függenek a lerakás körülményeitől, a technológiától, a lerakott hulladék korától, stb.



3.3. ábra

A hulladék nyírószilárdsági paramétereinek irodalmi adatok, laboratóriumi és helyszíni mérések alapján

(JESSBERGER, 1990., SINGH - MURPHY, 1990., SZABÓ, 1999., VILAR ÉS CARVALHO 2002., CAICEDO 2002.)

KÖNIG-JESSBERGER (1997.) arra a következtetésre jutott, hogy *a kommunális hulladékok általában nem jellemezhetők egyetlen c ; ϕ értékpárral, a nyírószilárdsági paraméterek értéke nagymértékben függ a deformáció mértékétől, azaz a nyírószilárdság mobilizációjától.*

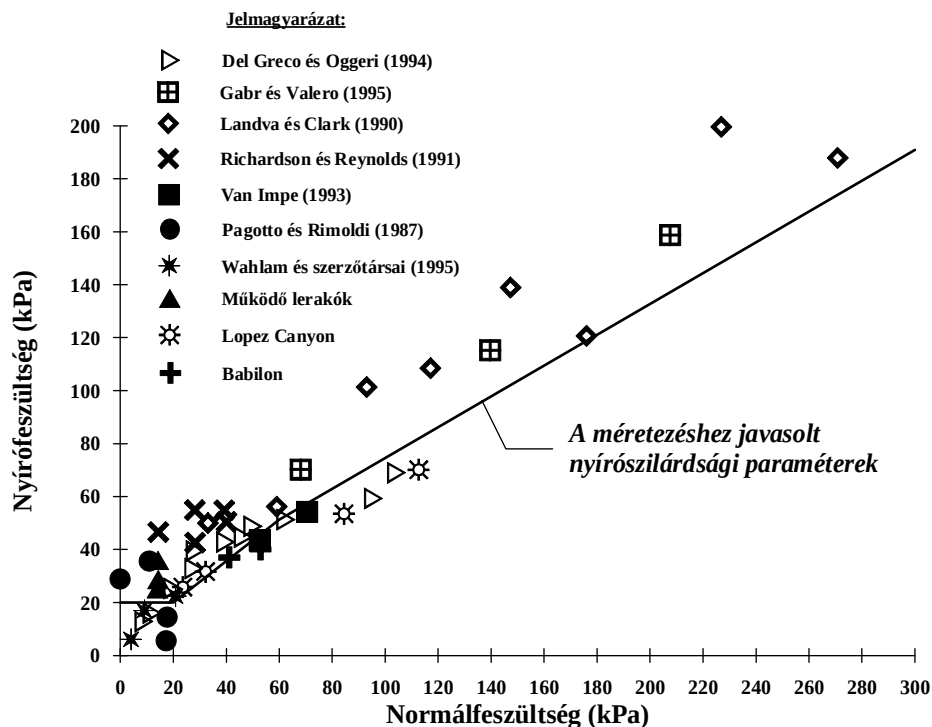
A fent leírtakból megállapítható, hogy az állékonyságvizsgálatoknál figyelembe vett nyírószilárdsági paraméterek erősen becsült értékek, amivel konkrét vizsgálatok elvégzésére ritkán nyílik lehetőség.

MANASSERO és szerzőtársai (1998., 2000.) abból a több kutató által is javasolt megközelítésből indultak ki, hogy a laboratóriumi és helyszíni mérésekből nyert, valamint meglévő lerakók állékonyságvizsgálati adataiból visszaszámított nyírószilárdsági paraméterek feldolgozását célszerű az átlagos normálfeszültség és a mobilizált nyírószilárdság figyelembe vételével elvégezni. A különböző vizsgálatok eredményeinek az összefoglalását a **3.4. ábra** tünteti fel. A mért adatok szakaszos kiegyenlítése alapján a tervezésnél a várható átlagos normálfeszültség (σ_v) függvényében a nyírószilárdsági paraméterek megválasztását az alábbiak szerint javasolják:

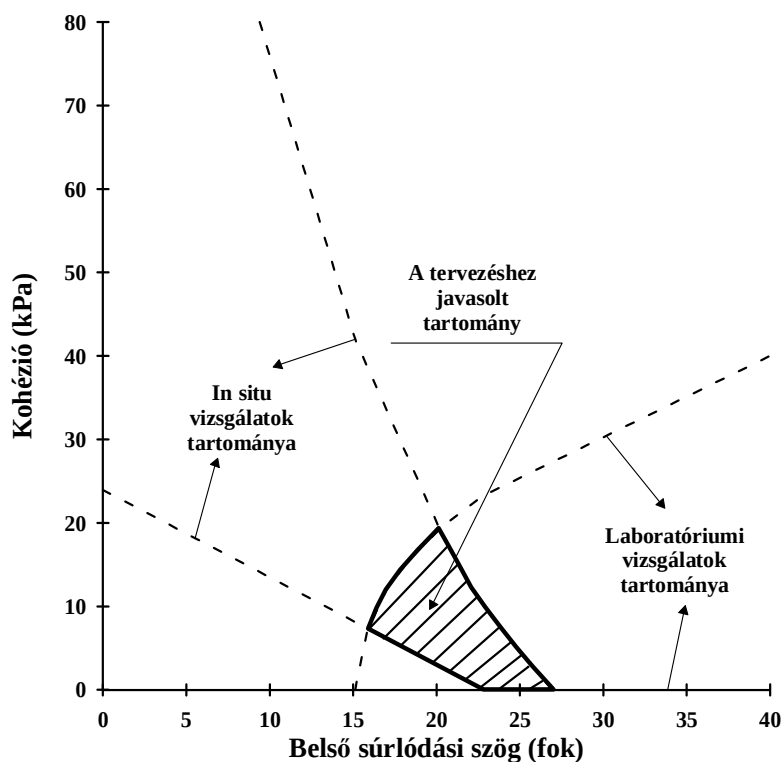
- nagyon kis normálfeszültségek esetén ($0 \text{ kPa} < \sigma_v < 20 \text{ kPa}$): $c=20 \text{ kPa}$; $\phi=0^\circ$;
- kis-közepes normálfeszültségek esetén ($20 \text{ kPa} < \sigma_v < 60 \text{ kPa}$): $c=0 \text{ kPa}$; $\phi=38^\circ$;
- nagyobb normálfeszültségeknél ($60 \text{ kPa} < \sigma_v$): $c \geq 20 \text{ kPa}$; $\phi=30^\circ$.

Az osztrák gyakorlat (ÖNORM 2073) általában $c = 5 \text{ kPa}$; $\phi = 25^\circ$ értékkel számol. Ezzel az értékpárral számolva pl. a hódmezővásárhelyi kommunális hulladék-lerakónál (30 m magasság, 1:2 oldalhajlás, 10 m-enként egy-egy 3 m széles padkával) a minimális biztonsági tényező 1,41; $c = 20 \text{ kPa}$ és $\phi = 20^\circ$ esetén 1,57 értékre adódott (SZABÓ I., 1994.).

Az osztrák gyakorlattal összhangban van SANCHEZ-ALCITURRI és szerzőtársainak (1993.) javaslata, amely a helyszíni és laboratóriumi vizsgálatokkal egyaránt megerősített értékpárok figyelembe vételét javasolja a **3.5. ábra** szerint.



**Kommunális hulladékok nyírószilárdsági vizsgálatainak összefoglaló eredményei
(MANASSERO et al., 1998., 2000.)**



3.5. ábra

A kommunális hulladékok nyírószilárdsági paramétereinek a tervezéshez javasolt értékei
(SANCHEZ-ALCITTURI et al., 1993.)

Az állékonyságvizsgálat a depóniatestre elvégezhető valamely hagyományos módszerrel, bár azok eredetileg – az alapvetően más viselkedésű – talajokra készültek, azonban a számításoknak a hulladékjellemzők értékének becsléséből adódóan oly nagy a bizonytalansága, hogy ez a közelítés megengedhető, de a számítások eredményét kellő kritikával kell fogadnunk.

3.3. A depóniatest állékonyságvizsgálata

A hulladéktest állékonyságvizsgálatának fontosságát, aktualitását igazolja, hogy a világban (hazánkban szerencsére még nem) számos lerakónál következett be tönkremenetel, megcsúszás, ami a jelentős anyagi káron túl több esetben emberi áldozattal is járt. A szakirodalomból 1997 és 2005 között hat nagy lerakó tönkremenetel ismert, amelyek összesen több mint 600 halálos áldozatot követeltek (BLIGHT, 2006.).

A hulladéktest állékonyságvizsgálatának ma még nincs egységesen kialakult gyakorlata, többnyire a földművek méretezésénél elfogadott és bevált gyakorlatot követjük, azaz a geotechnikai gyakorlatban általánosan alkalmazott, bevált módszereket (BISHOP, JANBU) használjuk. A feladat megoldása a lerakóknál ugyanazon a mechanikai alapokon nyugszik, azonban, mint a fentiekben már említettem, alapvető különbség, hogy míg az egyik esetben egy jól definiálható közetfizikai paraméterekkel rendelkező, többnyire homogén/kvázi homogén közeggel van dolgunk, addig a lerakott hulladék fizikai paraméterei nagyon széles tartományban változnak, és meghatározásuk nagyon költséges. A változékonyság értelemszerű, különösen a kommunális hulladékoknál. Valamivel egyszerűbb a helyzet az ipari és veszélyes hulladékoknál, s talán a leginkább homogénnek/kvázi homogénnek tekinthetőek a bányászati hulladékok (meddőhányók, pernye és zagytárolók).

A fentiekből adódik, hogy az állékonyságvizsgálat eredményét alapvetően meghatározzák a méretezésnél használt bemenő paraméterek. Az előző fejezetben összefoglaltam mindazon vizsgálatok eredményeit, amelyek a szakirodalomban ismertek.

Úgy gondolom, hogy egy hulladéklerakó állékonysági biztonsága egyetlen mérőszámmal nem jellemezhető, hanem a várható biztonságot a tönkremenetel bekövetkezési valószínűségéhez kell kötni. Jelen munkám során többek között egy olyan módszer kidolgozását tűztem ki célul, amelyik alkalmas arra, hogy megmondjuk: mi a valószínűsége annak, hogy a lerakó biztonsági tényezője egy adott/megkívánt értéket elér.

A kidolgozott eljárás alapja, hogy a hulladékoknál – éppúgy, mint a talajoknál – a kohézió (c) és a belső súrlódási szög (φ) között függvénykapcsolat határozható meg (lásd **3.3 és 3.5 ábrákon**). Nyilvánvalóan ez a módszer elsősorban a kommunális hulladékoknál érdekes, hiszen ez a hulladék-típus a leginkább inhomogén. Igaz ugyanakkor, hogy a rekultiválandó lerakóink döntő többsége ilyen típusú lerakó.

A kidolgozott és javasolt méretezési eljárás lényege a következő alapelveken nyugszik:

- Feltételezzük, hogy a kommunális hulladékok lerakójában a különböző összetételű, tulajdonságú hulladékok elhelyezkedése véletlenszerű.
- A feltételezés alapján felépíthető egy adott geometriával rendelkező lerakó modellje, tetszőlegesen választott rétegszámmal, figyelembe véve az aljzat-, a zárószigetelést és az ideiglenes/napi takarást, illetve ezen rétegek fizikai paramétereit.
- 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-, akár a feladathoz külön vizsgálattal meghatározott paraméterekkel vehetők figyelembe.
- A hulladék véletlenszerűen változó nyírószilárdsági paramétereit úgy vesszük figyelembe, hogy a felállított modellben az egyes rétegeknek a nemzetközi irodalomból feldolgozott c - φ diagrammból (lásd **3.3. ábrán**) véletlenszerűen választott, de azonos előfordulási valószínűséggel rendelkező nyírószilárdság értéket adunk, és az állékonyságvizsgálatot rétegenként mindig új és új, mindig véletlenszerűen választott értékpárral sokszor megismételjük.
- *A számítás végeredményeként megkapjuk a biztonsági tényezőre vonatkozó eloszlásfüggvényt, amiből meghatározhatjuk, hogy mi a valószínűsége egy adott vagy elvárt biztonsági tényező meglétének ill. bekövetkezésének.*

A javasolt módszert korábban sikerrel alkalmazták a Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszéken, a visontai külfejtés munkagödrének állékonyságvizsgálatánál, és gyakorlatilag ugyanezt a gondolatot használtam fel a hulladéklerakók természetes anyagú aljzatszigetelő rendszere vízzáróságának minősítésére általam javasolt eljárásnál is (SZABÓ A.-SZABÓ I., 2002). A kidolgozott módszer egy adott, inhomogén felépítésű hulladéktest állékonyságáról lényegesen pontosabb képet nyújt, mint a ma általánosan ajánlott (DIN, ÖNORM), adott c - φ értékpárral végzett állékonyságvizsgálatok.

A kidolgozott módszert konkrét állékonyságvizsgálatokon keresztül mutatjuk be.

Az állékonyságvizsgálatokat a SLOPE/W program segítségével végeztük, a számítások kivitelezésében Faur Krisztina Beáta tanszéki mérnök volt segítségemre.

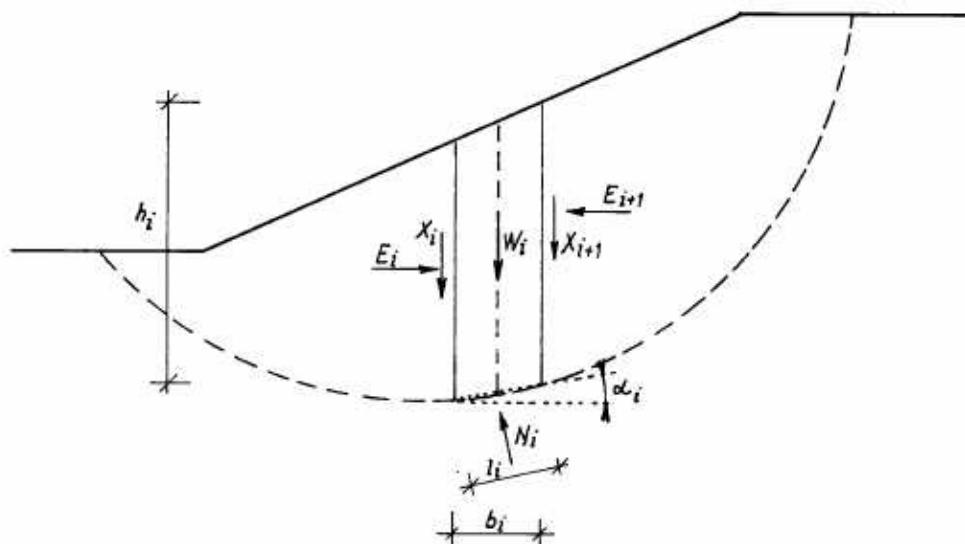
A program lehetőséget nyújt arra, hogy a megfelelő geometriai és hulladékfizikai paraméterek megadása után, hulladéktestek stabilitását is vizsgáljuk. Vizsgálataink során körcsúszólappal dolgoztunk, mivel a programba beépített világszerte ismert és elismert állékonyságvizsgálati módszerek (BISHOP, JANBU) a mérnöki gyakorlatban már többször bizonyították alkalmazhatóságukat, és kiválóan alkalmasak hulladéklerakók állékonyságvizsgálataira is.

A számítások elsődleges célja az volt, hogy megvizsgáljuk, valóban gazdaságosabb méretezést tesz-e lehetővé a javasolt állékonyságvizsgálati módszer, és ha igen, akkor a

mindennapi gyakorlatban leginkább alkalmazott 1:2-1:2,5 hajlásnál meredekebb rézsűszöggel kialakított hulladéklerakók állékonysági problémáiról képet kapjunk.

3.3.1. A BISHOP és a JANBU féle állékonyságvizsgálati módszerek

A Bishop módszer az egyik legismertebb ún. lamellás módszer, amikor is a csúszásnak indult testet azonos szélességű, függőleges lamellákra osztva vizsgáljuk az állékonysági biztonságot. Az egyes lamellákra ható erők meghatározzák a szomszédos lamellák erőjátékát is. A módszer ezen erők és nyomatékaik meghatározásán alapul, és a teljes mozgásban lévő, vagy vizsgált hulladéktömeg erőjátékának vektorsokszögéből meghatározható az állékonysági biztonság. A számításoknál fontos, hogy a vizsgált részt függőleges oldalfalú lamellákra osztjuk, s a lamellák száma legalább 8-10 legyen. Ennél kevesebb lamella esetén a számítások pontatlanok lesznek, több lamella esetében pedig a kapott eredmény nincs arányban a befektetett munkával. A program a peremfeltételeknek megfelelően értelemszerűen automatikusan választja a szükséges lamella-kiosztást. A lamellás módszerek elvi vázlatát a 3.6. ábra szemlélteti.



3.6. ábra
Az ún. lamellás-módszerek statikai vázlata

A 3.6. ábrán X_i -vel vannak jelölve a lamellák közt fellépő nyíróerők, az N_i ill. T_i a lamella alján ható normál-, illetve nyíró erőket jelöli. Az i -edik lamella önsúlyából származó erőt W_i jelöli. E_i és E_{i+1} a szomszédos lamellákról átadódó földnyomás értékek vízszintes komponense. A lamella csúszás felőli oldalán lévő passzív földellenállás (E_i) gátolja a csúszást, a csúszással ellentétes oldalról pedig a csúszást elősegítő aktív erő (E_{i+1}) adódik át. A jelölésekben i a vizsgált cella sorszáma.

A statikai adatok mellett ismerni kell a cellák geometriai paramétereit is. Az állékonyságvizsgálatokhoz szükséges főbb geometriai paraméterek a 3.6. ábrán megtalálhatóak. Ezek: a lamella szélessége (b_i), magassága (h_i), csúszólapból kimetszett szakaszának hossza (l_i) és a lamellához tartozó csúszólapszakasz érintőjének vízszintessel bezárt szöge (α_i).

A Bishop módszernél a biztonsági tényezőt (F_s) a következő összefüggésből határozhatjuk meg (HUANG, 1983.):

$$F_s = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum [c_i \cdot l_i + (N_i - u_i \cdot l_i) \cdot \tan \phi_i]$$

ahol:

u_i : az i -edik lamellában lévő pórusvíznyomás
 c_i, ϕ_i : effektív nyírószilárdsági paraméterek

A vízszintes irányú erőkre felvett egyensúlyi egyenlet a következő formában írható fel:

$$N_i - u_i \cdot l_i = \frac{W_i + (X_i - X_{i+1}) - l_i \cdot \left(u_i \cdot \cos \alpha_i + \frac{c_i}{F_s} \cdot \sin \alpha_i \right)}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \phi_i}{F_s} \cdot \sin \alpha_i}$$

A Bishop módszernél a $X_i - X_{i+1} = 0$ feltételezéssel élünk, azaz a lamellák oldalfalain ható földnyomás irányát vízszintesnek tételezzük fel, ami a gyakorlati számításoknál megengedett közelítés. Ezek alapján a biztonsági tényező az ún. egyszerűsített BISHOP módszerrel a következő összefüggés alapján határozható meg:

$$F_s = \frac{1}{\sum_i W_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot \sum_i \frac{c_i \cdot b_i + (W_i - u_i \cdot b_i) \cdot \tan \phi_i}{\cos \alpha_i + \frac{\tan \phi_i \cdot \sin \alpha_i}{F_s}}$$

A Janbu módszer alapelveiben hasonló a Bishop módszerhez, de itt $X_i - X_{i+1} \neq 0$, azaz a lamellák oldalfalain a földnyomás nem vízszintes. A biztonsági tényező a következő összefüggés alapján számítható (HUANG, 1983.):

$$F = \frac{\sum (c_i \cdot b_i \sec \alpha_i + N_i \tan \phi_i) \sec \alpha_i}{\sum (W_i + \Delta X_i) \tan \alpha_i}$$

illetve:

$$F = \frac{\sum \{c_i \cdot b_i \sec \alpha_i + [(W_i + \Delta X_i) \sec \alpha_i - T_i \tan \alpha_i] \tan \phi_i\} \sec \alpha_i}{\sum (W_i + \Delta X_i) \tan \alpha_i}$$

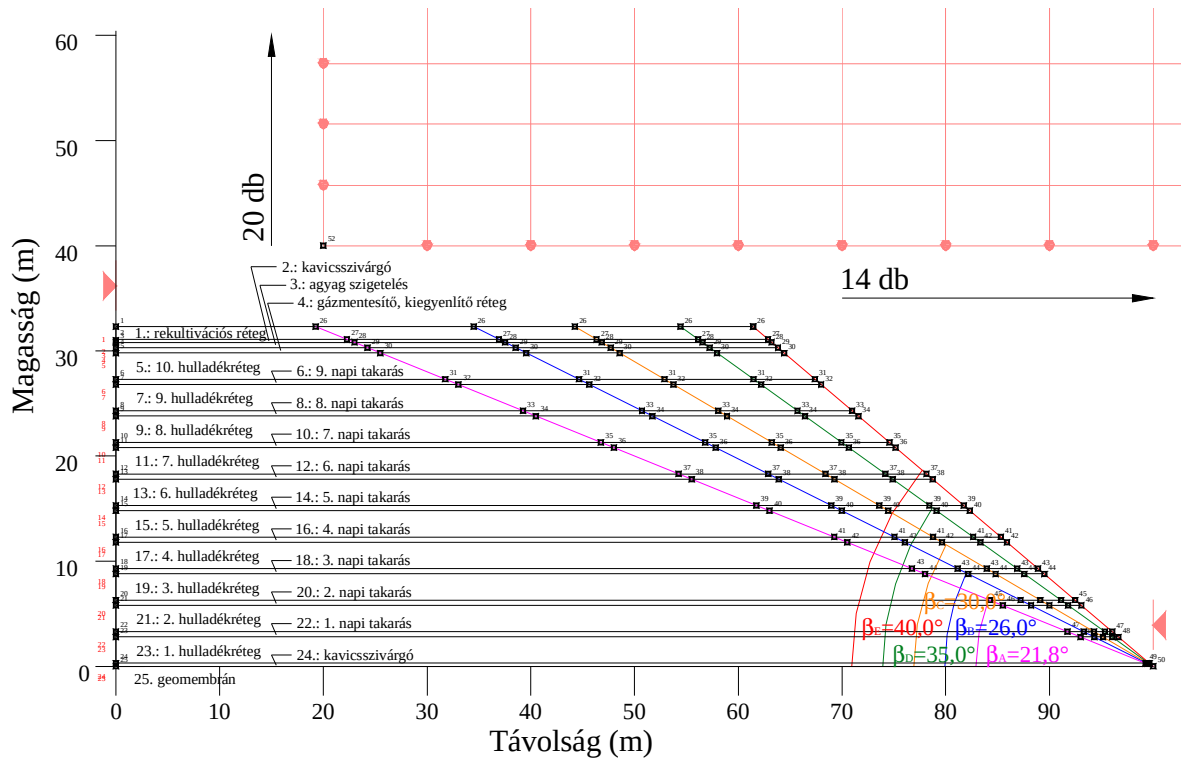
ahol a 3.6. ábra jelölésein kívül a T_i a lamella alján ható tangenciális nyíró erő.

Mint a fenti összefüggésekből látszik, mindkét módszernél a megoldás, a biztonsági tényező meghatározása fokozatos közelítéssel, iterációval történik.

3.3.2. A hulladéklerakó geometriájának meghatározása

A geometria felvételénél abból indultam ki, hogy a hazai gyakorlatban a depóniatest kialakításakor 30°-nál meredekebb rézsút ritkán alkalmaznak. A rézsú kialakításánál az 1:2; 1:2,5 rézsúhajlás a leginkább alkalmazott, gyakorlati szempontból megengedett. A modellben

ezért $21,8^0$, 26^0 , 30^0 , 35^0 , és 40^0 rézsúhajlásokkal számoltam, azaz a gyakorlatban alkalmazottnál meredekebb döléseket is vizsgáltam, azt figyelve, hogy a lejtőszög változása hogyan befolyásolja a depóniatest állékonyságát, a szakirodalomban ismert hulladékparaméterek mellett mekkora lehet a maximálisan megengedhető rézsúhajlás.



3.7. ábra

A 40^0 -os rézsúhajlású depóniatest geometriája, a rétegek sorrendjének (számozásának) feltüntetésével

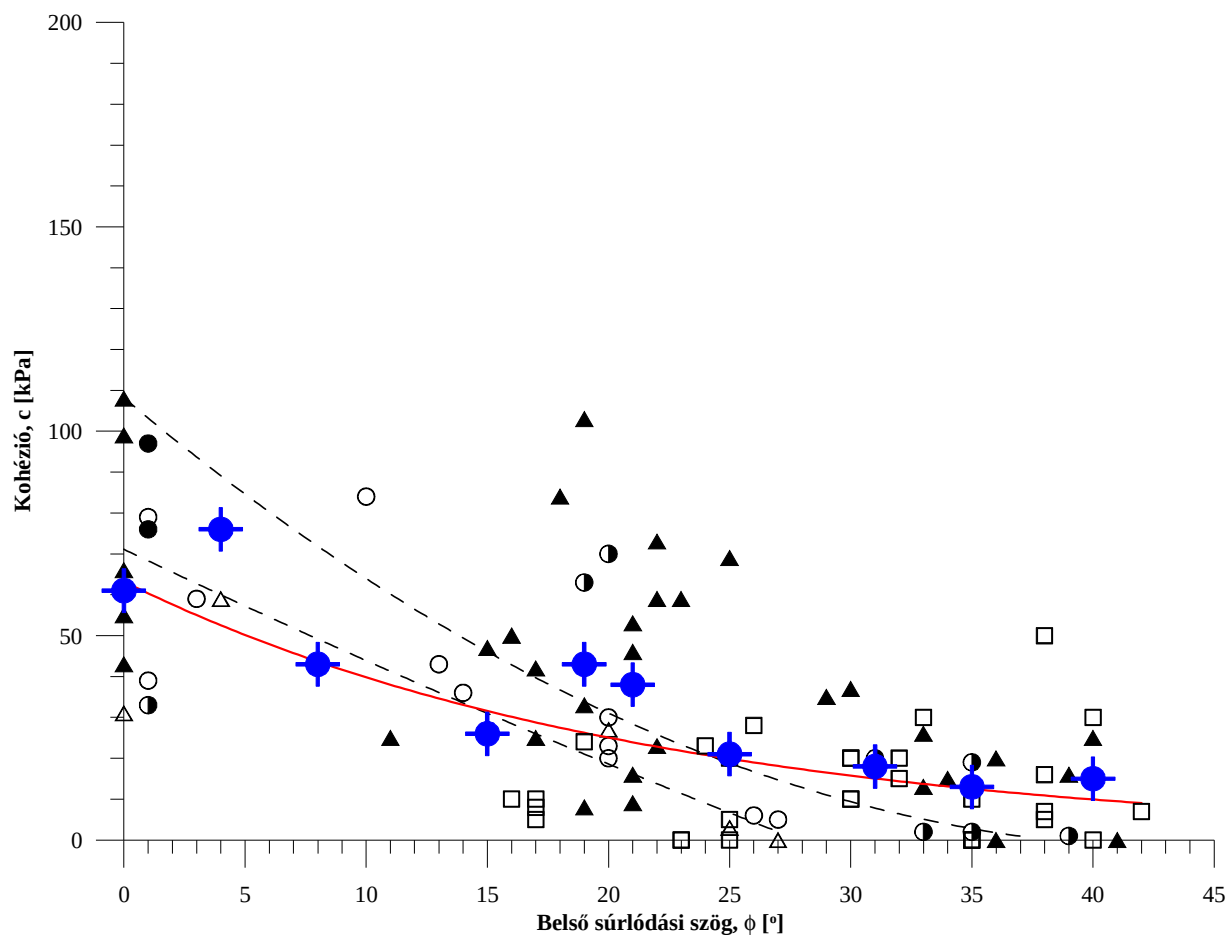
A modellszámításoknál a geomembrán lemez, geotextília, agyag szigetelőréteg közötti állékonysági, megcsúszási kérdésekkel nem foglalkoztam.

3.3.3. A hulladékrétegek nyírószilárdsági paramétereinek meghatározása

Az alkalmazott SLOPE/W program lehetőséget nyújt arra, hogy az egyes rétegek kohéziós, belső súrlódási szög és térfogatsűrűség értékeit külön-külön beállítsuk, tehát egy sokrétegű rendszer állékonyságvizsgálatát elvégezzük.

Modellszámításaim során 10 féle, különböző, azonos valószínűséggel előforduló nyírószilárdsági paraméter értékkel rendelkező hulladékréteggel dolgoztam. Az egyes rétegek közti napi takaróréteg tulajdonságait a homoknak megfelelő értékekre állítottam be, s a vizsgálatok során ezen értékek konstansak voltak. A rekultivációs réteg tulajdonságait átlagos paraméter értékekkel vettem figyelembe.

A hulladékrétegek nyírószilárdsági paramétereit a 3.3. ábrán bemutatott, a hulladékokra végzett laboratóriumi és helyszíni mérések alapján összeállított összefoglaló ábra alapján vettem fel, figyelembe véve azt, hogy az egyes értékpárok előfordulási valószínűsége azonos legyen (3.8. ábra).



3.8. ábra

Az azonos valószínűséggel előforduló nyírószilárdsági paraméterek meghatározása

A **3.8 ábrán** kék színű pontok jelölik a kiválasztott értékpárokat, amelyek az x és y koordinátatengelyekről leolvashatóak, de a **3.2. táblázatban** összefoglalva is megadtam.

A **3.1. táblázat** tünteti fel a rekultivációs, szigetelő és napi zárórétegek közetfizikai paraméter értékeit. A térfogatsűrűség értékeknél figyelembe vettem, hogy a hulladék réteg milyen mélységben helyezkedik el, azaz mennyire tömörödött. Ennek megfelelően 11-16 kN/m³ közötti térfogatsúly értékekkel számoltam.

3.1. táblázat

<i>A szigetelő és napi zárórétegek közetfizikai paraméter értékei</i>					
A réteg sorszáma a 3.7. ábrán	A réteg megnevezése	A SLOPE-ban alkalmazott talaj modell	Térfogatsúly, γ [kN/m ³]	Kohézió, c [kN/m ²]	Belső súrl. szög, ϕ [°]
1	rekultivációs réteg	Mohr-Coulomb	17	10	20
2	kavicsszivárgó	Mohr-Coulomb	20	0	35
3	agyag szigetelés	Mohr-Coulomb	18,5	80	15
4	gázmentesítő, kiegy. réteg	Mohr-Coulomb	19	0	25
5	10. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	11	*	*
6	9. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
7	9. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	12	*	*
8	8. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
9	8. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	12	*	*
10	7. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
11	7. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	13	*	*
12	6. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
13	6. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	13	*	*
14	5. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
15	5. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	14	*	*
16	4. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
17	4. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	14	*	*
18	3. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
19	3. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	15	*	*
20	2. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
21	2. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	15	*	*
22	1. napi takarás	Mohr-Coulomb	18	20	20
23	1. hulladékréteg	Mohr-Coulomb	16	*	*
24	kavicsszivárgó	Mohr-Coulomb	21	0	35
25	geomembrán	Bedrock			

*: A hulladékrétegek közetfizikai paraméterei a 3.2 táblázatban feltüntetett 10 db értékpárból véletlenszám-generátorral kerültek kiválasztásra.

3.2. táblázat

<i>Az állékonyságvizsgálatoknál a hulladékrétegekre meghatározott nyírószilárdsági értékpárok</i>		
A réteg sorszáma	Belső súrlódási szög, ϕ [°]	Kohézió, c [kN/m ²]
1	0	61
2	4	76
3	8	43
4	15	26
5	19	43
6	21	38
7	25	21
8	31	18
9	35	13
10	40	15

A véletlenszerűen választott nyírószilárdsági paraméterekkel végzett számítások mellett elvégeztük az egyes depóniatestek állékonyságvizsgálatát a nemzetközi gyakorlatban ajánlott átlagos nyírószilárdsági paraméter értékekkel is. Ezen vizsgálatoknak az volt a célja, hogy megvizsgáljuk, melyik módszer ad megbízhatóbb és gazdaságosabb megoldást, azaz ugyanazon számítási módszer mellett mikor kapunk nagyobb megengedhető rézsűhajlást azonos biztonsági tényező érték mellett. A modellszámításoknál alkalmazott esetek nyírószilárdsági paraméter értékeit a **3.3. táblázat** tartalmazza.

3.3. táblázat

<i>Az átlagos nyírószilárdsági paraméterrel végzett számításoknál használt hulladékfizikai paraméterek</i>		
Szerző	c [kN/m ²]	ϕ [°]
ÖNORM 2073 (l. 3.2.fejezetben)	5	25
SANCHEZ-ALCITTURI et al., 1993., (l. 3.5. ábrán) SZABÓ, 1999.	10	20
SANCHEZ-ALCITTURI et al., 1993. (l. 3.5. ábrán)	20	20

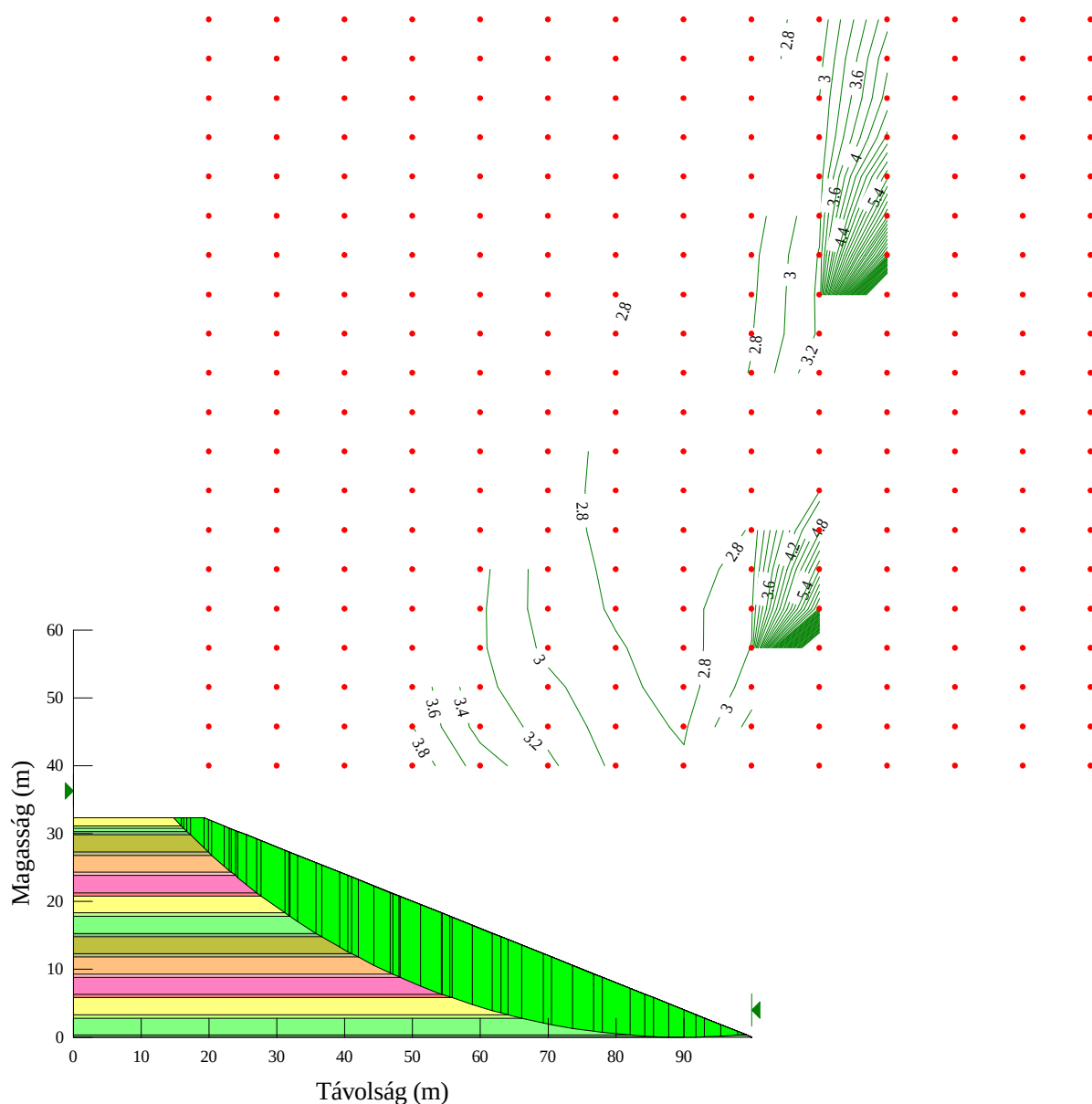
3.3.4. A rétegrendek meghatározása

Minden egyes esetben 100 különböző rétegrend mellett végeztük el az állékonyságvizsgálatokat, miközben a hajlásszöget 21,8°, 26°, 30°, 35°, és 40° érték között változtattuk. Az első két eset 1:2,5 és 1:2 rézsűhajlásnak felel meg.

A rétegrendek felvételénél a **3.2. táblázatban** már bemutatott 1-10 hulladéktípust használtuk. Az egyes hulladéktípusokat, illetve azok fizikai paramétereit a **3.8. ábra** szerinti kohézió-belső súrlódási szög értékekre egy véletlenszám generátor segítségével választottuk ki. A különböző nyírószilárdsági paraméterekkel rendelkező hulladékok értelemszerűen ismétlődően is előfordulhattak egy állékonyságvizsgálati rétegrenden belül.

3.3.5. A depóniatest állékonyságvizsgálatának eredményei

Egy-egy adott hajlásszög mellett végzett állékonyságvizsgálatnál a minimális biztonsági tényező meghatározása 280 db (lásd 3.7. ábrán) csúszólap vizsgálatával történt. Egy tipikus állékonyságvizsgálati eredményt a **3.9. ábra** mutat be. Figyelembe véve, hogy egy adott hajlásszög mellett 100 különböző rétegrend vizsgálatára került sor, ez azt jelenti, hogy egy-egy adott hajlásszögű depóniatest állékonyságvizsgálata 28000 variáns figyelembe vételével történt.



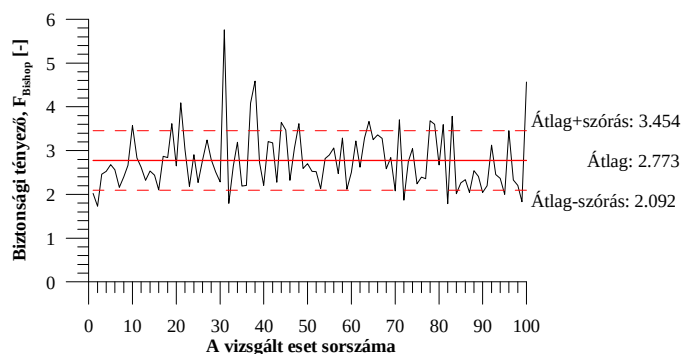
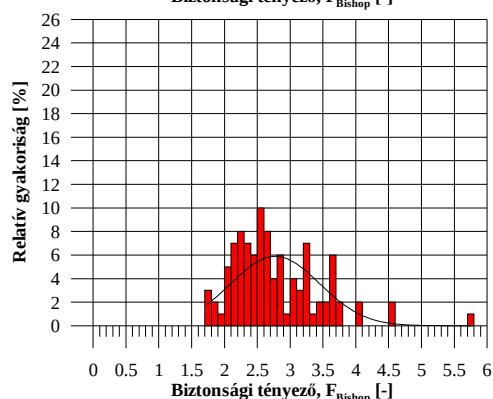
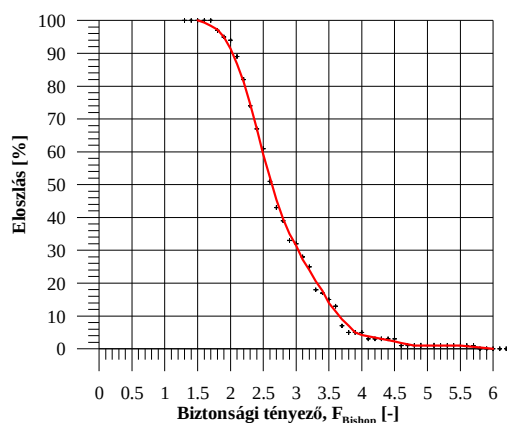
3.9. ábra
Egy jellemző állékonyságvizsgálati eredmény
(BISHOP módszer, oldalhajlás $21,8^\circ$, 62. rétegrend, $F = 2,70$)

A különböző hajlásszögek mellett kapott eredményeket összefoglalóan a **3.10-3.14 ábrákon** tüntettem fel. Az egyes ábrák tartalmazzák a véletlenszerűen választott 100 különböző rétegrendre kapott *biztonsági tényezők értékeit, azok hisztogramját, empirikus eloszlásfüggvényét*, és az adathalmaz főbb statisztikai paramétereit: *számtani átlag, medián, szórás, minimumérték, maximum érték, F_{95} és F_{90}* . Az utóbbi két érték az empirikus eloszlásfüggvény alapján a 95 ill. 90 %-os előfordulási valószínűséghez tartozó biztonsági tényező. Az ábrákon csak a BISHOP módszerrel kapott biztonsági tényező értékeket tüntettem fel, de a **3.1. mellékletben** megtalálhatóak a JANBU féle állékonyságvizsgálati módszerrel kapott eredmények. A két módszerrel kapott biztonsági tényezők alig különböznek egymástól, az eltérés kisebb, mint az alapadatok meghatározásának a megbízhatósága.

A **3.4 táblázatban**, a nemzetközi gyakorlatban ajánlott átlagos nyírószilárdsági értékek mellett a BISHOP módszerrel számított biztonsági tényező értékeket tüntettem fel. A JANBU módszerrel kapott értékeket ugyancsak a **3.1. melléklet** tartalmazza.

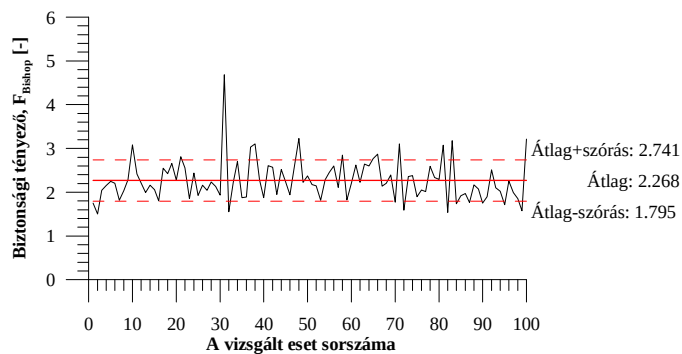
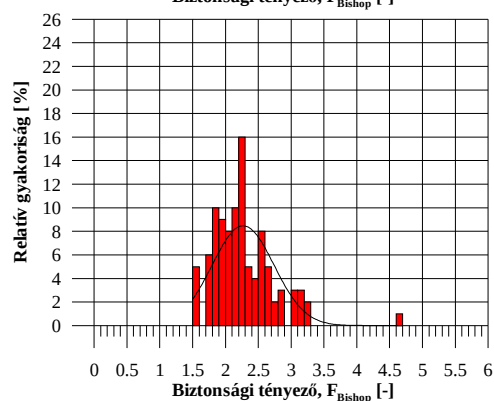
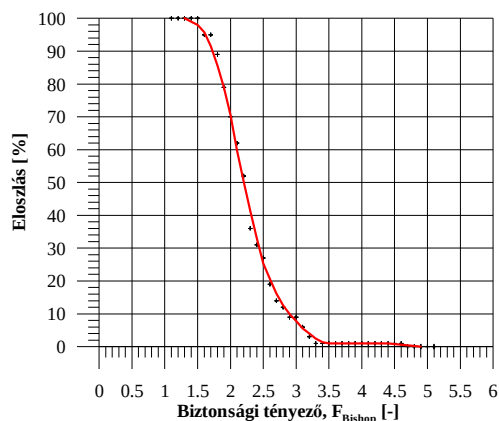
3.4. táblázat

Az átlagos nyírószilárdsági paraméter értékekkel számított biztonsági tényező értékek (BISHOP módszer)			
Rézsűhajlás [fok]	$c=5 \text{ kN/m}^2; \varphi=25^\circ$	$c=10 \text{ kN/m}^2; \varphi=20^\circ$	$c=20 \text{ kN/m}^2; \varphi=20^\circ$
21,8	1,500	1,378	1,597
26	1,274	1,171	1,360
30	1,116	1,033	1,199
35	0,965	0,919	1,058
40	0,852	0,813	0,957



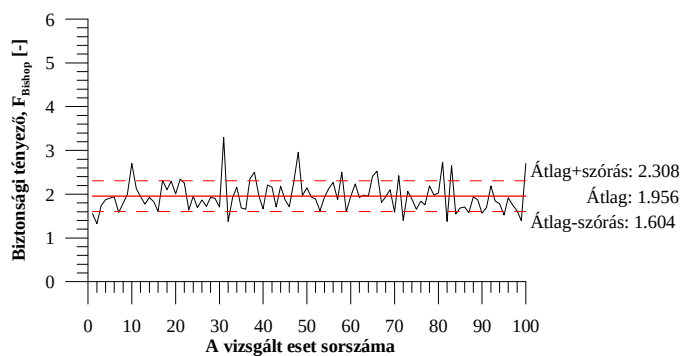
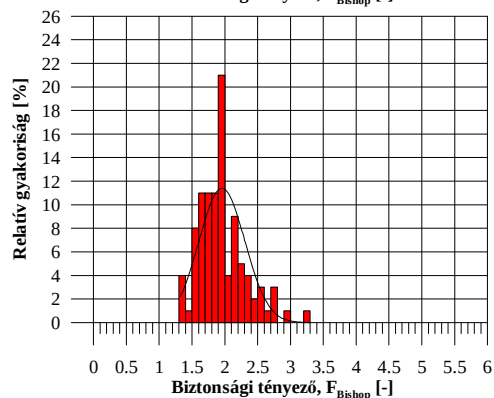
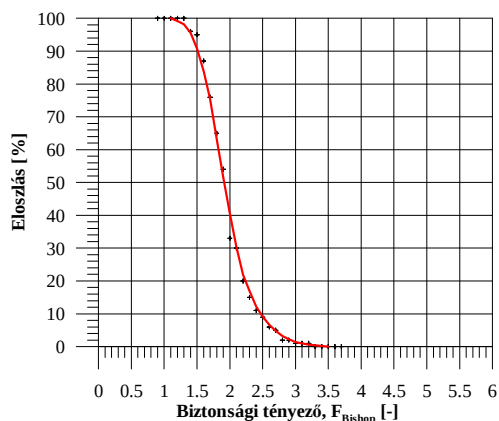
Számítási módszer:	Bishop
Különböző rétegrendek száma:	100
Geometria:	A
Rézsűhajlás:	21,8°
Számtani átlag:	2,773
Minimum:	1,731
Maximum:	5,759
Medián:	2,619
Szórás:	0,681
$F_{90\%}$:	2,08
$F_{95\%}$:	1,90

3.10. ábra: A rézsűállékonyság vizsgálatok eredményei ("A" geometria; Bishop módszer)



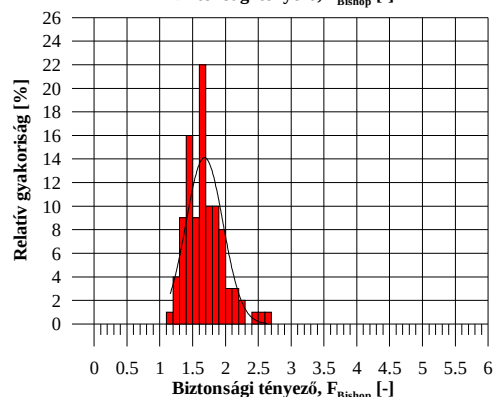
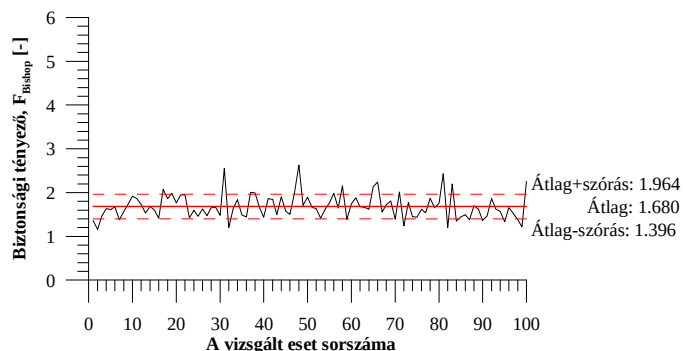
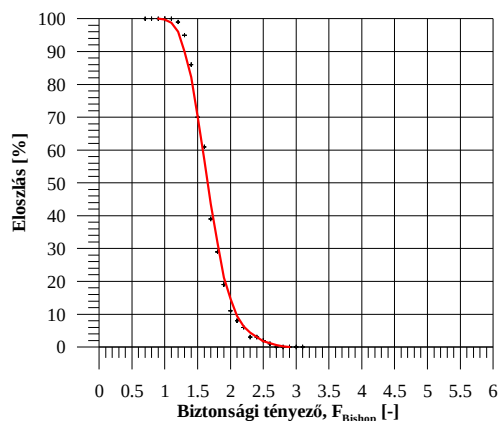
Számítási módszer:	Bishop
Különböző rétegrendek száma:	100
Geometria:	B
Rézsuhajlás:	26,0°
Számítási átlag:	2,268
Minimum:	1,501
Maximum:	4,686
Medián:	2,208
Szórás:	0,473
F _{90%} :	1,78
F _{95%} :	1,70

3.11. ábra: A rézsúállékonyság vizsgálatok eredményei ("B" geometria; Bishop módszer)



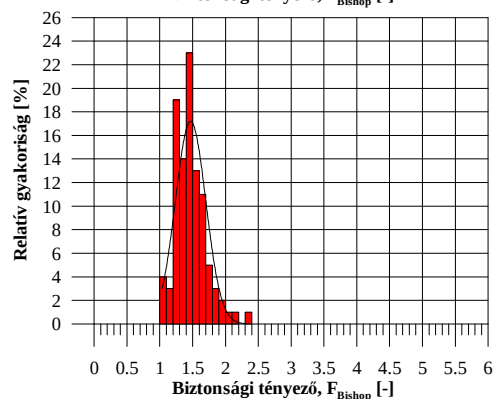
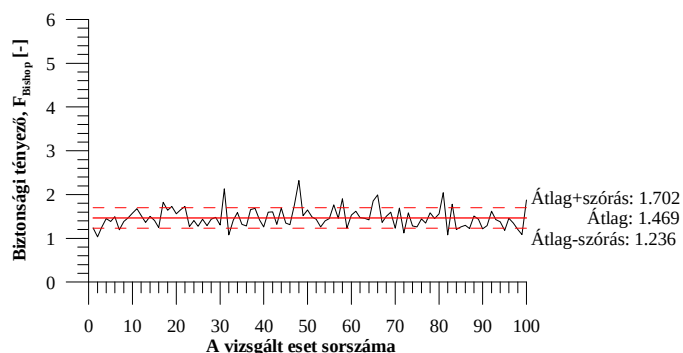
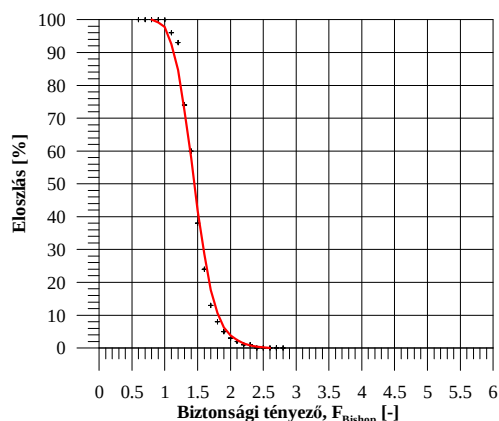
Számítási módszer:	Bishop
Különböző rétegrendek száma:	100
Geometria:	C
Rézsuhajlás:	30,0°
Számítási átlag:	1,956
Minimum:	1,323
Maximum:	3,291
Medián:	1,926
Szórás:	0,352
F _{90%} :	1,57
F _{95%} :	1,50

3.12. ábra: A rézsúállékonyság vizsgálatok eredményei ("C" geometria; Bishop módszer)



Számítási módszer:	Bishop
Különböző rétegrendek száma:	100
Geometria:	D
Rézsúhajlás:	35,0°
Számítási átlag:	1,680
Minimum:	1,159
Maximum:	2,629
Medián:	1,644
Szórás:	0,284
F _{90%} :	1,36
F _{95%} :	1,30

3.13. ábra: A rézsúállékonyság vizsgálatok eredményei ("D" geometria; Bishop módszer)

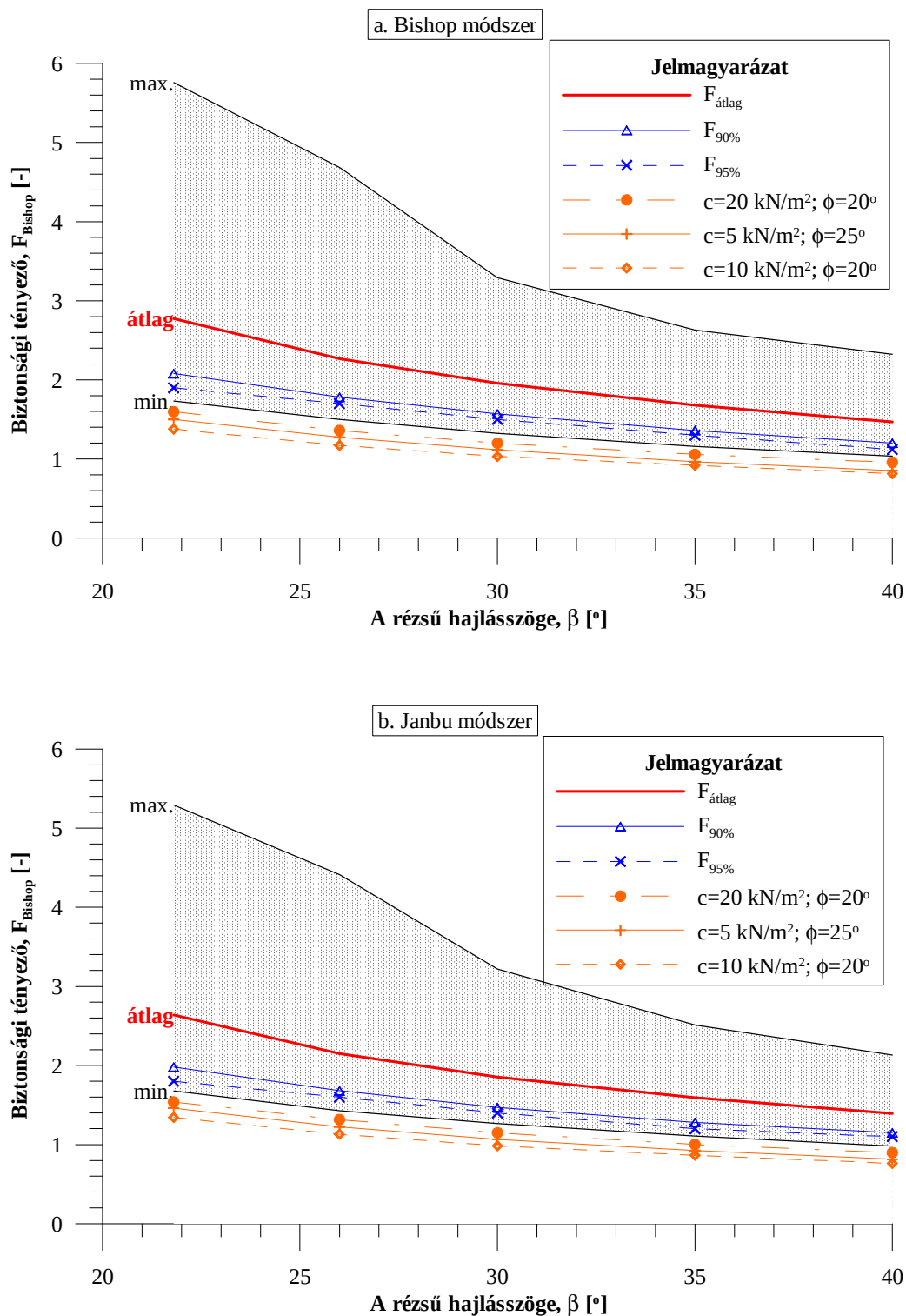


Számítási módszer:	Bishop
Különböző rétegrendek száma:	100
Geometria:	E
Rézsúhajlás:	40,0°
Számítási átlag:	1,469
Minimum:	1,037
Maximum:	2,324
Medián:	1,440
Szórás:	0,233
F _{90%} :	1,20
F _{95%} :	1,12

3.14. ábra: A rézsúállékonyság vizsgálatok eredményei ("E" geometria; Bishop módszer)

A kapott eredmények könnyebb értékelhetősége érdekében a biztonsági tényező alakulását a rézsúhajlás függvényében a **3.14. ábra** tünteti fel. Az ábrán megtaláljuk a véletlenszerűen választott rétegrendre vonatkozóan az átlagos, 90 és 95 %-os előfordulási valószínűséghez

tartozó biztonsági tényező értékeit, valamint az átlagos nyírószilárdsági paraméterrel végzett számítások eredményeit, mindkét esetben feltüntetve mind a BISHOP, mind a JANBU módszerre vonatkozó értékeket. Úgy gondolom, hogy depóniáknál elegendő a legalább 1,2-es biztonsági tényező előírása, hiszen a számításoknál nem tudjuk figyelembe venni az egyes emelési magasságok esetén építendő támasztó töltés biztonságot növelő hatását.



3.14 ábra: A rézsűállékonyság vizsgálatok eredményei a rézsű hajlásszögének (β [°]) függvényében

3.4. Összefoglalás

Az állékonyságvizsgálatok eredményeinek értékelése:

a.) A számítások igazolták a várakozást, a valós viszonyokat jobban megközelítő inhomogén, rétegzett depóniatest mellett a véletlenszerűen választott nyírószilárdsági paraméterekkel számítva az állékonyságot minden esetben nagyobb biztonsági tényező értékek adódtak, mint a nemzetközi tervezési gyakorlatban ajánlott konstans nyírószilárdsági paraméterek esetében.

b.) A hagyományos módszerrel méretezve egy 30 méter magas hulladéklerakó rézsűjének a megengedhető hajlásszöge 26-28°, míg az általam javasolt módszer mellett 95 %-os valószínűségi szint mellett még a 35°-os hajlásszög is megengedhető. A lerakó oldalhajlásának 7-9°-os emelése a depónia hasznos térfogatát, a lerakható hulladék mennyiségét növeli, amely számottevő gazdasági előnnyel jár.

c.) A számítások azt mutatták, hogy még 40°-os hajlásszög mellett sem csúszik meg a depóniatest, de ebben az esetben a rekultiváció során ajánlott a biztonságot növelő további beavatkozások elvégzése.

A gyakorlatban a 40-45°-os oldalhajlás kialakítása általában nem javasolható, mert itt már a zárószigetelő rendszerrel lesznek állékonysági, megcsúszási, kivitelezési problémák. Ugyanakkor ma is több lerakónk épült meg, a tervektől eltérően, ilyen meredek oldalrézsűvel. Az elvégzett számítások alapján azt mondhatjuk, hogy ezen lerakók rekultivációja is megvalósítható a hajlásszög csökkentése, azaz az oldalrézsű „laposítása” nélkül, mert a biztonsági tényező értéke még mindig 1,0-nél nagyobb. Természetesen ezekben az esetekben a zárószigetelő rendszer beépítésénél egyedi megoldásokra van szükség.

IRODALOMJEGYZÉK

		<i>A survey of lethal failures in municipal solid waste dumps and landfills</i>
BLIGHT, G	2006	5th ICEG Congress of Environmental Geotechnics, Opportunities, Challenges and Responsibilities for Environmental Geotechnics, (ed. THOMAS, H.R.), Cardiff, 2006., pp. 13-43.
HUANG, Y.,H.	1983	<i>Stability analysis of earth slopes</i> Van Nostrand Reinhold Company Ltd, New York, 1983.
JESSBERGER, H.L.	1990	<i>Stoffeigenschaften von Abfall im Hinblick auf Standsicherheitsuntersuchungen an Abfalldeponien</i> <i>Neuzeitliche Deponietechnik</i> (Hrsg.: Jessberger, H.L.), pp. 171-191. Balkema, Rotterdam
MANASSERO, M.-PARKER, R.-PASQUALINI, E.-SZABÓ, I.-ALM, EIDA, M.-BOUAZZA, A.-DANIEL, D.E.-ROWE, R.K.	1998	<i>Controlled Landfill Design (Geotechnical Aspects)</i> , TC55SC4 Report 3 rd Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Lisboa, 1998.
MANASSERO, M	2000	<i>Solid waste containment systems</i> <i>GeoEng 2000, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering</i> 19-24 November, Melbourne, Australia Conference Proceeding on CD ROM

OWEIS, I.S. - KHERA, R.P	1990	<i>Geotechnology of Waste Management</i> <i>Butterworths, p. 273.</i>
ÖNORM 2074. TEIL 2	1990	<i>Geotechnik im Deponiebau</i>
SANCHEZ-ALCITTURI, I.M.-PALMA, I.-SAGESTA, C.-CANIZAL, I.	1993	<i>Mechanical properties of wastes in a sanitary landfill</i> <i>Proc. Int. Conf. Green '93, Bolton University, Bolton</i> <i>Balkema, Rotterdam</i>
SINGH, S.-MURPHY, B.J	1990	<i>Evaluation of the stability of sanitary landfills</i> <i>Geotechnics of Waste Fills (ed.: Landva, a.-Knowles, d.) ASTM-</i> <i>STP 1070, pp. 240-258.</i>
SZABÓ I	1994	<i>A hódmezővásárhelyi kommunális hulladéklerakóhely</i> <i>talajmechanikai szakvéleménye</i> <i>ME. Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék. Kézirat.</i> <i>Field and laboratory experiances related to mineral barriers of</i> <i>waste disposal sites</i>
SZABÓ A.-SZABÓ I.	2002	<i>12th Danube-European Conference Geotechnical Engineering,</i> <i>(ed.: DGGT),</i> <i>Passau, 27.-28.05.2002.</i>
TCHOBANOGLIOUS, G.- THEISEN, H.-VIGIL, S.	1993	<i>Integrated solid waste management</i> <i>Mc Graw-Hill Inc., p. 913.</i>

4. Különböző zárószigetelési rendszerek vízháztartásának vizsgálata

A hulladéklerakók tervezésénél elengedhetetlen a lerakók vízháztartásának számítása. A vízháztartás vizsgálat a vízháztartási egyenletből indul ki, amely számítás elvégzésével vizsgálható (többek között) egy rekultivációs rétegrend hatékonysága. A vizsgálattal olyan rétegrendek tervezhetők meg, amelyeknél érvényesül a korábbiakban említett „optimális kockázat” elve.

4.1. A *HELP*[®] modell alkalmazása vízháztartási vizsgálatoknál

A vízháztartás számításának a világon általánosan bevált és elterjedt módja a *Visual HELP*[®] hidrológiai modellező szoftver alkalmazása, amely numerikus megoldások segítségével vizsgálja a hulladéklerakókon bekövetkező felszíni és felszín alatti vízháztartási folyamatokat. A *HELP*[®] (*H*ydraulic *E*valuation of *L*andfill *P*erformance) lehetővé teszi a hulladéklerakók hidrológiai folyamatainak az előrejelzését, a tervezés hatékonyságának a vizsgálatát, a csurgalékvíz mennyiségének a becslését. A kétdimenziós hidrológiai modell meteorológiai, talaj, valamint tervezési alapadatok felhasználásával számítja a felszíni víztározásnak, a hóolvadásnak, a felszíni lefolyásnak, a beszivárgásnak, a növényzetnek, a talajok víztározásának, a szivárgó rétegek vízelvezetésének, a csurgalékvíz-visszaforogatásnak, a szigetelőrétegeken keresztül való szivárgásnak a hatását a lerakó vízháztartására. Az alapadatok meghatározását segíti a szoftver meteorológiai adatbázisa, valamint egy talaj, hulladék és geomembrán adatbázis (42 anyag paramétereivel).

A szoftver fontosabb alkalmazási lehetőségei hulladéklerakók esetén:

- Több lerakó profil szimulációja a legmegfelelőbb terv kiválasztása érdekében;
- Csurgalékvíz felgyülemelés, vagy szivárgási problémák kiértékelése meglévő lerakóknál;
- Szigetelő rendszerek hatásfokának értékelése a csurgalékvíz felgyülemelés csökkentése érdekében;
- Csurgalékvízgyűjtő rendszerek tervezése és optimalizálása.

Az alapvetően egydimenziós (egyes elemeiben kvázi kétdimenziós) hidrológiai modell a következő alapadatokat használja fel:

- Meteorológiai adatok (csapadék, napsugárzás, hőmérséklet);
- Tervezési adatok (szigetelők, szivárgó- és lefolyó vízgyűjtő rendszerek, a felszín lejtése);
- Talaj-jellemzők (hézagterfogat, szántóföldi kapacitás, hervadáspont, szivárgási tényező, kezdeti víztartalom).

4.1.1. A szoftver gyakorlati alkalmazása, az alapadat-rendszer előállítása

Egy adott gyakorlati probléma megoldásánál az első lépés a földrajzi elhelyezkedés és az adott terület meteorológiai adatainak meghatározása. A szoftver tartalmaz egy GIS eszközt, amely segítségével megkereshető az adott területhez legközelebb eső 5 meteorológiai állomás, melyek közül tetszés szerint kiválasztható az, amelyik adatait az időjárási adatok generálásához szeretnénk felhasználni.

A szoftver beépített globális meteorológiai adatbázisa tartalmazza a világ több, mint 7000 meteorológiai állomásának adatait.

Az időjárás generátor a kiválasztott meteorológiai állomás adatai alapján meghatározott jövőbeni időintervallumra (1-100 éves időtartamra) modellezi az adott területre jellemző

időjárási viszonyokat (csapadék, napsugárzás, hőmérséklet). Emellett lehetőség van a felhasználó által megadott időjárási adatok felhasználására is. A Visual HELP® a csapadék, napsugárzás, valamint hőmérséklet adatokat inputként használja a beszivárgó víztérfogat, a felszíni lefolyás, a hóolvadás, az evapotranszspiráció meghatározásához.

Egy új számítás indításakor a földrajzi elhelyezkedésen kívül meg kell adnunk az általunk tervezett lerakó területének nagyságát, valamint fel kell építenünk egy jellemző keresztmetszélyét, amely tartalmazza a lerakó egyes rétegeit.

A szelvény felépítésénél lehetőségünk van egy a szoftverbe beépített szelvény (EPA Profile1) elfogadására, és módosítására, vagy felépíthetjük magunk a teljes szelvényt. A szelvény felépítése lehet többretegű, a rétegek anyaga lehet természetes (pl. talaj), mesterséges (pl. geomembrán) vagy hulladék, lehetőség van horizontális vízelvezetés, csurgalékvíz visszaforgatás alkalmazására, valamint a szelvényen az egyes rétegek vastagságának és lejtésének megadására.

Az evapotranszspiráció és a felszíni lefolyás számításához szükség van a lerakó lezárása után tervezett növénytakaró minőségének a meghatározására is. 5 kategória közül választhatunk a füvesítés nélküli csupasz talajtól kezdve a kiváló minőségű füvesítésig. Figyelembe vehető, hogy a talajfelszínen mennyi a kezdeti víztározás hó vagy jég formájában, a lerakó területének mekkora részén van lehetőség felszíni lefolyásra, valamint választhatunk, hogy a lefolyás mértékét és a rétegek kezdeti víztartalmát mi határozzuk meg, vagy a modell számítsa ki.

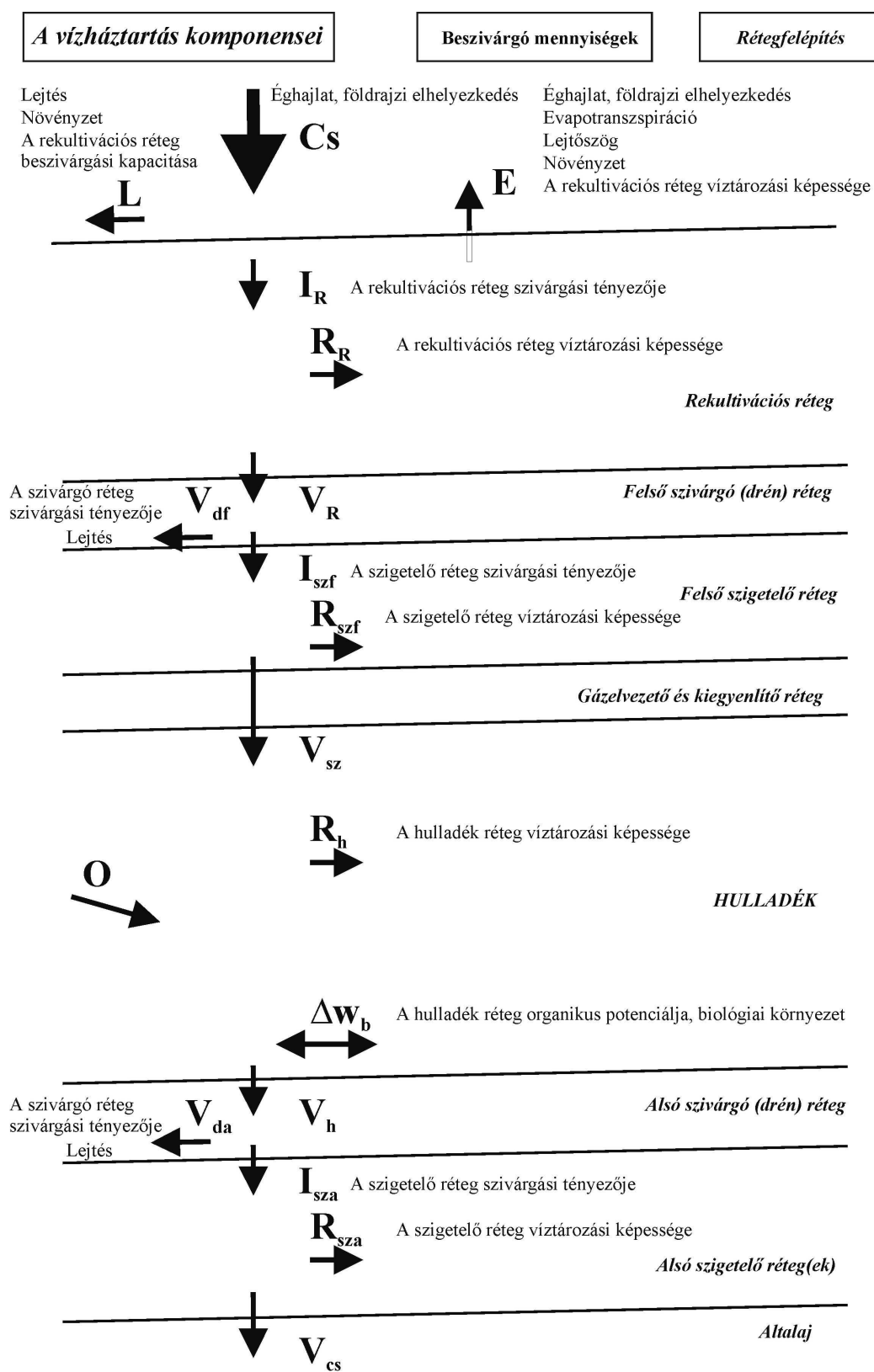
4.1.2. A vízháztartás egyes elemeinek meghatározása

A vízháztartási vizsgálatok során az egyik legfontosabb tényező az ún. *input adatok* meghatározása. A számítógépes módszer korábban említett előnyei közül a több alapadat használata egy létező hulladéklerakó vízháztartási vizsgálatának számításánál könnyen hátránnyá válhat, hiszen gyakorlati esetekben ezeknek az alapadatoknak a nagy részét nem határozzák meg, így a számításoknál csak az adott anyagra általában jellemző értékekre, vagy szakirodalmi adatokra támaszkodhatunk. Az alapadatok bizonytalansága miatt viszont a kapott eredményeket is óvatosan kell kezelnünk.

A **4.1. ábrán** látható, hogy a vízháztartási vizsgálat egyes összetevői és a lerakó alapadatai bonyolult összefüggésben állnak egymással.

A HELP® által modellezett felszín alatti vízháztartási folyamatok a következők:

Az első figyelembe vett felszín alatti folyamat a talajból történő párolgás, majd a növények által az evaporációs zónából történő transzspiráció. A többi modellezett folyamat esetében a HELP® 30 perctől 6 óráig terjedő időlépcsőt alkalmaz. A függőleges szivárgást biztosító rétegek esetén vízháztartási vizsgálatot végez a víztartalom meghatározására. A szivárgási tényezőt a víztartalomból számítja, majd meghatározza a gravitációs vízelvezetést (ha van). A szivárgó rétegek esetén a vízháztartás alapján meghatározzák, hogy a talaj telített-e a réteg bármely pontjában, és ha az, a vízelvezetést a rétegnek arra a részletére alapozva számolja ki, amelyik telített. A program feltételezi, hogy függőleges irányú szivárgás a telített zóna fölött következhet be a vízelvezető rétegben, és ugyanazt a módszert alkalmazza a gravitációs vízmozgás számítására, mint a függőleges szivárgást biztosító rétegek esetén. A szigetelő rétegek esetén feltételezi, hogy a réteg folyamatosan telített és így nem lehetséges víztározás, anélkül, hogy vízelvezetés történne. A szivárgást a vízelvezető réteg hidraulikai tulajdonságai és a hidraulikus gradiens alapján számolja. A geomembránon keresztül történő szivárgást a gőz diffúzió, a kisátmérőjű lyukakon, valamint a beépítési hibákon keresztül történő szivárgás figyelembe vételével számítja ki.



4.1. ábra

A vízháztartás egyes összetevőinek és a lerakó alapadatainak összefüggése
(MÄRTNER – ZEUNER, 2002.)

Az eredmények megjelenítése

A Visual HELP[®] lehetőséget ad az összes változó napi, havi, vagy éves lebontásban való megjelenítésére.

4.2. A HELP[®] modellben található időjárási adatok alkalmazhatósága Magyarországon

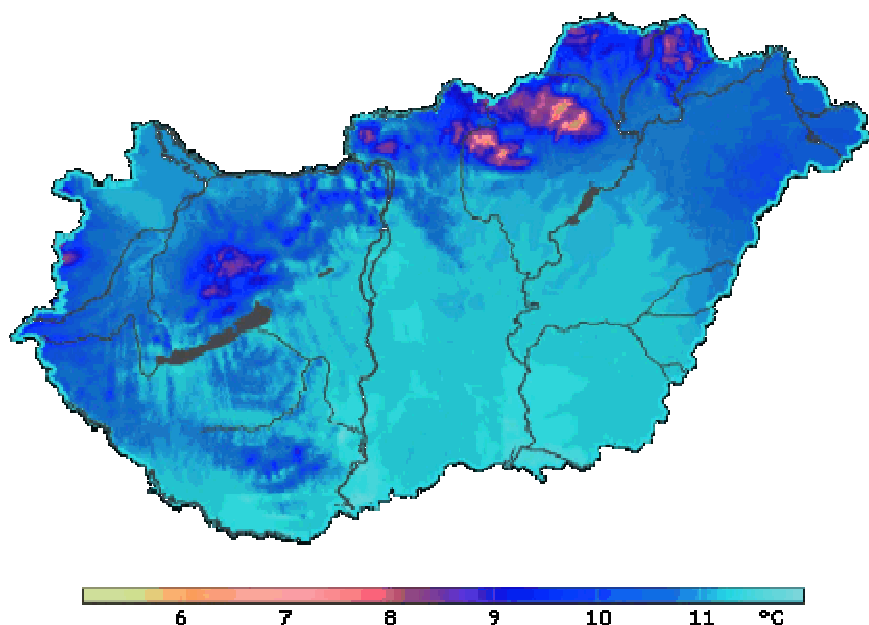
A hulladéklerakók rekultivációjának tervezésekor/modellezésekor nagy gondot kell fordítani a vizsgált terület éghajlati adottságaira. Hazánkban az éghajlat alapvetően nem változik, azonban az időjárás egyes paraméterei területenként különböznek, helyenként jelentős változással bírnak. A vízháztartási egyenlet egyik legjelentősebb eleme a csapadék, vagyis a hulladéklerakóra, a zárószigetelésre jutó terhelés eső vagy hó formájában. Ezen paraméter pontos meghatározása, ismerete elengedhetetlen ahhoz, hogy a tervezés során az adott területre minél megfelelőbb rekultivációs eljárást válasszunk. Mint minden olyan szoftver, amely nagy, szinte a teljes világra kiterjedő háttéradatbázissal rendelkezik, magában rejti az egyes területekre vonatkozó beépített adatok hibáját. Azt vizsgáltam, hogy a beépített adatok mennyire alkalmazhatók hazánk területén, a pontosságuk befolyásolja-e a későbbi modellvizsgálatok eredményeit.

4.2.1. Magyarország éghajlata, jellemzői az elmúlt 100 évben a hőmérséklet és a csapadék vonatkozásában

4.2.1.1. Hőmérséklet

A hőmérséklet a globális felmelegedés következtében hazánkban is kismértékben növekvő tendenciát mutat. A felmelegedés azonban a száz éves adatokat figyelembe véve érezhető, azonban nem tekinthető jelentősnek. Az 1901-1944 közötti időszakban a melegedés mintegy 0,76 °C-t tesz ki. A melegedés elsősorban a nyarakat érinti, itt volt a számok alapján a leginkább érezhető a felmelegedés, de ennek az értéke sem haladja meg az 1 °C-ot.

Magyarország átlaghőmérsékleti térképe (4.2. ábra) a zonalitás jegyeit hordozza a leghidegebb és a legmelegebb átlaghőmérsékletű területeken, több mint 5 °C-os eltérést mutatva. A legmelegebb területeket az Alföldön találjuk, míg értelemszerűen a leghidegebbeknek a hegyvidéki területek bizonyulnak.



4.2. ábra

Magyarország aktuális éves átlaghőmérsékletének területi eloszlása 1995-2004
(forrás: www.met.hu)

4.2.1.2. Csapadék

A csapadék mennyisége az elmúlt időszakban csökkenő tendenciát mutat, csapadékos évek jellemzőbben a század első felében léptek fel, a csapadékmennyiség csökkenése az 1901-2004-es időszakban elérte a 11 %-ot (4.3. ábra).

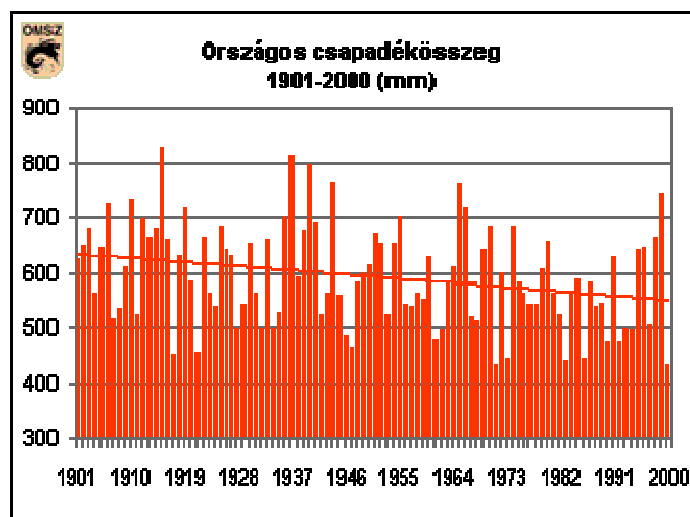
Az országos éves csapadékmennyiség átlaga az 1961-1990-es évek között 612 mm volt.

A legjelentősebb csapadékmennyiség csökkenés tavasszal van, míg a száraz nyári hónapok egyenletes eloszlást mutatnak, az elmúlt 100 évben a nyári csapadékösszeg gyakorlatilag nem változott.

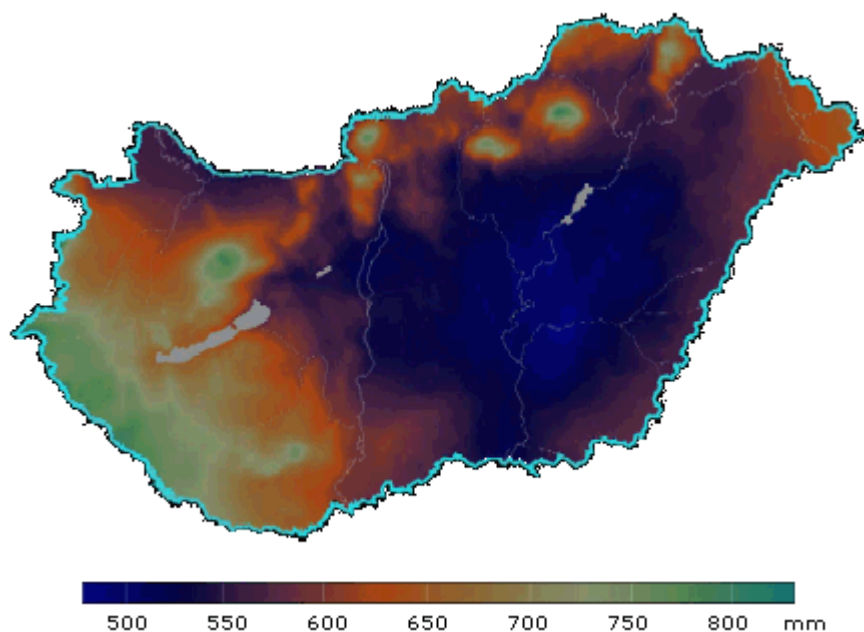
A hőmérséklethez hasonlóan, de fordított arányban a csapadékok eloszlása is különböző az ország egyes részein. A legszárazabb Alföldi területeken az éves csapadékösszegek átlaga 500 mm alatt van, míg az ország délnyugati részén a csapadékmennyiség jelentősen megnő (4.4. ábra).

A korábbiakhoz képest napjainkra a nagy éves csapadékú területek csökkentek (min. 700 mm/év), a 750 mm/év csapadékú területek a sokéves átlagokat tekintve megszűnni látszanak. Az alacsony csapadékú területek (<500 mm alatt) növekedést mutatnak.

A csapadék eloszlására egyre inkább a DNY-ÉK-i irányultság a jellemző (a Földközi-tengertől távolodva csökkenő) és a domborzat, elsősorban a tengerszint feletti magasság (magassággal növekvő) módosító hatása a jellemző.



4.3. ábra
Országos csapadékösszegek és lineáris trend az 1901-2000 közötti időszakban
(Forrás: www.met.hu)



4.4. ábra
Átlagos éves csapadékösszeg az 1961-1990 közötti időszak adatai alapján
(Forrás: www.met.hu)

4.3. A Visual Help[®] programban található meteorológiai adatok

A Visual Help[®] program adatbázisában hazánkra vonatkozóan 20 település meteorológiai adata található meg, ezen helyek adatai jól reprezentálják az ország területét (**4.5. ábra**)



4.5. ábra

A Visual Help[®] program adatbázisában található meteorológiai adattal rendelkező települések

4.4. Az Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) adatainak összehasonlítása a Visual HELP[®] programban található adatokkal

4.4.1. Csapadék

Az összehasonlításhoz 6 magyarországi város adatát használtam fel, amelyek a következők voltak: Budapest, Miskolc, Debrecen, Szeged, Pécs, Szombathely.

A modell adatbázisában szereplő adatokat hasonlítja össze az OMSZ adataival a **4.1. táblázat**.

4.1. táblázat

Csapadékadatok összehasonlítása							
Budapest	MET	HELP	Eltérés	Szombathely	MET	HELP	Eltérés
január	32	30,50	1,50	január	29	21,50	7,50
február	31	29,50	1,50	február	26	25,20	0,80
március	29	28,70	0,30	március	34	29,40	4,60
április	38	37,20	0,80	április	40	35,50	4,50
május	55	75,00	-20,00	május	72	78,50	-6,50
június	63	55,90	7,10	június	77	82,70	-5,70
július	52	46,50	5,50	július	78	76,90	1,10
augusztus	51	52,00	-1,00	augusztus	72	71,80	0,20
szeptember	40	27,80	12,20	szeptember	52	55,20	-3,20
október	33	33,30	-0,30	október	48	45,00	3,00
november	52	51,50	0,50	november	52	49,60	2,40
december	40	41,90	-1,90	december	31	31,90	-0,90
Összesen	516	509,8	6,2	Összesen	611	603,2	7,8
	Eltérés	Százalék	1,20		Eltérés	Százalék	1,28

Miskolc	MET	HELP	Eltérés	Szeged	MET	HELP	Eltérés
január	27	23,90	3,10	január	29	28,10	0,90
február	28	24,90	3,10	február	25	22,90	2,10
március	32	30,30	1,70	március	29	28,90	0,10
április	40	44,10	-4,10	április	41	38,90	2,10
május	65	67,00	-2,00	május	51	56,20	-5,20
június	83	74,20	8,80	június	72	69,30	2,70
július	60	58,40	1,60	július	50	43,90	6,10
augusztus	65	62,70	2,30	augusztus	57	55,70	1,30
szeptember	41	36,10	4,90	szeptember	34	32,50	1,50
október	34	36,20	-2,20	október	26	28,00	-2,00
november	43	41,70	1,30	november	41	38,10	2,90
december	36	29,30	6,70	december	40	34,50	5,50
Összesen	554	528,8	25,2	Összesen	495	477	18
	Eltérés	Százalék	4,55		Eltérés	Százalék	3,64

Debrecen	MET	HELP	Eltérés	Pécs	MET	HELP	Eltérés
január	37	41,5	-4,50	január	39	40,10	-1,10
február	30	28,7	1,30	február	32	32,30	-0,30
március	34	38,6	-4,60	március	38	37,70	0,30
április	42	43,9	-1,90	április	55	43,80	11,20
május	59	67,1	-8,10	május	63	64,70	-1,70
június	80	77,6	2,40	június	84	77,10	6,90
július	65	73,4	-8,40	július	61	54,10	6,90
augusztus	61	49,6	11,40	augusztus	63	59,20	18,90
szeptember	38	33,6	4,40	szeptember	47	44,10	4,90
október	31	34,1	-3,10	október	37	42,10	-17,90
november	45	42,6	2,40	november	56	54,90	16,10
december	44	41,6	2,40	december	44	39,90	4,10
Összesen	572,3	572,3	-6,3	Összesen	619	590	48,3
	Eltérés	Százalék	0,00		Eltérés	Százalék	4,68

(az értékek mm-ben vannak megadva)

4.4.2. Hőmérséklet

A csapadékadatok összehasonlításához hasonlóan elvégeztem a hőmérséklet adatok között előforduló esetleges anomáliák vizsgálatát is. Az adatok összehasonlításához ugyanazokat a településeket választottam ki. Az összehasonlított adatokat a **4.2. táblázat** mutatja be.

4.2. táblázat

Hőmérsékletadatok összehasonlítása							
Budapest	MET	HELP	Eltérés	Szombathely	MET	HELP	Eltérés
január	-1,6	-1,40	-0,20	január	-1,9	-1,33	-0,57
február	1,1	0,80	0,30	február	0,5	0,21	0,29
március	5,6	6,30	-0,70	március	4,5	5,57	-1,07
április	11,1	10,80	0,30	április	9,5	9,45	0,05
május	15,9	15,73	0,17	május	14,2	14,14	0,06
június	19	18,82	0,18	június	17,4	17,37	0,03
július	20,8	20,93	-0,13	július	19,2	19,52	-0,32
augusztus	20,2	20,44	-0,24	augusztus	18,6	19,20	-0,60
szeptember	16,4	16,91	-0,51	szeptember	15,1	15,78	-0,68
október	11	11,25	-0,25	október	9,7	10,24	-0,54
november	4,8	4,29	0,51	november	4	3,85	0,15
december	0,4	1,20	-0,80	december	-0,1	0,81	-0,91

Miskolc	MET	HELP	Eltérés	Szeged	MET	HELP	Eltérés
január	-3,3	-2,76	-0,54	január	-1,8	-1,13	-0,67
február	-0,5	-0,75	0,25	február	0,9	0,69	0,21
március	4,4	5,15	-0,75	március	5,6	6,45	-0,85
április	10,3	9,87	0,43	április	11,1	10,96	0,14
május	15,2	14,98	0,22	május	16,2	16,17	0,03
június	18,3	18,01	0,29	június	19,2	19,08	0,12
július	19,9	19,71	0,19	július	20,8	20,82	-0,02
augusztus	19,1	19,27	-0,17	augusztus	20,2	20,42	-0,22
szeptember	15,2	15,79	-0,59	szeptember	16,5	17,10	-0,60
október	9,4	10,03	-0,63	október	11	11,16	-0,16
november	3,7	3,24	0,46	november	5,1	4,62	0,48
december	-1,1	-0,67	-0,43	december	0,6	1,41	-0,81

Debrecen	MET	HELP	Eltérés	Pécs	MET	HELP	Eltérés
január	-2,6	-1,98	-0,62	január	-1,4	-0,64	-0,76
február	0,2	-0,01	0,21	február	1,3	0,92	0,38
március	5,1	5,94	-0,84	március	5,6	6,53	-0,93
április	10,7	10,58	0,12	április	10,7	10,65	0,05
május	15,8	15,7	0,10	május	15,5	15,49	0,01
június	18,7	18,64	0,06	június	18,6	18,61	-0,01
július	20,3	20,34	-0,04	július	20,5	20,76	-0,26
augusztus	19,6	19,82	-0,22	augusztus	20,1	20,45	2,74
szeptember	15,8	16,39	-0,59	szeptember	16,6	17,36	4,77
október	10,3	10,96	-0,66	október	11,3	11,83	6,64
november	4,5	4,03	0,47	november	5,1	4,66	3,36
december	-0,2	0,35	-0,55	december	0,6	1,74	-1,14

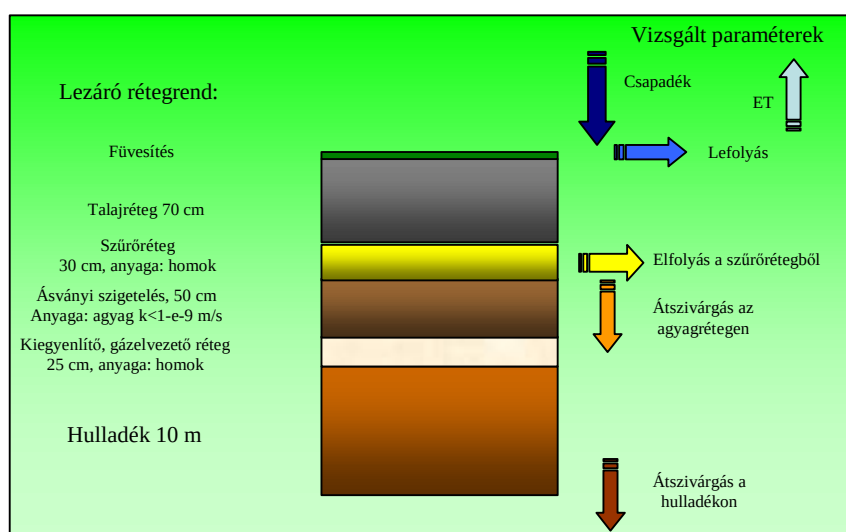
(az értékek °C-ban vannak megadva)

A hőmérséklet adatok kisebb eltérést mutatnak, mint a csapadék adatok. Az eltérések a legtöbb esetben nem nagyobbak ± 1 °C-nál.

4.4.3. Az időjárási adatok és a Visual HELP® modell eredményei közötti összefüggés vizsgálata

Az előző fejezetekben bemutatam, hogy az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai és a Visual HELP® szoftver adatbázisában található adatok között van eltérés. Ez a különbség a csapadékadatok esetében jelentősebb, míg a hőmérséklet adatok vizsgálatát során a különbség nem bizonyult jelentősnek.

Egyszerű modellek, azonos rétegrendre történő lefuttatásával azt vizsgáltam, hogy a Visual HELP® szoftverbe épített adatok, illetve az OMSZ által mért adatok felhasználásával történő modellek futtatása között mekkora különbség mutatkozik. A vizsgálathoz a **4.6 ábrán** látható rétegrendet használtam fel.



4.6. ábra
A modellezéshez használt rétegrend

A modellt csak kvázi vízszintes térszínre futtattam le, mivel ezen a helyen a legnagyobb a csapadékvíz beszivárgásának a valószínűsége, a rézsúoldalak vizsgálatától ebben az esetben eltekintettem.

4.4.3.1. A vizsgált esetek

A vizsgált eseteket a **4.3. táblázat** foglalja össze.

4.3. táblázat

Vizsgált esetek				
	A eset	B eset	C eset	D eset
Helyszín	Pécs	Pécs	Szeged	Szeged
Felhasznált meteorológiai adat	HELP®	OMSZ	HELP®	OMSZ

A települések kiválasztása oly módon történt, hogy a vizsgált hat település közül kiválasztottam a leginkább csapadékos, illetve a legkevésbé csapadékos települést (Pécs, valamint Szeged). Az OMSZ-HELP adatok vizsgálata során Pécs településen bizonyult a HELP[®] adatbázisba beépített, illetve az OMSZ adatok között a legnagyobb eltérés (4,68 %).

4.4.3.2. A vizsgálati eredmények

4.4.3.2.1. Az „A” és a „B” esetek összehasonlítása

A vizsgálati eredményeket a 4.4. táblázat foglalja össze.

4.4. táblázat

Az „A” és a „B” esetek összehasonlítása							
PÉCS		1. év	10. év	25. év	50. év	100. év	teljes (akkumulált)
HELP [®]	Eső	5359	5969	5132	6304	5437	604940
	Elfolyás	0	92	38	0	547	17976
	ET	4545	4842	4006	4584	3827	445830
	Elszivárgás	0	0	0	0	0	1
	Átfolyás agyag	833	1142	1031	1669	886	141129
	Átfolyás hulladék	829	1142	1032	1670	864	141129
OMSZ	Eső	5676	6300	5423	6640	5620	634150
	Elfolyás	0	106	33	0	556	17878
	ET	4823	5106	4240	4744	4009	468880
	Elszivárgás	0	0	0	0	0	2
	Átfolyás agyag	868	1223	1016	1862	881	147630
	Átfolyás hulladék	868	1208	1015	1866	886	147630

(az adatok m³-ben megadva)

A modellezett teljes lehullott csapadék mennyiségében 29.210 m³ különbség mutatkozott 100 éves időtartamra, amely évente 292,1 m³-nyi csapadékkülönbséget jelent 1 ha területre (egyenletes eloszlást feltételezve).

Az evapotranszspiráció mértékében is mutatkozott különbség, amelynek növekedése arányos a lehullott csapadék mennyiségével.

Az agyagrétegen a HELP[®] modell adatait felhasználva összesen 141.129 m³ csapadék jutott át (évente 1.411,3 m³), míg az OMSZ adatok felhasználásával futtatott modell esetén 147.630 m³ (évente 1,476,3 m³). A két érték között 65 m³ a különbség évente, amely jelentősnek mondható 1 ha területre vonatkozóan. Az 1 ha területet tovább bontva ez az érték éves szinten négyzetméterenként 6,5 liter csapadék többletbeszivárgását jelenti.

4.4.3.2.2. A „C” és a „D” esetek összehasonlítása

Az előző esetekhez hasonlóan, de egy másik területre, Szegedre – mint az ország egyik leginkább csapadékszegény területére – végeztem el az összehasonlítást. A kapott vizsgálati eredményeket a **4.5. táblázat** mutatja be.

4.5. táblázat

A „C” és „D” esetek összehasonlítása							
Szeged	évek	1. év	10. év	25. év	50. év	100. év	teljes (akkumulált)
HELP®	Eső	3746	4220	5729	5367	5729	484590
	Elfolyás	0	222	79	0	832	8695
	ET	3310	3280	4688	4439	4075	389640
	Elszivárgás	0	0	0	0	0	0
	Átfolyás agyag	437	1094	467	1350	843	86101
	Átfolyás hulladék	438	1093	463	1348	842	86102
OMSZ	Eső	3967	4458	5952	5603	5939	502020
	Elfolyás	0	308	106	0	1009	10686
	ET	3405	3380	4758	4549	4115	396840
	Elszivárgás	0	0	0	0	0	0
	Átfolyás agyag	570	1218	515	1552	894	94407
	Átfolyás hulladék	572	1220	520	1554	891	94406

(az adatok m³-ben megadva)

A modellezett teljes lehullott csapadék mennyiségében 17.430 m³ különbség mutatkozott 100 éves időtartamra, amely évente 174,3 m³-nyi csapadékkülönbséget jelent 1 ha területre (egyenletes eloszlást feltételezve).

Az agyagrétegen a HELP® modell adatait felhasználva összesen 86.101 m³ csapadék jutott át (évente 861,01 m³), míg az OMSZ adatok felhasználásával futtatott modell esetén 94.407 m³ (évente 944,07 m³). A két érték között mintegy 83 m³ a különbség évente, amely jelentősnek mondható 1 ha területre vonatkozóan. Az 1 ha területet tovább bontva ez az érték éves szinten négyzetméterenként 8,3 liter csapadék többletbeszivárgását jelenti. Ebben az esetben ez a különbség nagyobbra bizonyult, mint az „A” és „B” esetek együttes vizsgálata esetén.

Összefoglalva megállapítható, hogy a különböző forrásból származó, de ugyanarra a területre vonatkozó meteorológiai adatokból generált 100 éves előrejelzés jelentős mértékben befolyásolja a modell számítási eredményeit, ezért egy konkrét területre vonatkozó modell elkészítésekor a modell adatbázisában található meteorológiai eredményeket felül kell vizsgálni, és szükség esetén célszerű módosítani azokat, amelyre a Visual HELP® program lehetőséget ad.

4.4.3.2.3. Ugyanazon modell különböző területekre való futtatásának eredményvizsgálata

Az előzőekben bemutatam, hogy a modellben található, előre beépített adatokat célszerű egy adott terület modellezése során felülvizsgálni. Jelen esetben azt vizsgáltam, hogy mekkora mértékben befolyásolja egy adott modell eredményeit az, hogy ugyanazt a modellt különböző területekre jellemző meteorológiai adatokkal futtatom le. Másképpen fogalmazva, arra a kérdésre kerestem a választ, hogy Magyarországon alkalmazható-e egy általános modell, vagy a számítási eredmények csak egy adott területre érvényesek.

A vizsgálat során az előző összehasonlítást folytatva szintén Szeged (mint az egyik legszárazabb terület) és Pécs (mint az egyik legcsapadékosabb terület) adatait hasonlítottam össze, a HELP® modell adatbázisában található meteorológiai adatok felhasználásával.

A vizsgálati eredmények

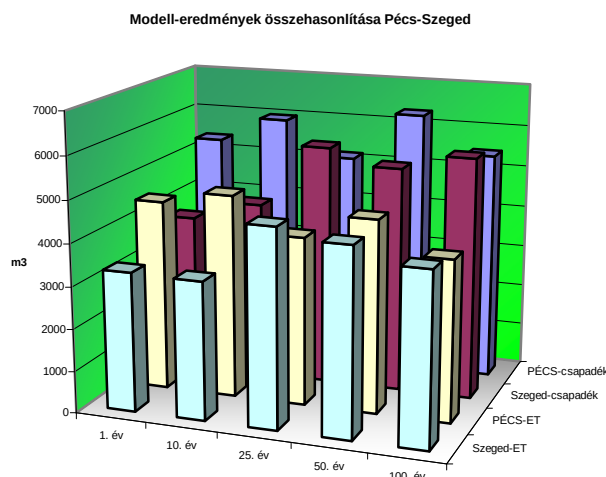
A modell számítási eredményeit a **4.6. táblázat** mutatja be.

4.6. táblázat

A modell számítási eredményei							
	évek	1. év	10. év	25. év	50. év	100. év	teljes (akkumulált)
Pécs	Eső	5359	5969	5132	6304	5437	604940
	Elfolyás	0	92	38	0	547	17976
	ET	4545	4842	4006	4584	3827	445830
	Elszivárgás	0	0	0	0	0	1
	Átfolyás agyag	833	1142	1031	1669	886	141129
	Átfolyás hulladék	829	1142	1032	1670	864	141129
Szeged	Eső	3746	4220	5729	5367	5729	484590
	Elfolyás	0	222	79	0	832	8695
	ET	3310	3280	4688	4439	4075	389640
	Elszivárgás	0	0	0	0	0	0
	Átfolyás agyag	437	1094	467	1350	843	86101
	Átfolyás hulladék	438	1093	463	1348	842	86102

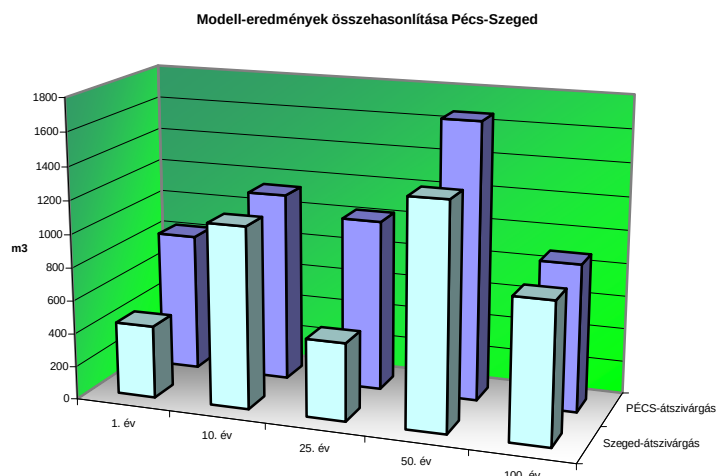
(az adatok m³-ben megadva)

A táblázatból jól látszik, hogy a modell eredményei a két térség között igen jelentős eltérést mutatnak, amelyet jól szemléltetnek a **4.7-4.8. ábrák**.



4.7. ábra

A modellezett csapadék és evapotranszpiráció értékek összehasonlítása



4.8. ábra

A modellezett agyagrétegen történő átszivárgás értékek összehasonlítása

A táblázatból és az ábrákból jól látszik, hogy az egyes területek között az eltérések jelentősek. Az egyes eltérések azt mutatják, hogy az értékek nem lineárisan változnak (az évi csapadék növekedésének mértékével nem egyenes arányban növekednek/csökkennek a modellszámítási eredmények).

Ugyanazt a modellezett állapotot (azonos rétegrend) feltételezve a lehullott csapadék mennyiségében 100 év alatt mintegy 120.350 m^3 különbség mutatkozott, amely éves szinten $1203,50 \text{ m}^3$ 1 ha területre vonatkoztatva. Ennek megfelelően az átszivárgott csapadék mennyisége is jelentős különbséget mutat, a csapadékosabb területen 100 év alatt 141.129 m^3 csapadék jut át az agyagszigetelésen, míg a csapadékosabb területen 86.101 m^3 , ennek alapján a különbség átlagosan évi $550,3 \text{ m}^3$, amely érték igen jelentősnek mondható.

Összefoglalva megállapítható, hogy egy adott terület vizsgálata során nem lehet az egész ország területére általánosan használt értékekkel elvégezni a modellszámításokat, hanem mindig egy adott területre specifikusan kell a modell kiindulási paramétereit meghatározni, és a HELP adatbázisban[®] szereplő előre beépített adatokat célszerű korrigálni.

Abban az esetben, ha például több alternatív, számításba jövő szigetelési rétegrend hatékonyságát szeretnénk egy adott területtől függetlenül megvizsgálni, összehasonlítani, az átlagos kiindulási paraméterek használhatóak, de a kapott modell számítási eredményei több különböző rétegrend egymással szembeni hatékonyságát, előnyét/hátrányát mutatják, de egy konkrét területen való alkalmazhatóságát csak a területre jellemző paraméterek megadásával lehet bizonyítani.

4.5. Különböző zárószigetelési rétegrendek vízháztartásának vizsgálata

Az előző fejezetben bemutattam, hogy a Visual HELP[®] szoftver használható a hulladéklerakók rekultivációjának tervezése során. Bemutattam, hogy a jogszabály által előírt egyenértékűség hogyan számítható. A Visual HELP[®] programmal egyes alternatív zárószigetelő rendszerek vízháztartási vizsgálatát végeztem el, amely során azt vizsgáltam, hogy az egyes lezárási módok hogyan befolyásolják hosszabb távon egy hulladéklerakó vízháztartását.

A modellezés során a hazánkban a későbbiekben várhatóan a leginkább számításba jövő alternatív zárószigetelő rendszereket vettem figyelembe, amelyek véleményem szerint a következők lesznek:

- agyagszigetelés;
- bentonitszőnyeg alkalmazása;
- HDPE fólia alkalmazása.

A zárószigetelő rétegrend egyéb rétegeit a vizsgálatok során egységesen szerepeltettem, mivel elsősorban arra a kérdésre kerestem a választ, hogy modellezhető-e a különbség az egyes zárószigetelési rendek között, illetve ha igen, akkor mekkora különbséget jelent a rekultivált hulladéklerakó vízháztartásában az egyes anyagok alkalmazása.

A vizsgálatot az előzőekben említett három zárószigetelő anyagon belül további részekre bontottam, amely során a következőket vizsgáltam:

- csak a zárószigetelő réteg vizsgálata, a zárószigetelő hatékonysága;
- egy modellezett 10 m vastagságú hulladéklerakó vizsgálata, amelynél:
 - = A eset: nincs épített aljzatszigetelés;
 - = B eset: a jogszabályi előírásoknak megfelelően megépített aljzatszigeteléssel rendelkezik.

Az aljzatszigetelés kérdésének vizsgálata azért fontos, mert hazánkban a rekultiválandó hulladéklerakók jelentős része nem rendelkezik aljzatszigeteléssel (Royal-Haskönig-Canor, in SZABÓ A. – SZABÓ I., 2006.). Az aljzatszigetelés hiánya nagyobb környezeti kockázatot jelent a földtani környezetre, mert az a későbbiekben nem pótolható.

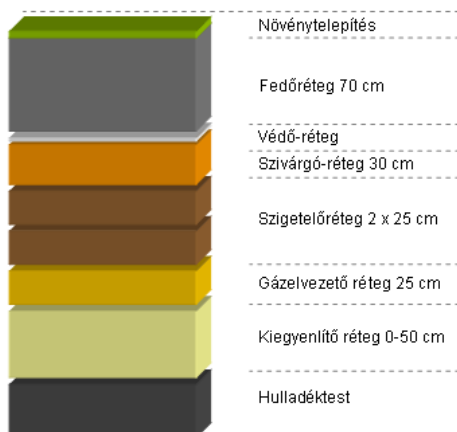
A vizsgálat során modelleket készítettem, amely során az egyes rétegekre vonatkozó általános paramétereket használtam. Tekintettel arra, hogy a vizsgálatom nem egy konkrét hulladéklerakóra vonatkozott, ezért a modellezés során a szoftver meteorológiai adatbázisában található adatokat használtam fel. Geomembránok esetén a szoftver lehetőséget ad a geomembrán fektetésével kapcsolatos paraméterek beállítására (rossz-közepes-kiváló), véleményem szerint és a gyakorlati tapasztalataim azt mutatják, hogy a geomembrán fektetését, megfelelő minőségellenőrzés mellett csak jó-kiváló minőségben lehet elvégezni, mivel a fektetés során minden egyes varratot egyesével kell ellenőrizni. Az ellenőrzés módja

lehet az ultrahangos varratellenőrzés, illetve kettős varratok esetében a nyomáspróbával végzett ellenőrzés (SZABÓ A., 2000.). A hegesztéseket hegesztési jegyzőkönyvvel kell tanúsítani, amely során fel kell tüntetni a hegesztés módját, az elvégzett vizsgálatokat, a hegesztés körülményeit. Az egyes hegesztési varratokat egyedi azonosítóval kell ellátni, amelyet a helyszínrajzon be kell jelölni (SZABÓ A – SZABÓ I., 2008.) Amennyiben a szigetelés nem megfelelő, a hibát ki kell javítani. Ebből kifolyólag úgy gondolom, hogy a hegesztés minősége nem értékelhető (hiszen hibás varrat nem adható át), rossz fektetést, hegesztést a folyamatos minőségellenőrzés miatt nem lehet átadni. Más kérdés, hogy a geomembránokon lévő hibák 90 %-a a kivitelezés során történik, de ezek a hibák elsősorban a geomembránra történő ráépítés során keletkeznek (nem megfelelő védelem, szakszerűtlen építés). Ezen sérülések modellezésére lehetőséget biztosít a Visual HELP[®] szoftver, amellyel a vizsgálataim során éltem, átlagosan 2 sérülést/hibát feltételezve 1 ha felületre vonatkoztatva. A bentonitszőnyegek alkalmazásának vizsgálatát úgy oldottam meg, hogy a felhasznált bentonitszőnyeg réteget egy 1,5 cm vastagságú, megfelelő szivárgási tényezővel rendelkező agyagréteggént vettem figyelembe.

4.5.1. Az elvégzett modellvizsgálatok

A zárószigetelések hatékonyságának vizsgálata

A zárószigetelések hatékonyságának vizsgálatához a **4.9. ábrán** bemutatott modelleket építettem fel.

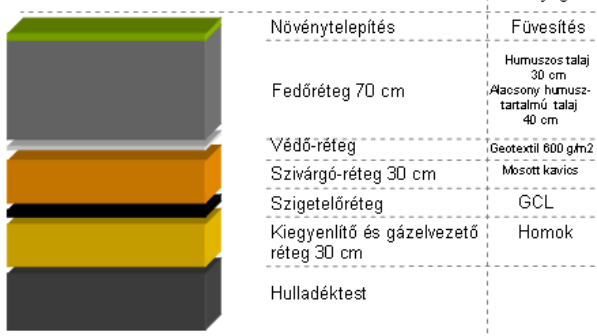


„A” eset

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által javasolt rétegrend, a szigetelőréteg természetes településű agyagréteg

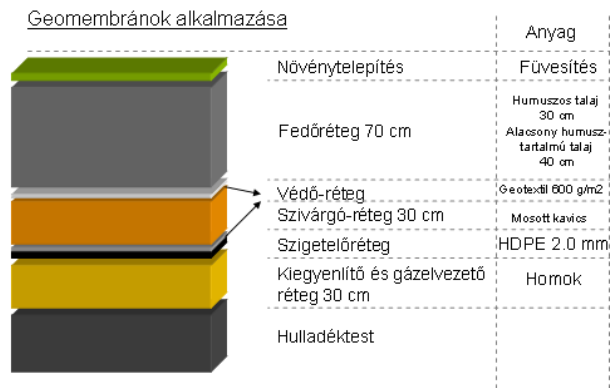
A modellezés során a kiegyenlítő-gázelveztő réteget 30 cm vastagságúnak vettem.

Bentonitszőnyeg alkalmazása



„B” eset

Az agyagréteg helyett bentonitszőnyeget modelleztem, a többi paramétert változtatlanul hagytam.

**„C” eset**

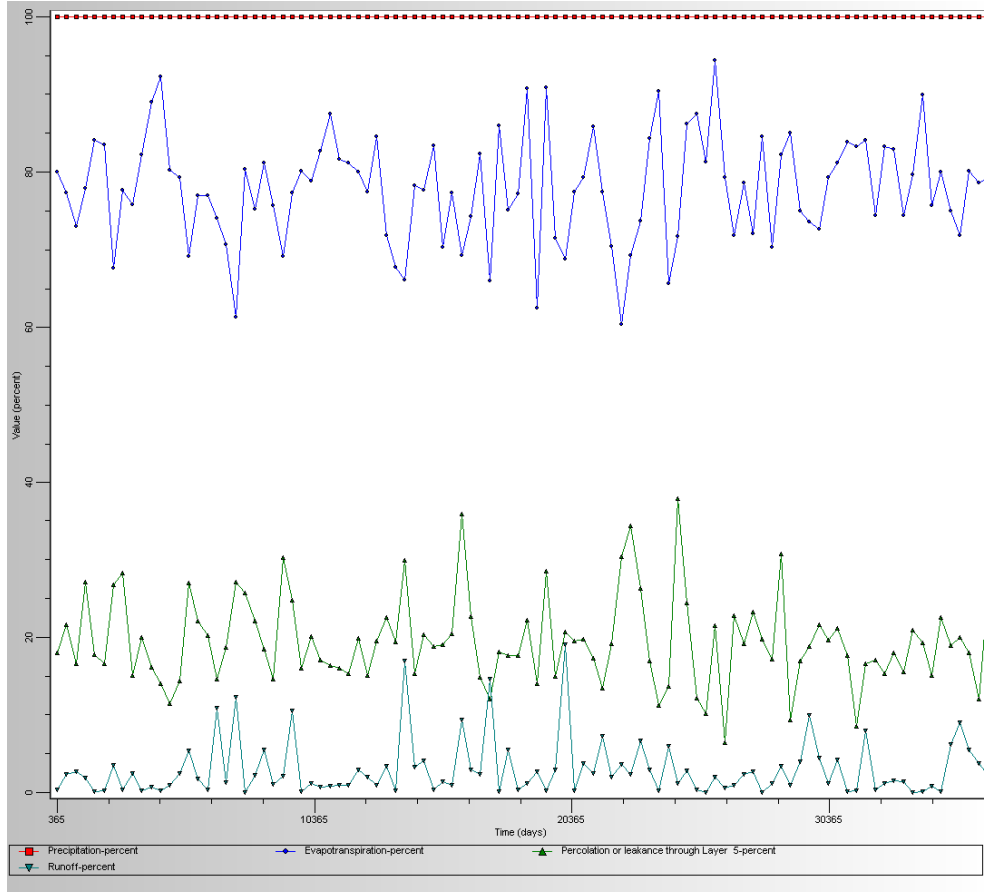
Szigetelőréteggént HDPE fóliát alkalmaztam, a fólián geotextil védőréteg található elsősorban a fólia sérülésének megakadályozására, a többi paraméteret változtatlanul hagytam.

4.9. ábra

Zárószigetelések hatékonyságának vizsgálatához felépített modellek

4.5.2. A modellvizsgálatok eredményei**4.5.2.1. Az „A” eset: a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által javasolt rétegrend**

A modellvizsgálat eredményeit a **4.10. ábra** foglalja össze.

**4.10. ábra**

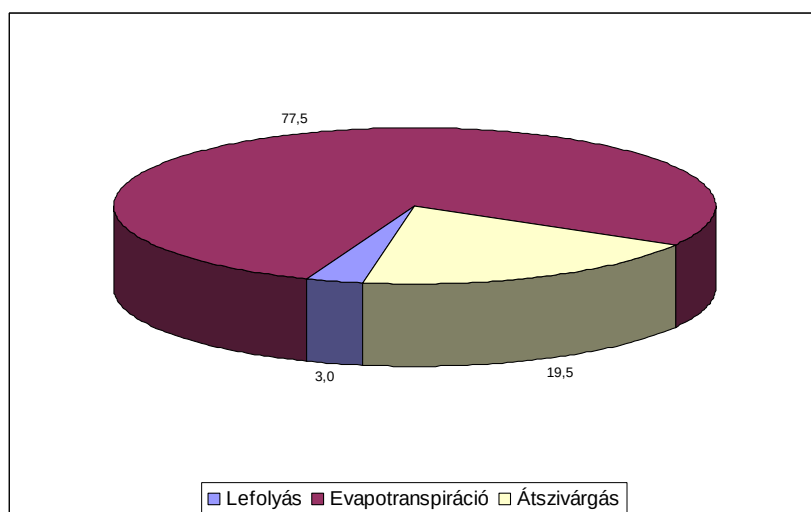
A rekultivációs rétegrend vízháztartási modellvizsgálata a lehullott csapadék százalékában kifejezve az „A” esetben

(JELMAGYARÁZAT: Piros vonal: csapadék, Kék vonal: evapotranszpiráció, Zöld vonal, felfelé mutató háromszög: átszivárgás a kiegyenlítő rétegen, Zöld vonal, lefelé mutató háromszög: felszíni lefolyás)

A modellvizsgálat eredményeit 100 év átlagára és 1 ha területű hulladéklerakóra vonatkozóan a **4.7. táblázat** mutatja be, illetve a **4.11. ábra** szemlélteti.

4.7. táblázat

A modellvizsgálat eredményei „A” esetben		
„A” eset	Mennyiség [m³]	A lehullott csapadék százalékában kifejezve
Csapadék	5405	100 %
Felszíni lefolyás	163	3 %
Evapotranszspiráció	4192	77,5 %
Átszivárgás a szigetelőrétegen	1053	19,5 %

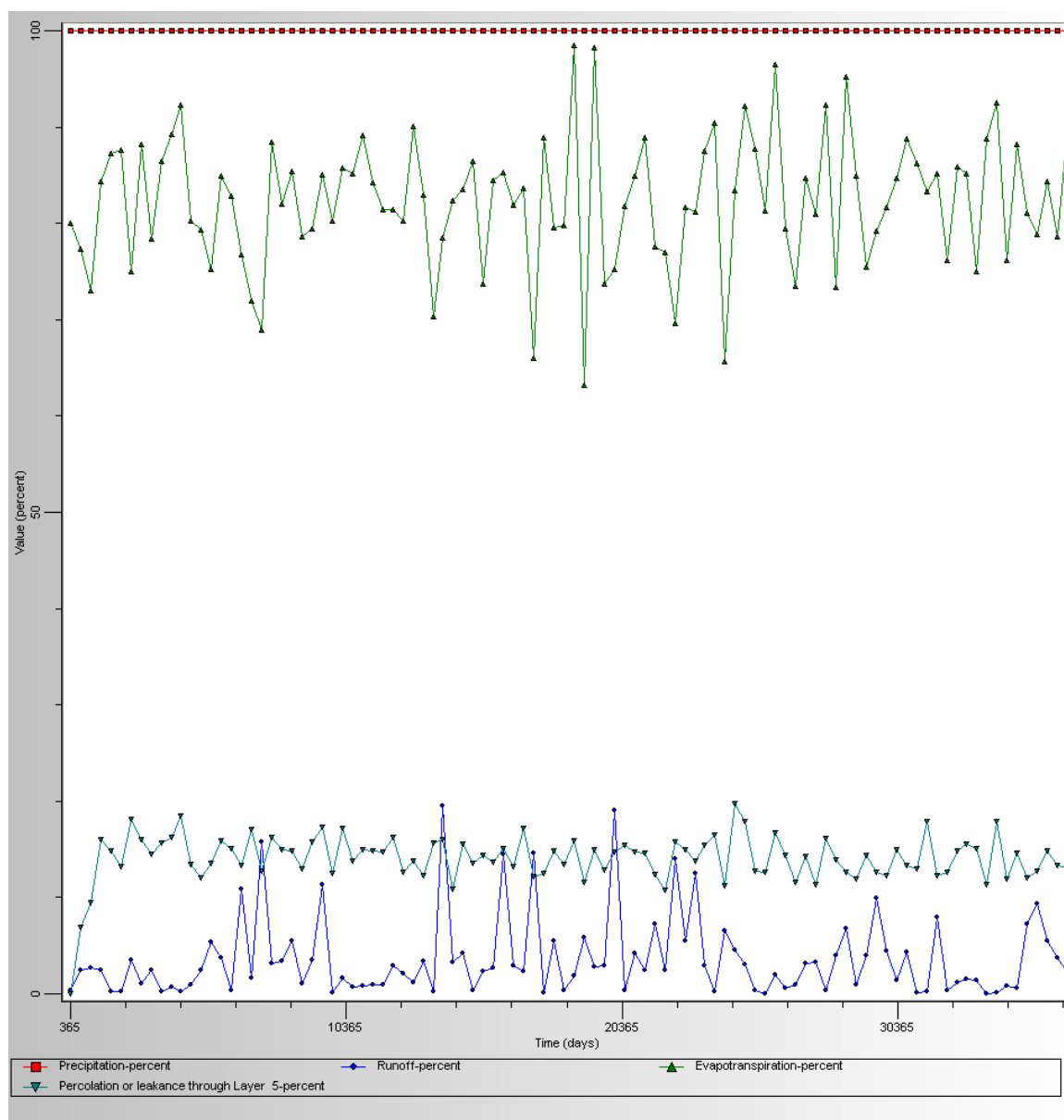


4.11. ábra
A modellvizsgálat eredményei az „A” esetben

Az eredmények alapján megállapítható, hogy átlagosan 15-35 %-a lehullott csapadéknak átjut a szigetelő rétegen, a lehulló csapadék jelentős része evapotranszspiráció formájában távozik a rendszerből.

4.5.2.2. A „B” eset: bentonitszőnyeg alkalmazása

A modellvizsgálat eredményeit a **4.12. ábra** foglalja össze.



4.12. ábra

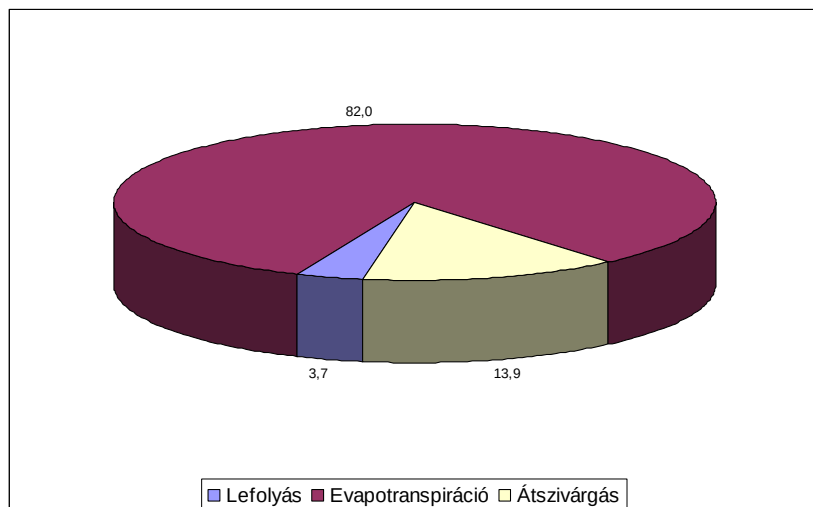
A rekultivációs rétegrend vízháztartási modellvizsgálata a lehullott csapadék százalékában kifejezve a „B” esetben

(JELMAGYARÁZAT: Piros vonal: csapadék, Kék vonal: felszíni lefolyás, Zöld vonal, felfelé mutató háromszög: evapotranszpiráció, Zöld vonal, lefelé mutató háromszög: átszivárgás a kiegyenlítő rétegen)

A modellvizsgálat eredményeit 100 év átlagára és 1 ha területű hulladéklerakóra vonatkozóan a 4.8. táblázat mutatja be, illetve a 4.13. ábra szemlélteti.

4.8. táblázat

A modellvizsgálat eredményei a „B” esetben		
„B” eset	Mennyiség [m³]	A lehullott csapadék százalékában kifejezve
Csapadék	5405	100 %
Felszíni lefolyás	199,69	3,7 %
Evapotranszspiráció	4434,4	82 %
Átszivárgás a szigetelőrétegen	749,92	13,9 %



4.13. ábra
A modellvizsgálat eredményei a „B” esetben

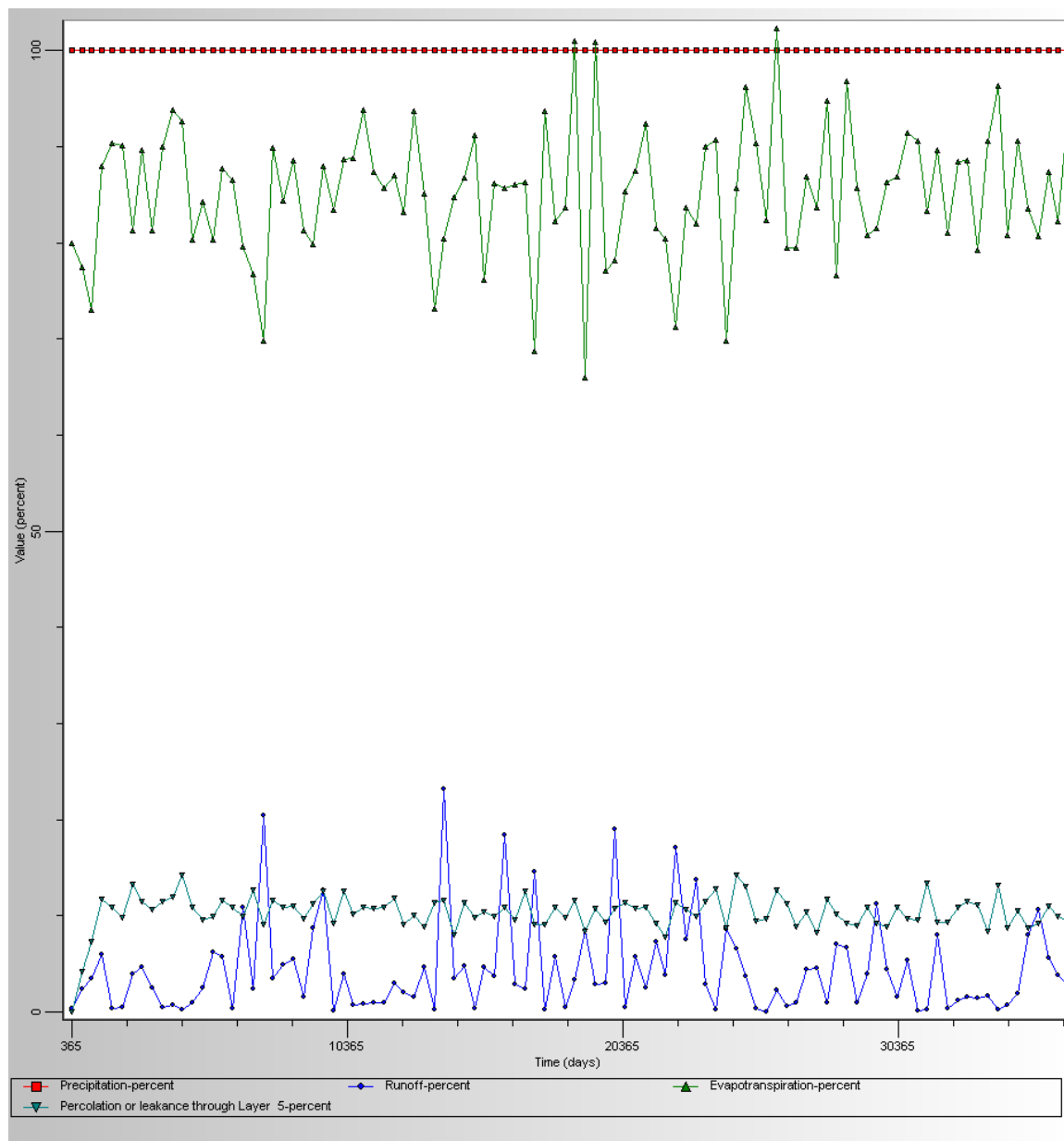
A modellezett eredmények összhangban vannak a gyakorlati tapasztalatokkal, amely szerint a bentonitszőnyegek hatékonyan alkalmazhatók a zárószigeteléseknél. A vizsgálati eredmények kisebb mértékű átszivárgást mutattak, mint agyagrétegek esetében.

4.5.2.3. A „C” eset: HDPE geomembrán alkalmazása

A vizsgálathoz a HDPE geomembrán kiváló minőségű fektetését és 2 darab/ha gyártás során keletkezett 1 mm-es hibát, illetve a kivitelezés során 2 darab/ha 1-1 cm² nagyságú sérülést feltételeztünk. (Amennyiben nem feltételeztünk sérülést, hibát a HDPE szigetelőlemezen, abban az esetben a modell nem prognosztizál átszivárgást).

A modellvizsgálat eredményeit a **4.14. ábra** foglalja össze.

A modellvizsgálat eredményeit 100 év átlagára és 1 ha területű hulladéklerakóra vonatkozóan a **4.9. táblázat** mutatja be, illetve a **4.15. ábra** szemlélteti.



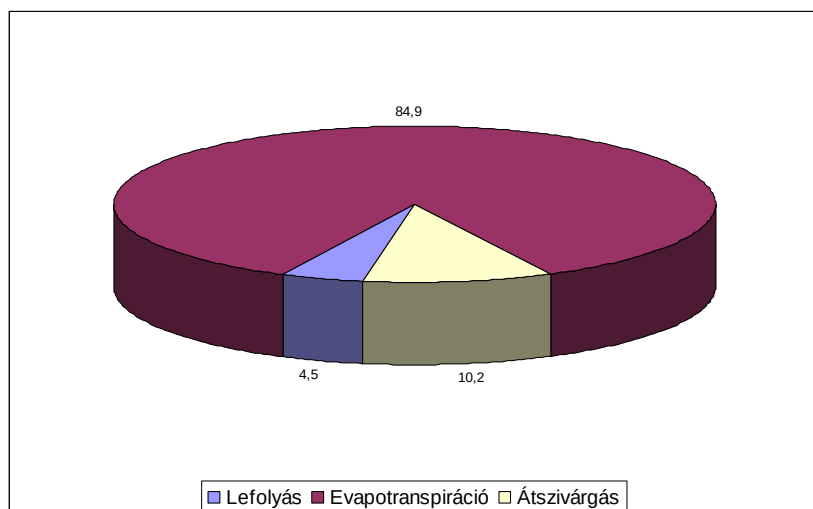
4.14. ábra

A rekultivációs rétegrend vízháztartási modellvizsgálata a lehullott csapadék százalékában kifejezve a „C” esetben

(JELMAGYARÁZAT: Piros vonal: csapadék, Kék vonal: felszíni lefolyás, Zöld vonal, felfelé mutató háromszög: evapotranszspiráció, Zöld vonal, lefelé mutató háromszög: átszivárgás a kiegyenlítő rétegen)

4.9. táblázat

A modellvizsgálat eredményei a „C” esetben		
„C” eset	Mennyiség [m ³]	A lehullott csapadék százalékában kifejezve
Csapadék	5405	100 %
Felszíni lefolyás	241	4,5 %
Evapotranszspiráció	4591	84,9 %
Átszivárgás a szigetelőrétegen	551	10,2 %



4.15. ábra
A modellvizsgálat eredményei a „C” esetben

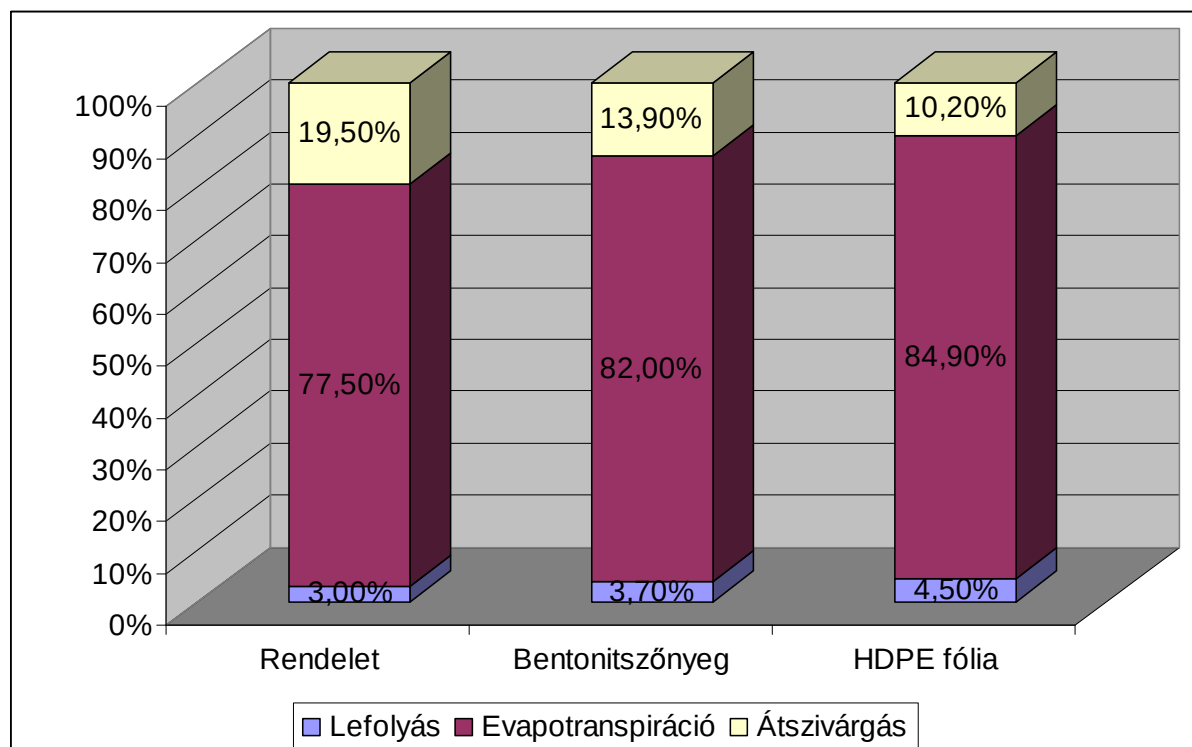
A vizsgálati eredmények alapján jól látható, hogy a leghatékonyabb védelmet a HDPE fólia nyújtja. Ez abban az esetben igaz, ha a fólia kivitelezése során nem történtek olyan hibák, sérülések, amelyek a fólia vízzáróságát jelentős mértékben csökkentik.

4.5.2.4. A vizsgálati eredmények összefoglalása

A vizsgálati eredményeket a **4.10. táblázatban** és a **4.16. ábrán** foglaltam össze.

4.10. táblázat

<i>A vizsgálati eredmények összefoglalása</i>			
	A lehullott csapadék százalékában kifejezve		
	„A” eset	„B” eset	„C” eset
Csapadék	100 %	100 %	100 %
Felszíni lefolyás	3 %	3,7 %	4,5 %
Evapotranszspiráció	77,5 %	82 %	84,9 %
Átszivárgás a szigetelőrétegen	19,5 %	13,9 %	10,2 %



4.16. ábrán
A vizsgálati eredmények összefoglalása

A modellvizsgálat alapján megállapítható, hogy az általánosan alkalmazott alternatív zárószigetelő anyagok hatékonyan alkalmazhatók hulladéklerakók zárószigetelésének rekultivációja során. A vizsgált alternatív anyagok használatával készített modellek eredményei azt bizonyítják, hogy a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által megkívánt szigetelő-képességgel rendelkeznek, azok teljes mértékben egyenértékűek az agyagréteggel. A vizsgálatok egyben azt is bizonyítják, hogy az általános nézettel ellentétben, nem létezik olyan szigetelőréteg, amely hosszú távon a beszivárgó csapadékkal szemben tökéletes szigetelést biztosít. A vizsgált adatok jól szemléltetik az evapotranszspiráció fontosságát. A lehulló csapadék jelentős része távozik evapotranszspiráció útján, ezért a zárószigetelés során felhasznált humuszréteg (mint az evapotranszspirációban döntő szerepet játszó növényzet táptalaja) minősége, és a megfelelően kiválasztott növényzet szerepe döntő fontosságú.

4.6. Evapotranszspirációs rekultivációs rétegrend alkalmazása

Az előzőekben bemutatam a különböző szigetelőréteggel rendelkező alternatív zárószigetelő rendszerek alkalmazhatóságának vizsgálatát. A hulladéklerakók rekultivációjának egyik alternatív lehetősége az evapotranszspirációs rétegrenddel történő lezárás, amit korábbiakban részletesen bemutatam. Fontosságára és gazdaságosságára való tekintettel az előző fejezetben vizsgált alternatív megoldásoktól elkülönítetten mutatom be a vizsgálataim eredményeit.

Az evapotranszspirációs lezárást elsősorban azokon a lerakókon célszerű alkalmazni, ahol a lerakó kockázata, a lerakó hatásai, az elhelyezett hulladék paraméterei ismertek. A lezárás ezen módja – tényleges szigetelőréteg hiányában – több kockázatot rejt magában, azonban azokban az esetekben, ahol a „hagyományos” rétegrenddel történő lezárás irreálisan nagy gazdasági terhet jelent anyagilag, célszerűnek tartom megfontolni az evapotranszspirációs

lezárás lehetőségét. Fontos azonban megjegyezni, hogy az ilyen módon történő rekultiváció nagy tapasztalatot és nagyon pontos tervezést igényel.

Hazánkban különösen fontos kérdés az erőművek környezetében található pernyetározók lezárásának a kérdése. Ezek a depóniák a legtöbb esetben igen nagy területen helyezkednek el, a rekultiválandó felület nagysága általában több 10 hektár, de esetenként eléri, sőt meghaladja a 100 hektárt is. A pernyetározókban általános esetben ismert összetételű pernyét tároznak, melyet hígzagylási, majd sűrűzagylási technológiával juttattak ki a tározó területére. A deponált pernye tulajdonságai ismertek, számos vizsgálat készült, illetve készül ezzel kapcsolatban. Fontos megemlíteni, hogy a pernye környezeti kockázata ismert, jól feltárt. Ha a környezeti kockázatok ismeretességének bizonytalanságát vizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy a pernyetározók „művelése” a legtöbb esetben szabályozott módon, általában hasonló tulajdonságú pernyék deponálásával történt. Ez kommunális (nem veszélyes) hulladéklerakók során nem mondható el, hiszen a legtöbb ilyen depónia nem célzottan létesült, a beszállított hulladékok fajtája, minősége, összetétele általában nem ismert. A környezeti kockázatok értékelésénél ezeket a bizonytalanságokat figyelembe kell venni.

A pernyetározók rekultivációjának evapotranszspirációs módon történő lezárásának, mint egy lehetőségnek a vizsgálatát esettanulmányon keresztül mutatom be.

4.6.1. Az AES Energetikai Kft. Dél-Borsodi hőerőmű zagyterének vízháztartási modellvizsgálata

A vizsgált zagyártoló felszíne a lezáráskor **több mint 100 ha** nagyságú lesz, a rendelet szerinti zárószigetelő rendszer a tulajdonosra aránytalanul nagy terhet jelentene (becsült költség, 5.500 Ft/m² költséggel számolva 100 ha-ra: 5,5 Mrd Ft). Megvizsgáltam, hogy megoldható-e a végleges zárószigetelő rendszer kialakítása egy egyszerűbb, olcsóbb, de a rendelet előírásainak eleget tevő, környezetvédelmi szempontból megengedhető rétegrenddel.

A megoldást a lezárt depónia vízháztartásának a vizsgálatával végeztem, meghatározva, hogy a javasolt alternatív megoldás esetében mekkora lesz a depónia aljára lejutó csurgalékvíz-mennyiség.

A vízháztartás vizsgálathoz meg kellett határozni a pernyére vonatkozó paramétereket, melyek (többek között) a pernye szivárgási tényezőjére, illetve a pernye vízfelvevőképességére vonatkoztak.

A vizsgálatok azt mutatták, hogy a pernye jellemző szivárgási tényező értéke 10^{-7} - 10^{-8} m/s (TerraMED Kft., 2008.). Korábban más zagyártározó anyagán végzett szivárgási tényező vizsgálatok is hasonló eredményt mutattak (SZABÓ A. – SZABÓ I., 2007./a).

A vizsgált modellek során a pernye szivárgási tényezőjét több értékkel adtam meg és a modelleket ezekkel a szivárgási tényező értékekkel külön-külön lefuttattam, annak a vizsgálat céljából, hogy a pernye szivárgási tényezőjének a változása milyen mértékben befolyásolja a modellszámítások eredményét, azaz a pernyén átjutó csurgalékvíz mennyiségét. A helyszíni bejárások tapasztalatai azt mutatták, hogy jelentősebb esőzés során a pernyetározó felszínén a víz megreked, nem szivárog be azonnal a deponált pernyébe. Az elvégzett geofizikai vizsgálatok azt mutatták, hogy a deponált pernye végig többfázisú (víz-levegő-gáz) (TerraMED Kft., 2008.).

A vizsgálati eredményeket összegezve az alábbi következtetésekre jutottam:

- A pernye jellemző szivárgási tényező értéke a kötött talajok vízzáróságát mutatja, holott a pernye nem kötött állapotú.
- A vízfelvevő-képesség vizsgálatok értéke jellemzően magas, amely érték kötött talajokra, elsősorban agyagokra jellemző.

Agyagrétegek szigetelő-képesség vizsgálata során a 60 %-nál nagyobb vízfelvevő-képesség érték igen kedvező (SZABÓ A – SZABÓ I, 2007./b), így a pernye nagy mennyiségű vizet (csapadékot) képes felvenni, és kapilláris szívással megtartani.

A kedvező szivárgási tényező értékek és a vízfelvevő-képesség vizsgálatok alátámasztják azt a feltételezést, hogy a lehulló csapadéknak csak egy kisebb része juthat át a deponált pernyén.

4.6.1.1. Az evapotranszspiráció és a terület növényzettel való borítottságának vizsgálata

Tekintettel arra, hogy a vizsgált rétegrendben kulcsszerepet játszik a növényzettel való borítottság, illetve annak minősége, ezért külön megvizsgáltam a növényzet borítottságának és az evapotranszspirációnak a kapcsolatát a Visual HELP[®] modell segítségével.

A növényzet hatását a rekultivációra 14 különbözőképpen felépített modellel vizsgáltam. A modellek felépítését a **4.11. táblázat** mutatja be.

4.11. táblázat

<i>A növényzet borítottságának és az evapotranszspiráció</i>			
Vizsgált eset	Növényi borítottság (aktív evaporációra képes növényzet területe/névleges terület)	Evaporációs zóna mélység (cm)	Magyarázat
M1	0	10	Nincs növényzet, de a talajból történhet párolgás
M2	1	10	Gyenge növényi borítottság, gyökérmélység max. 10 cm
M3	2	10	Kielégítő növényi borítottság
M4	3,5	10	Jól fedett terület
M5	5	10	Kiváló növényi borítottság
Miskolc E1	5	20	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E2	5	30	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E3	5	40	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E4	5	51	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E5	5	61	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E6	5	71	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E7	5	81	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E8	5	91	Kiterjedtebb evaporáció
Miskolc E9	5	102	Kiterjedtebb evaporáció

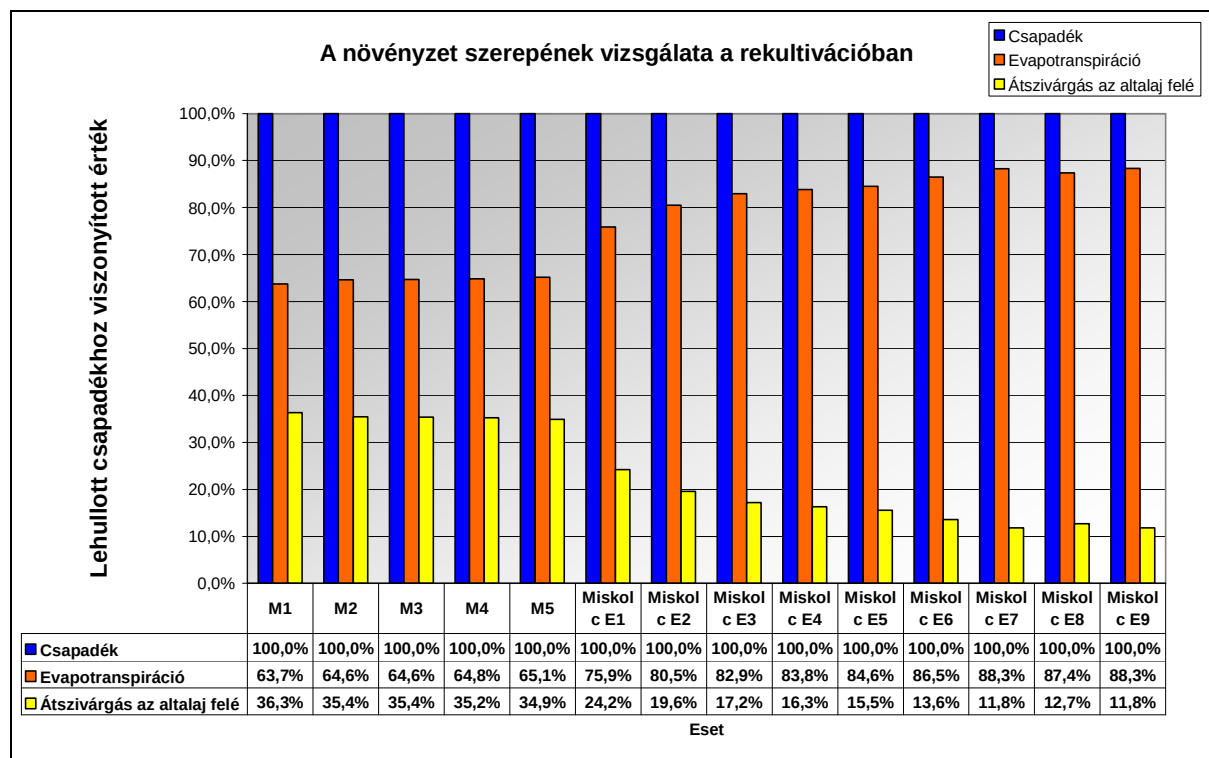
Mint az a táblázatból jól látható, a vizsgált eseteket alapvetően két részre bonthatjuk:

- I: M1-M5 modellek: a növényzet borítottságának vizsgálata;
- II: Az evapotranszspirációs zóna mélységének vizsgálata (az evapotranszspirációs zóna: az a mélység ameddig a talajból a beszivárgott víz evapotranszspiráció segítségével a

környezetbe (levegőbe) juthat. Az értéke lényegében a gyökérzóna mélységével egyezik meg.

A növényi borítottság vizsgálatához egy végleges lezárási rétegrendből indultam ki, azzal a változtatással, hogy szigetelő- és drénréteget nem alkalmaztam, csak a felső 1,2 méteres réteget biztosítottuk. (A többi réteg a vizsgálat szempontjából inaktív)

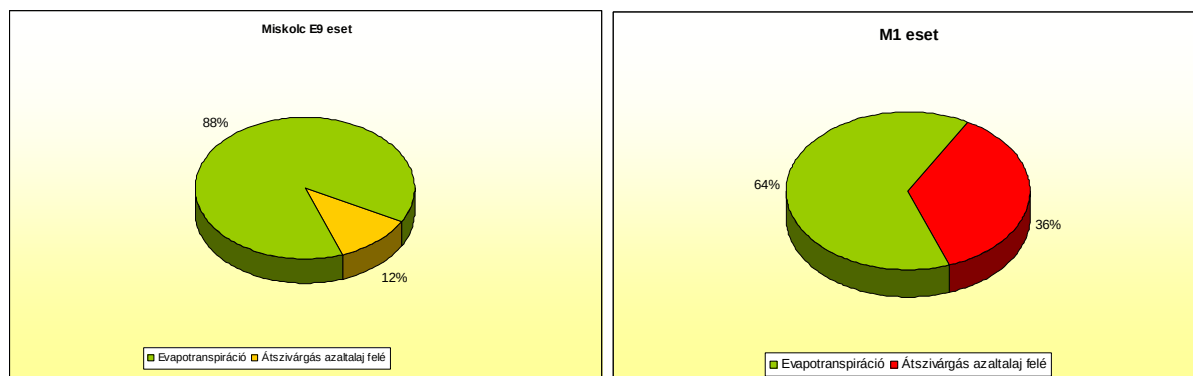
A modellnek ebben a részében 0 %-os lefolyással számoltam, hogy egyedül a növényzetet figyelhessem az átszivárgás vizsgálatakor. A kapott adatok 100 év átlagát jelölik, 1 hektárra vonatkoztatva. A területre hullott csapadékot 100 %-nak véve az alábbi értékeket kaptam (4.17. ábra).



4.17. ábra

A növényzet szerepének vizsgálata a rekultivációban

A 4.18. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a növényzet a rekultiváció tervezésekor kiemelten fontos szerepet kap. A legrosszabb (M1) eset és a legkedvezőbb (Miskolc E9) eset között az altalaj felé történő szivárgásban a különbség több mint 25 %. Az eredményeket másként értelmezve megállapíthatjuk, hogy a legkedvezőtlenebb eset során a lehulló csapadék 36,3 % szivárog be az altalajba, míg a leginkább kedvező esetben ez az érték csupán 11,8 % (lásd a 4.18 ábrán).



4.18. ábra

A legrosszabb és legkedvezőbb eset összehasonlítása

4.6.1.2. A vizsgálat során használt időjárás adatok

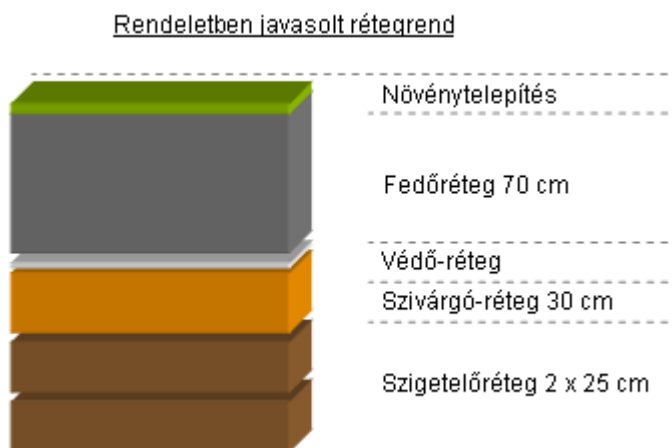
A modellek készítése során a HELP[®] modell adatbázisában szereplő miskolci adatbázist használtam fel, azonban az adatbázison csekély mértékű módosítást végeztem.

4.6.1.3. A vizsgálat során modellezett lezárási rétegrendek

A modellvizsgálatokat 4 különböző alapesetre végeztük el, melyek az alábbiak voltak:

I. eset

A 20/2006. KvVM (IV.5.) rendeletben javasolt lezárási rétegrend, azaz:

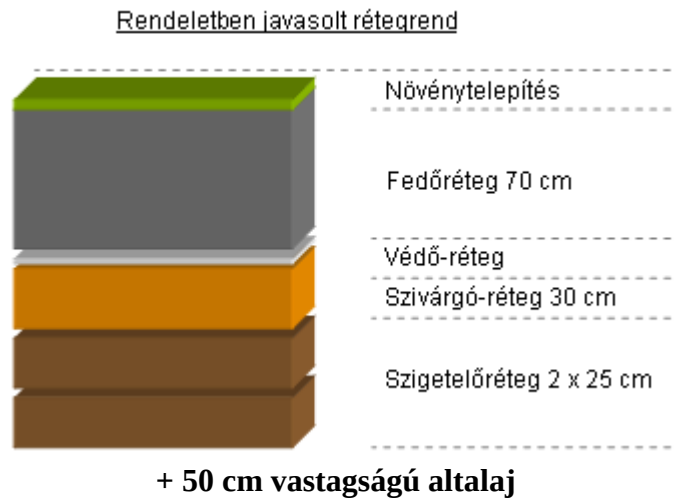


4.19. ábra

Rétegrend az I. alapesetben

II. eset

A 20/2006. (IV.5.) KvVM rendeletben javasolt lezárási rétegrend és 50 cm vastagságú agyag altalaj figyelembe vételével (a pernyetározó alatt nem található agyagréteg), azaz:



4.20.ábra
Rétegrend a II. alapesetben

III.eset

A pernyetározó lezárása alternatív, ún. evapotranszspirációs réteg segítségével (agyag szigetelő réteg és szivárgó rétegek elhagyásával, csak 40 cm vastagságú humusz lezáró réteget feltételezve).

IV.eset

A pernyetározó lezárása alternatív, ún. evapotranszspirációs réteg segítségével (agyag szigetelő réteg és szivárgó rétegek elhagyásával, csak 40 cm vastagságú humusz lezáró réteget feltételezve és 50 cm vastagságú agyag altalaj figyelembe vételével (a pernyetározó alatt nem található agyagréteg).

Tekintettel arra, hogy a pernye szivárgási tényezője a cementáló anyagtól függően változhat, megvizsgáltam, hogy hogyan alakul a pernyén átjutó csurgalékvíz mennyisége különböző szivárgási tényezőjű pernyék esetében. Ezek a vizsgálatok egyben arra is irányultak, hogy érdemes-e esetleg a pernye vízzáróságának utólagos megváltoztatásában gondolkodni. A számításoknál alkalmazott pernye szivárgási tényező értékek a következők voltak:

A eset: $k = 1 \times 10^{-7}$ m/s

B eset: $k = 1 \times 10^{-8}$ m/s

A humuszcétegrel történő lezárás során a zárórétegnél kiváló evapotranszspirációs képességgel rendelkező vegetációt vettem figyelembe, 5 % lejtést feltételeztem. Az előzetes modellszámítások azt mutatták, hogy jó minőségű, nagy párologtató képességű vegetációval az átjutó vízmennyiség mintegy 50 %-kal csökkenthető.

4.7. A modellvizsgálat eredményeinek összefoglalása

Az elvégzett modellvizsgálat eredményeit a **4.12-4.13. táblázatok** foglalják össze.

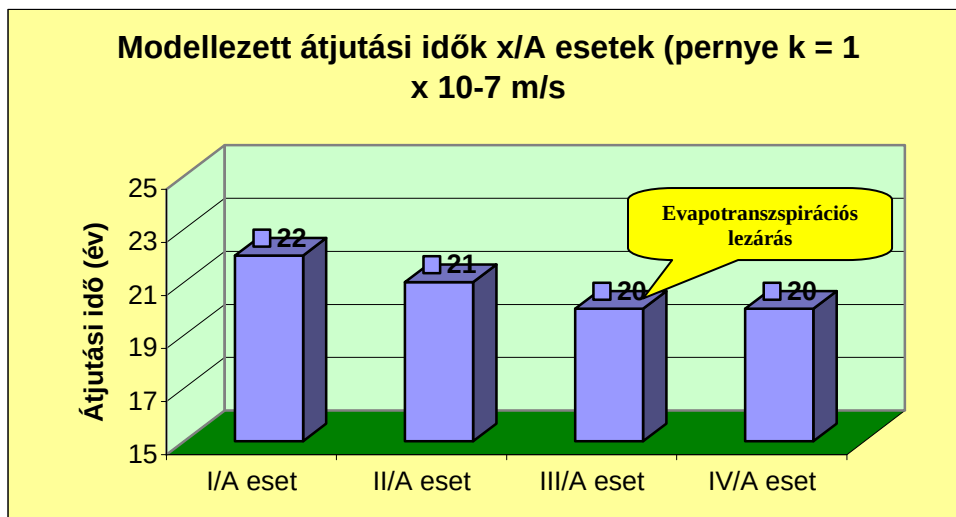
4.12. táblázat

A modellvizsgálat eredményeinek összefoglaló táblázata I.						
Vizsgált esetek	Csapadék [m ³]	Lefolyás [m ³]	Evapotranszspiráció [m ³]	Pernyébe beszivárog [m ³]	Altalajon átszivárog 100 év átlaga [m ³]	Átjutási idő (év)*
I/A eset	5405,4	55,12	4466,9	887,11	650,2	22
I/B eset	5405,4	55,12	4466,9	887,11	445,3	41
II/A eset	5405,4	55,12	4466,9	887,11	643,5	21
II/B eset	5405,4	55,12	4466,9	887,11	441,5	45
III/A eset	5405,4	44,1	4477,9		666,9	20
III/B eset	5405,4	44,1	4477,9		458,9	40
IV/A eset	5405,4	44,1	4477,9		659,1	20
IV/B eset	5405,4	44,1	4479,3		455,6	45

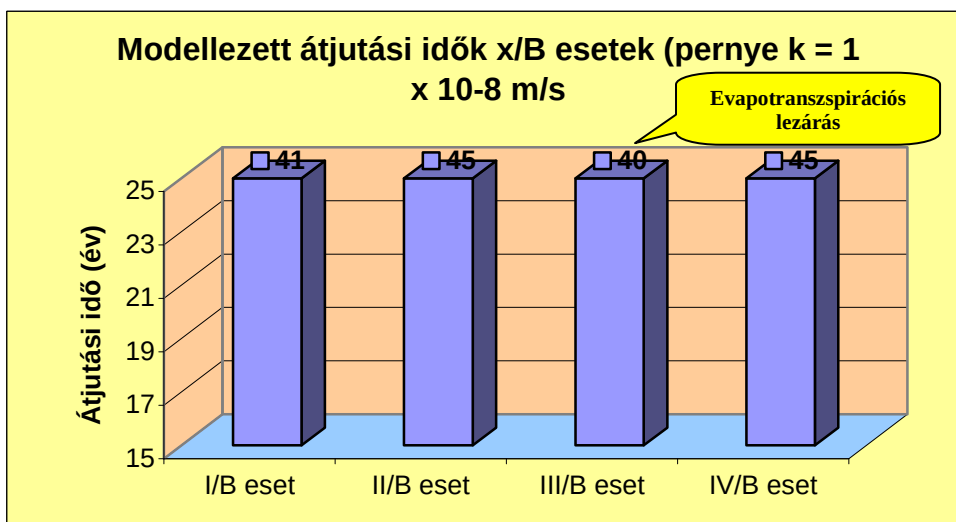
4.13. táblázat

A modellvizsgálat eredményeinek összefoglaló táblázata II.		
Vizsgált esetek	Altalajon történő átszivárgás a lehullott csapadék százalékában (100 év átlaga) (%)	Átjutási idő (év)*
I/A eset	12,03	22
I/B eset	8,24	41
II/A eset	11,90	21
II/B eset	8,17	45
III/A eset	12,34	20
III/B eset	8,49	40
IV/A eset	12,19	20
IV/B eset	8,43	45

A modellvizsgálat eredményeit szemléltetik a **4.21-4.22. ábrák**.



4.21. ábra
A modellvizsgálat eredményei I.



4.22. ábra
A modellvizsgálat eredményei I.

Az eredmények összefoglaló táblázatai alapján a következő megállapítások tehetők:

1. A modellszámítások egyértelműen jelzik azt a gyakorlati tapasztalatot, hogy a rendelet szerinti lezárás mellett is van átszivárgás a zárószigetelő rendszeren, aminek a mennyisége a lehulló csapadék 12-13 %-a. A modellszámítások értelemszerűen nem tudják figyelembe venni azt, hogy idővel ez a bejutó csapadékmennyiség a szigetelőrendszer romlásával, „öregedésével” nő, és a tapasztalatok szerint elérheti a lehulló csapadék 20-25 %-át is.
2. A vízháztartási vizsgálatok azt mutatják, hogy pernyetároló esetében az evapotranszpirációs zárószigetelés megengedhető alternatíva, mert a csapadékból bejutó vízhozamtöbblet – megfelelően választott vegetáció esetében – nem haladja meg 0,5-1,0 %-ot. Ez a differencia (vízhozamtöbblet) sokkalta kisebb, mint amit egy hibásan kivitelezett, vagy meghibásodó szigetelőrendszerrel várhatunk.
3. A vizsgált evapotranszpirációs zárószigetelő rendszernél a csurgalékvíz átjutási ideje valamivel kisebb (10-20 %), mint amit a rendelet szerinti lezárás esetében várhatunk

4. A számítások azt mutatják, hogy a pernye szivárgási tényezőjének a csökkentése jelentősen csökkentheti a bejutó vízmennyiséget. Egy nagyságrendnyi k-tényező csökkenés az alapesethez képest (kb. 12 %) mintegy 30 %-os (kb. 8 %) csurgalékvíz mennyiség csökkenést okoz.
5. Az aljzatszigetelés megléte, illetve hiánya a bejutó csapadékvíz mennyiségét értelemszerűen nem befolyásolja, az átjutási időt némileg megnöveli.
6. Az evapotranszspirációs zárószigetelés alkalmazásának a humusréteg megfelelő minősége és a megfelelően – a meteorológiai adottságok figyelembe vételével – megtervezett növényzet alapvető feltétele.

4.8. Összefoglalás

A hulladéklerakók optimális lezárási rétegrendjének tervezésénél elengedhetetlen a vízháztartási vizsgálat elvégzése. A vizsgálat célja, hogy különböző zárószigetelési rétegrendek esetén meghatározzuk a számításba jövő rekultivációs rétegrendek hatékonyságát. A modellvizsgálat segítségével összehasonlíthatóvá válnak az egyes alternatív lezárási rétegrendek, ami alapján kiválasztható egy adott hulladéklerakó lezárásának leghatékonyabb rétegrendje.

A vízháztartási modellvizsgálatok elvégzésére általánosan alkalmazott a Visual HELP® szoftver. A szoftverben található adatbázis segítségével összeállítható olyan modell, amely egy vizsgált lerakót a leginkább jellemez. A beépített adatok a helyi adottságoknak megfelelően változtathatók.

A vízháztartási egyenlet legmeghatározóbb tényezői a meteorológiai adatok. A szoftverben számos térség meteorológiai adatai találhatóak. Külön vizsgáltam, hogy ezek az adatok mennyire alkalmasak a különböző helyeken történő vizsgálat elvégzésére, és arra a következtetésre jutottam, hogy általános, nem helyhez kötött vizsgálatokhoz a modell adatbázisában található adatok elegendőek. Minden lerakó rekultivációját egyedien kell megtervezni, ezért a pontosabb, korrektebb vízháztartási modellvizsgálat elvégzése céljából javasolt a meteorológiai adatokat egy adott helyszínhez, pontosítani, korrigálni.

Vízháztartási modellvizsgálatokat végeztem a leginkább elterjedt alternatív lezárási rétegrendekre, a kapott modellvizsgálati eredményeket összehasonlítottam a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendeletben előírt rétegrendre. Arra az eredményre jutottam, hogy a vizsgált alternatív megoldások alkalmazhatóak, a jogszabály előírásával teljes összhangban vannak.

Az alternatív zárószigetelések egyik speciális esete az evapotranszspirációs lezáras. Ezt a rekultiváció során olyan esetekben célszerű elvégezni, ahol a környezeti kockázatok pontosan meghatározhatók, a lerakott hulladék összetétele, a lerakó műszaki kialakítása pontosan ismert. Esettanulmányon keresztül mutattam be az evapotranszspirációs rétegrend alkalmazásának lehetőségét, amely során egy pernyetároló lezárását vizsgáltam. A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy az evapotranszspirációs rétegrend alkalmazható, azonban a tervezés során külön gondot kell fordítani a humusréteg minőségi paramétereinek, illetve a telepített növények fajtájának meghatározására.

Külön vizsgáltam az evapotranszspiráció mértékét különböző talajok, illetve különböző mértékű növényi borítottság esetén, amelynek a során arra következtetésre jutottam, hogy az evapotranszspirációt jelentős mértékben befolyásolja a telepített növényzet fajtája, állapota, illetve a növények táptalajául szolgáló talajréteg. A vízháztartási egyenletben az evapotranszspiráció a legmeghatározóbb tényező, a lehullott csapadék átlagosan 80 %-a távozik evapotranszspirációs úton a rendszerből.

IRODALOMJEGYZÉK

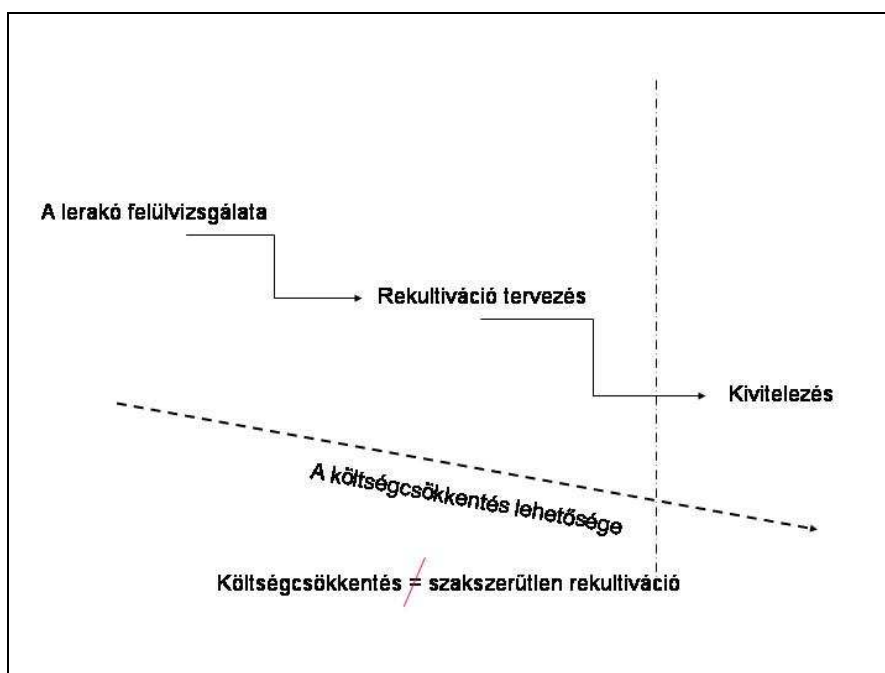
MÄRTNER – ZEUNER	2002	<i>Standortspezifisch optimierte Oberflächenabdichtung von Deponien und Altavlagerungen unter Einbeziehung der Wasserhaushaltsberechnung</i> M&S Umweltprojekt GmbH
SZABÓ A.	2000	<i>Kommunális hulladék-lerakók aljzatszigetelésének minőségbiztosítása (Diplomaterv)</i>
SZABÓ A. – SZABÓ I.	2006	<i>Hulladéklerakók lezárása és rekultivációja</i> Tervezési, műszaki segédlet
SZABÓ A. – SZABÓ I.	2007/a	<i>A ME Zrt. Özse-völgyi zagytározójának teljeskörű környezetvédelmi felülvizsgálata – felszín alatti munkarész</i> Szakvélemény
SZABÓ A. – SZABÓ I.	2007/b	<i>A nagyváradi hulladéklerakó aljzatszigeteléseként felhasználni kívánt agyagminták előzetes minősítő vizsgálatai</i> Szakvélemény
SZABÓ A. – SZABÓ I.	2008	<i>A biharkeresztesi hígtrágya tározó HDPE fólia szigetelési munkálatai</i> Hegesztési jegyzőkönyvek
TerraMED Kft.	2008	<i>AZ AES BORSODI ENERGETIKAI KFT., BORSODI HŐERŐMŰ, ÜZEMI ZAGYTÉR; A zagytér VII. kazettája további üzemeltetése és a zagytér rekultivációja</i> Engedélyezési terv

5. A hulladéklerakók rekultivációjának költségelemzése

5.1. A költségelemzés szükségessége

Az 1. fejezetben említettem az „optimális kockázat” elvét, amely a rekultivációval kapcsolatos kockázatvállalásról szól. A nagyobb biztonságot jelentő rekultivációs rétegrendek kialakítása értelemszerűen magasabb kivitelezési költséggel jár, míg egy optimalizált rendszer kialakítása minden bizonnyal költséghatékonyabb. Egy hulladéklerakó rekultivációs költségeinek, az egyes költségtényezőknek az alapos ismerete a rekultivációs tervezés szempontjából elengedhetetlen.

A hulladéklerakók rekultivációját, már elkészült kivitelezések során szerzett gyakorlati tapasztalataim alapján, úgy gondoltam, hogy célszerű megvizsgálni, hogy egy hulladéklerakó Magyarország területén való elhelyezkedése, az építési anyagok szállítási távolsága azaz az anyagnyerőhelyektől (bányákból) történő szállítás hogyan befolyásolja a rekultiváció kivitelezésének a költségét, és melyek azok a tényezők, amelyek a rekultiváció költségét alapvetően meghatározzák. Fontos vizsgálni azokat a lehetőségeket, amelyek során a rekultiváció kiviteli költségei csökkenthetők, hol vannak azok az ún. beavatkozási pontok, ahol ezek a költségek redukálhatók. Általános, de véleményem szerint téves az a nézet, bevett gyakorlat, amely szerint a kivitelezés során érhetőek el a legnagyobb megtakarítások. Valóban érhető el költségcsökkentés a kivitelezés során, azonban ez a megtakarítás valószínűleg nem a terveknek, előírásoknak megfelelő eredményt adja, hanem ez az eredmény a gyengébb minőség lesz. A hulladéklerakók kivitelezése eléggé speciális szakterület a mélyépítésnek, az ellenőrző vizsgálatok kivitelezése, vagy egyáltalán a vizsgálat megfelelése, alkalmassága számos veszélyt hordoz magában abban az értelemben, hogy az ellenőrzés lehet, hogy szigorú, azonban nem sokat ér, ha maga a vizsgálat nem megfelelő egy adott kivitelezés műszaki tartalmának az ellenőrzésére. Így a kivitelezés során elérhető egy esetlegesen nagyobb mértékű megtakarítás, azonban nagy valószínűséggel ez a megtakarítás a minőség rovására megy. Ezért tartom kiemelten fontosnak a rekultiváció előkészítő munkáját, a felülvizsgálatot, a kockázatértékelést, a rekultivációs terv elkészítését, amely során az adott kockázatra adott válasszal (rekultivációs terv) a rekultivációs rétegrend optimalizálható, s ezáltal jelentős költségek takaríthatók meg. A tervezés során adható meg a lerakó alakja, formája, illetve a lerakó végleges területfoglalása. A rekultivált lerakó tájba illesztése fontos szempont, azonban nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a lehetőséget, hogy a hulladék rendezésével, „összetolásával” egyrészt a rekultiválandó hulladéklerakó felülete jelentős mértékben csökkenthető (ezáltal a rekultiváció költsége arányosan csökken), illetve a felszabadult területek a későbbiekben más célra használhatók. Kerülni kell azt a sajnálatos módon sok esetben bevett gyakorlatot, hogy 1-1,5 méter vastagságú lerakott hulladékot, a lerakótest csekély (elégtelen) mértékű formálásával 1 méter vastagságú rekultivációs rétegrenddel zárunk le. Ilyen esetekben a legtöbb esetben a hulladék rendezésével, melynek költsége a lezáró rétegrend kialakítási költségeivel szemben elhanyagolható, jelentős költség takarítható meg. Jól szemlélteti ezt az emődi hulladéklerakó rekultivációjának példája is, amely során a hulladék összetolásával, rendezésével több 100 négyzetméter szabad területet kaptunk, ezáltal csökkent a rekultiválandó lerakó felülete is. Fontosnak tartom kihangsúlyozni, hogy az optimalizálás nem jelenti és nem jelentheti a műszaki tartalom olyan mértékű megváltozását, amely a rekultivációs rétegrendet műszakilag alkalmatlanná teszi. A költségcsökkentés mértékét szemlélteti az **5.1. ábra**.



5.1. ábra
A költségcsökkentés lehetősége a rekultiváció egyes fázisaiban
(SZABÓ A, 2008./a)

Az **5.1. ábra** alapján jól látható, hogy a költségcsökkentés lehetősége a rekultiváció kivitelezése során folyamatosan csökken. A legnagyobb költségcsökkentést a szakszerűen elvégzett felülvizsgálat és az ennek alapján történő rekultivációs tervezés során lehet elérni az „optimális kockázat” elvének betartása mellett.

5.2. A rekultivációk folyamata, a munkálatok során felmerülő költségek

A rekultiváció folyamatát minden módszer esetén három fázisra osztottam:

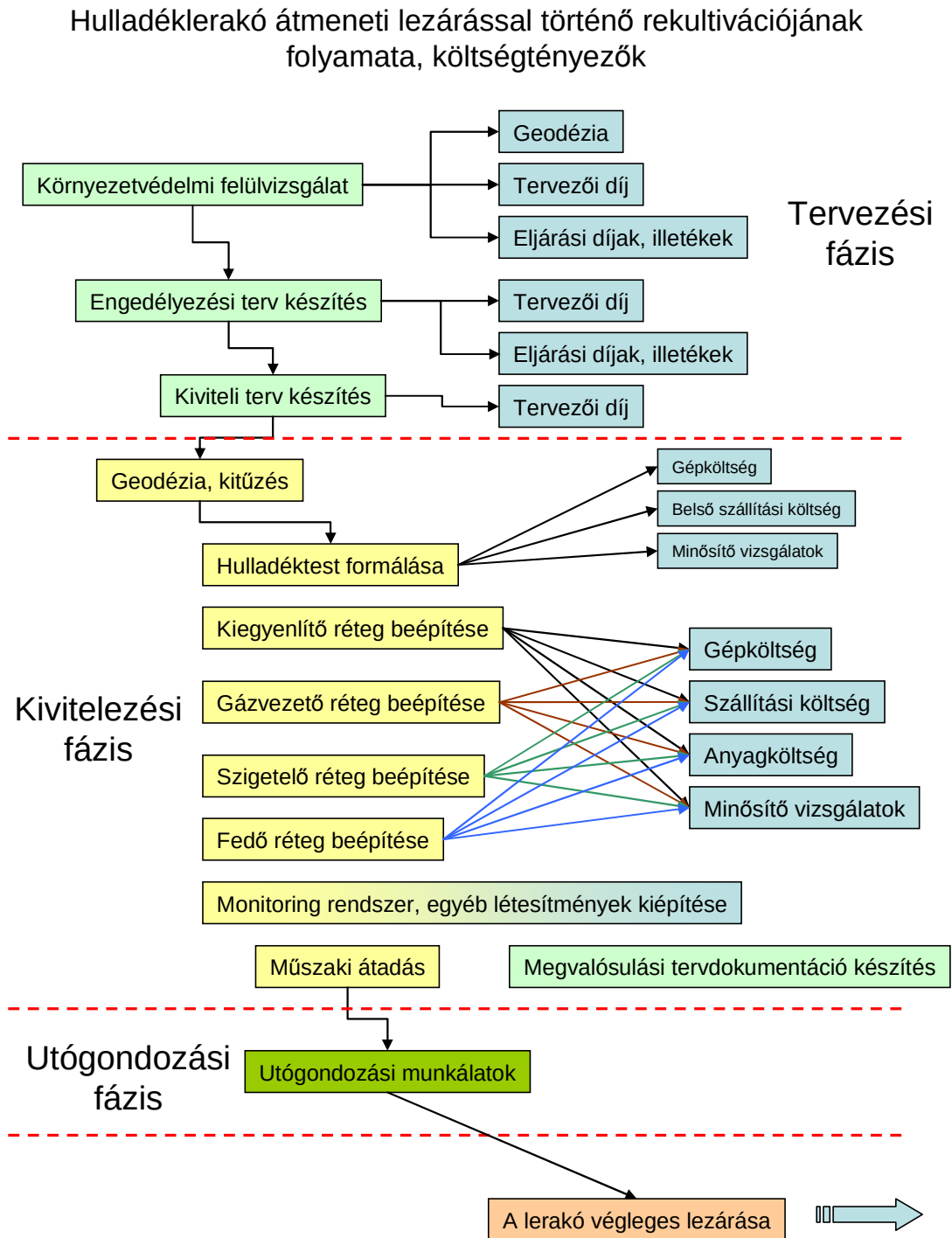
1. Tervezési fázis
2. Kivitelezési fázis
3. Utógondozási fázis

5.2.1. A felszámolással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek

A felszámolással történő rekultiváció során felmerülő költségeket a **5.2. ábra** foglalja össze.

5.2.2. Az átmeneti lezárással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek

Az átmeneti lezárással történő rekultiváció során felmerülő költségeket az 5.3. ábrán foglaltam össze.



5.3. ábra
Hulladéklerakó átmeneti lezárással történő rekultivációjának folyamata

5.2.3. A végleges lezárással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek I.

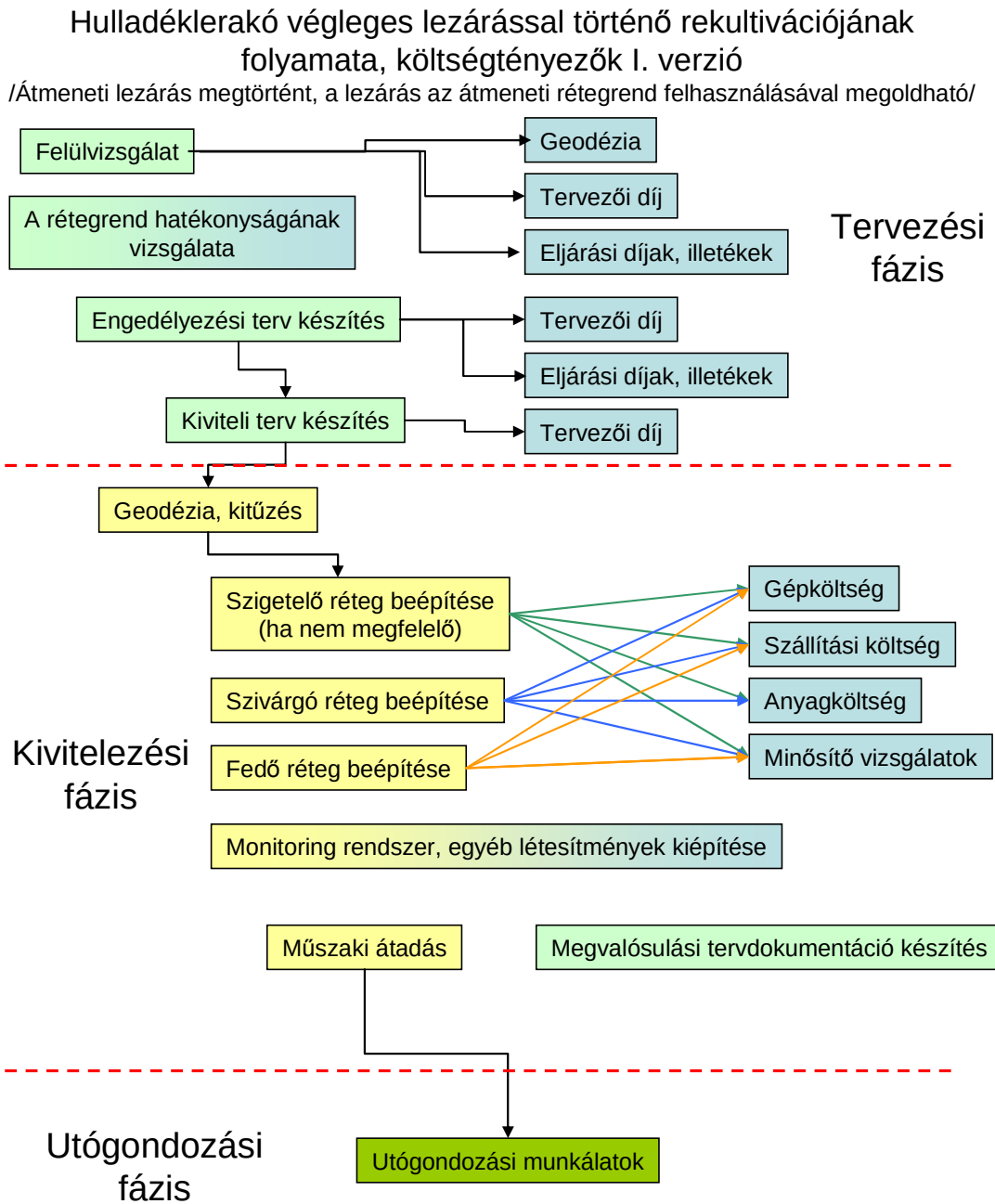
A végleges lezárás módjának költségelemzését két részre bontottam:

- I. A végleges lezárás az átmeneti rekultiváció után következik be, az átmeneti lezáró rétegrend felhasználásával
- II. A hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok lezajlottak, a rekultiváció egy ütemben, azonnal a végleges lezáró rétegrend megépítésével elvégezhető.

Jelen fejezetben az I. verzió költségeit részletezem, tehát a lerakó átmeneti lezárását követő rekultivációt, ami az átmeneti lezáró rétegrend felhasználásával történik. Ebből következően már az átmeneti rétegrend kialakítása során gondolni kell arra, hogy a beépített rétegrend, egészben, vagy részben a végleges lezárás során felhasználható legyen. Az átmeneti lezárást követő utógondozás során erre tekintettel kell lenni, a rétegeket, elsősorban a szigetelő réteget a sérüléstől, mechanikai, kémiai, biológiai behatásoktól védeni kell.

Az átmeneti szigetelő rendszer elemei csak abban az esetben használhatók fel, amennyiben az egyes elemek a hatékonyságukat az idő elteltével nem veszítették el, minőségükben jelentős mértékű romlás nem következett be, a zárószigetelés részeként régi-új funkciójukat teljes mértékben el tudják látni. Erről a tervezési/kivitelezési munkálatok során vizsgálatokkal, mérésekkel meg kell győződni.

A végleges lezárással történő rekultiváció során az I. verziónak megfelelően felmerülő költségeket a **5.4. ábrán** foglaltam össze.

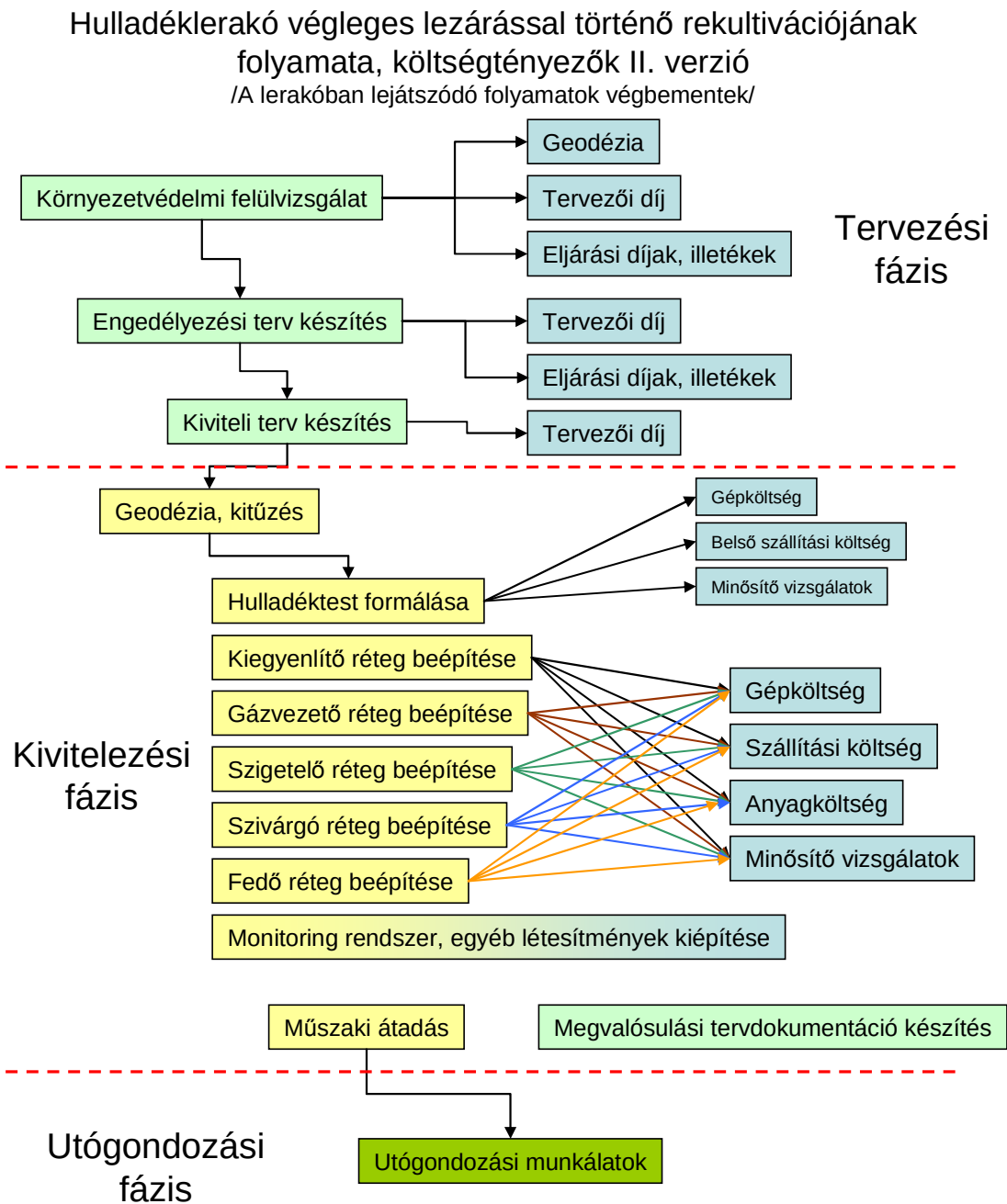


5.4. ábra
Hulladéklerakó végleges lezárással történő rekultivációjának folyamata (I. verzió)

5.2.4. A végleges lezárással történő rekultiváció folyamata során felmerülő költségek II.

Ebben a fejezetben azokat a költségtényezőket mutatom be, amikor a hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok lezajlottak, a rekultiváció egy ütemben, tehát csak a végleges lezáró rétegrend megépítésével végezhető el.

A végleges lezárással történő rekultiváció során az II. verziónak megfelelően felmerülő költségeket az 5.5. ábra foglalja össze.



5.5. ábra
Hulladéklerakó végleges lezárással történő rekultivációjának folyamata (II. verzió)

5.3. A rekultivációhoz felhasználható természetes anyagok előfordulása

A hulladéklerakók rekultivációjához szükséges természetes anyagok általában a következők:

- homok;
- homokos kavics;
- agyagok;
- kavics;
- meddő;
- humusz / talaj.

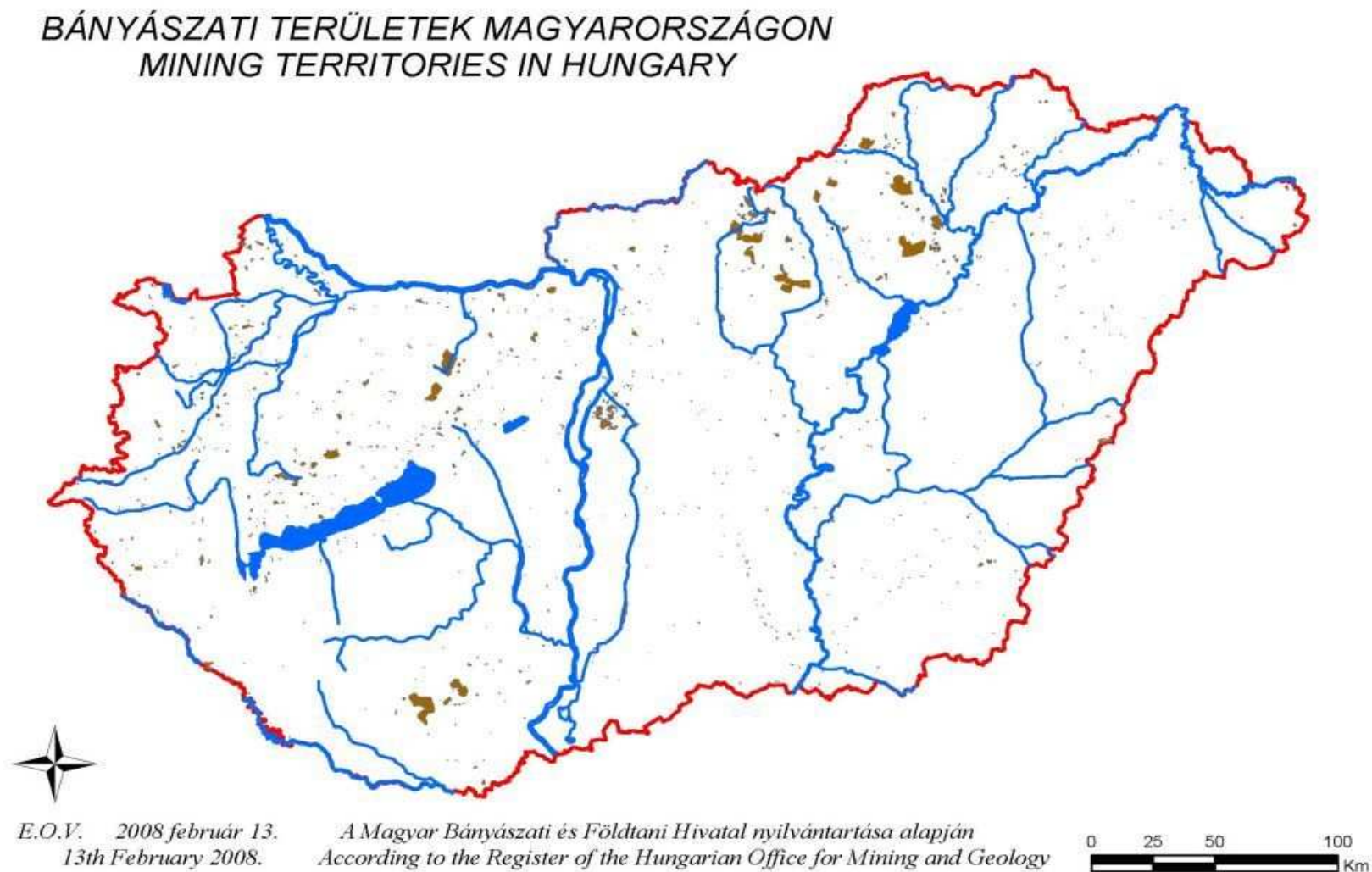
Ezek a humusz kivételével ásványi nyersanyagok, amelyek beszerzési forrása csak legálisan működő bányákból történhet. Az 1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról az ásványi nyersanyaggal kapcsolatosan a következőképpen fogalmaz:

„Ásványi nyersanyag”: olyan ásványi anyag, mely a fennálló tudományos-technikai fejlettségi szinten hasznosítható. Nem minősül ásványi nyersanyagnak a külön törvény hatálya alá tartozó talaj és halmazállapotától függetlenül a víz.

A jogszabály ettől eltérő beszerzési forrást nem engedélyez, a rekultiváció során felhasznált anyagok, ásványi nyersanyagok származási helyét minden esetben igazolni kell.

Megvizsgáltam a Magyarországon található bányák elhelyezkedését, illetve a bányákban előforduló ásványi nyersanyagokat. A vizsgálat során a homok, homokos-kavics, agyag ásványi nyersanyag előfordulásokra, mint a rekultiváció során általánosan alkalmazott természetes anyagokra fektettem hangsúlyt.

Magyarországon jelenleg körülbelül 1200 bánya található (2008. február), ezen bányák közül azonban értelemszerűen nem mindegyik rendelkezik olyan mennyiségű, minőségű és fajtájú ásványi nyersanyaggal, amely a rekultiváció során felhasználható. A Magyarországon található bányák elhelyezkedését mutatja be az **5.6. ábra** (forrás: www.mbfh.hu).

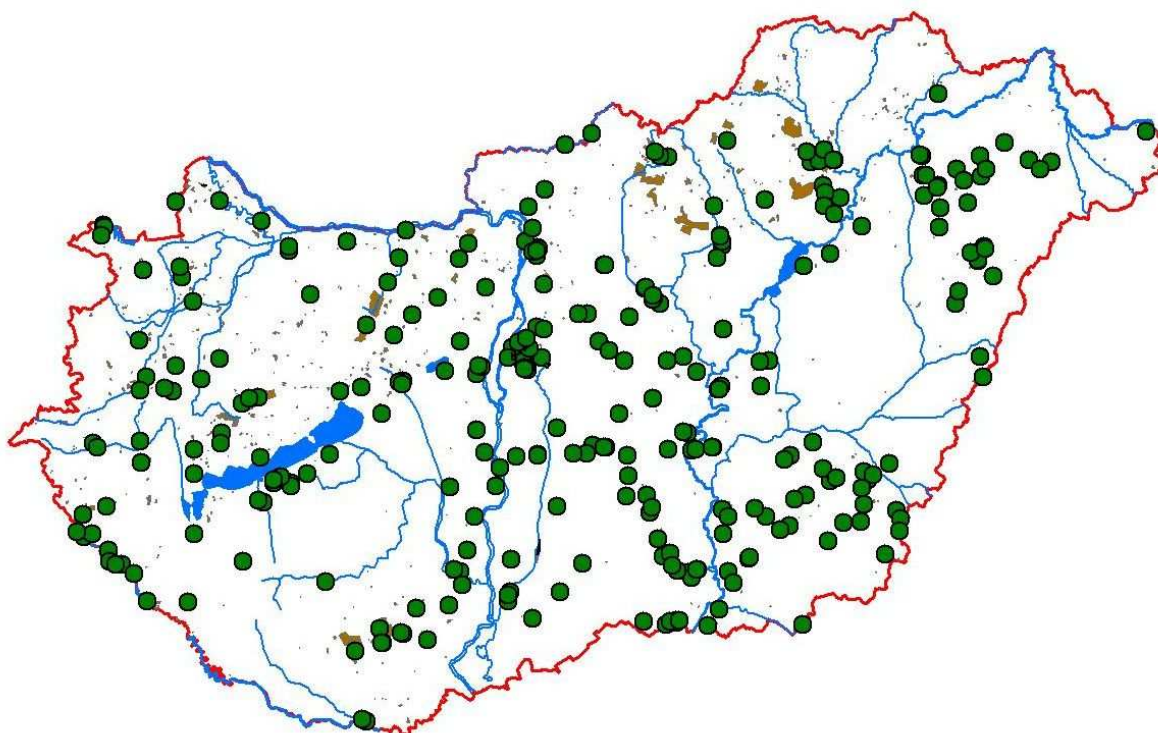


5.6. ábra
A Magyarországon található bányák elhelyezkedése (forrás: www.mbfh.hu)

A bányákat célzottan szűrtem tovább azokra az anyagokra, amelyek a rekultiváció során felhasználhatók.

5.3.1. Homok

Magyarország homokbányáit mutatja be az 5.7. ábra.



5.7. ábra
Homokbányák Magyarországon
(Forrás: Magyar Bányászati és Földtani Hivatal)

Az ábrából jól látszik, hogy számos homokbánya található hazánkban, így a rekultivációhoz például kiegyenlítő, gázmentesítő réteggként felhasználni kívánt homok az ország legtöbb pontjáról elérhető. A homokbányák száma: 488.

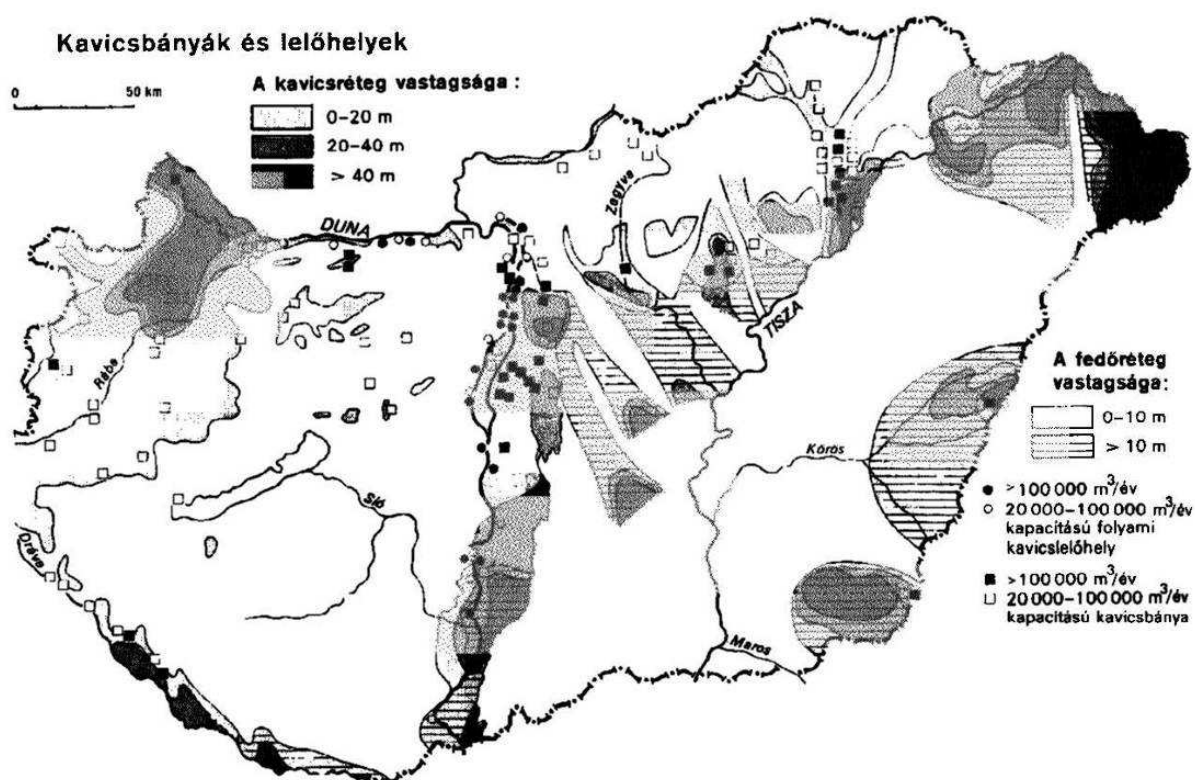
5.3.2. Kavics

Hazai kavics-előfordulásaink fiatalkorú pliocén, pleisztocén üledékek és zömmel a ma is meglévő folyókhoz, folyóvölgyekhez kapcsolódnak. A legjelentősebb területek Nyugat-Magyarországon a Duna felső folyásához, valamint a Rábához ill. a Kisalföldhöz kapcsolódnak. Kisebb előfordulások a Dráva mentén is találhatóak. Az ország középső

területein, a Duna-völgyben, Budapesttől a déli országhatárig húzódnak a kavicstelepek. Erre a nagy kiterjedésű üledéksávra jellemző, hogy déli irányban csökken az átlagos szemcseméret.

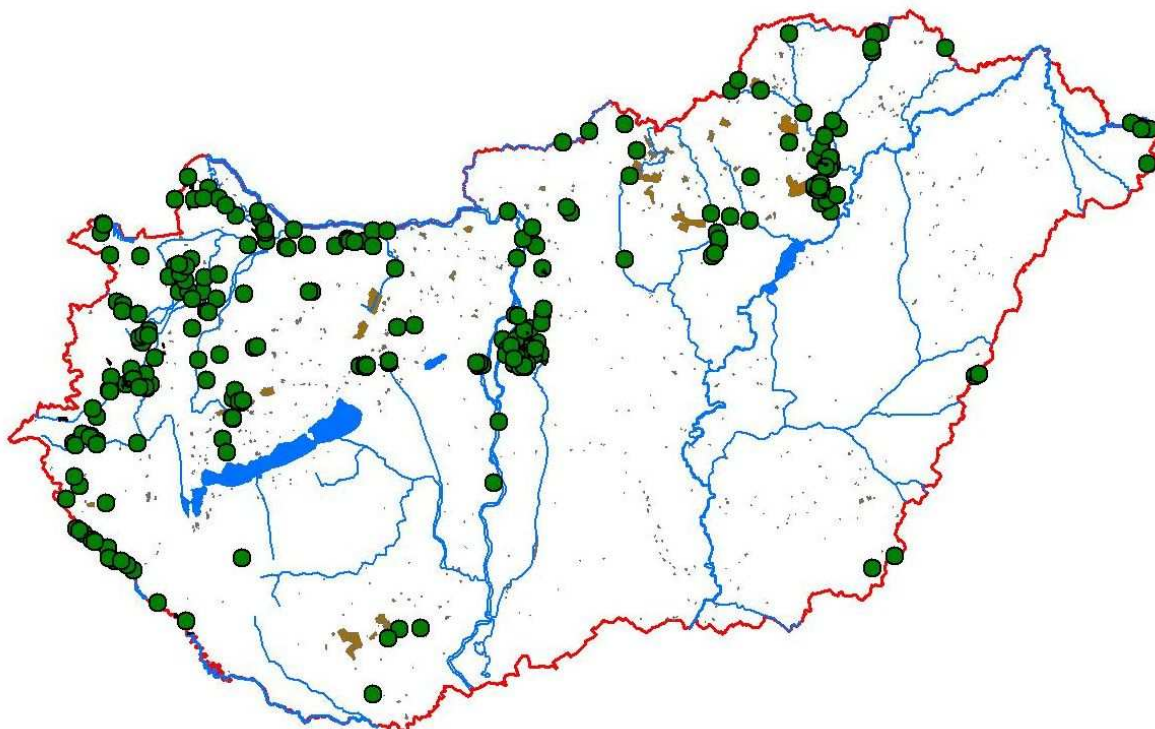
Az ország keleti felében a kavics-előfordulások a Tiszához és mellékfolyóihoz kötődnek. Nagy jelentőségű előfordulások a Sajó- és a Hernád-völgyben, a felső Tisza és mellékfolyói vonalában, valamint a Körösök mentén találhatók. Az **5.8. ábra** feltünteti a kavicslelőhelyeket, azok átlagos vastagságát, valamint a fedőrétegek vastagságát. A kavicstelepek vertikális kiterjedése az előfordulások kb. 60 %-ában 20 m alatt van, de jól látható a térképen, hogy nem elhanyagolható nagyságú területen meghaladja a 40 m-t is. A fúrásos kutatások alapján több helyen bizonyított a 100 m-es rétegvastagság is (pl. Dél-Borsod) (BÖHM et al. 2007.).

Magyarországi kavicslelőhelyeket mutat be az **5.8 ábra**.



5.8. ábra
A legfontosabb hazai kavics-előfordulások területi elterjedése
(Fülöp, 1984.)

A Magyarországon található kavicsbányák helyeit szemlélteti az **5.9. ábra**.



5.9. ábra
Kavicsbányák Magyarországon
(Forrás: Magyar Bányászati és Földtani Hivatal)

A térkép jól szemlélteti, hogy a kavicsbányák előfordulása már jóval ritkább, az Alföld területén egyáltalán nem található kavicsbánya. Ennek megfelelően ezeken a területeken a szivárgóréteg építéséhez szükséges kavics csak távoli helyekről, nagy szállítási távolsággal biztosítható. A nagy szállítási távolságok sokszor aránytalanul nagyobb költséget jelentenek. A rekultivációs költségek becslésénél ezeket a szállításból adódó többletköltségeket figyelembe vettem.

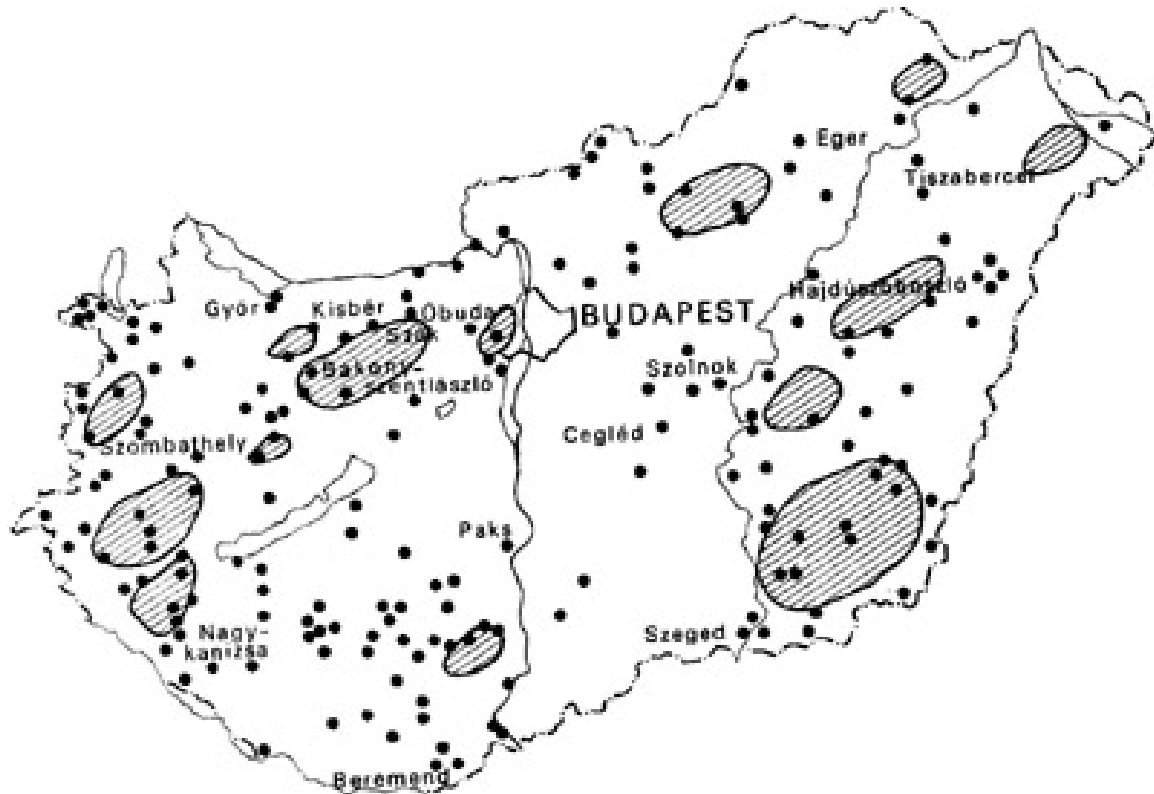
Célszerű a szivárgóréteg anyagának megválasztásánál már a tervezés során azokat a lehetőségeket figyelembe venni, amelyek a szivárgóréteg építéséhez szükséges kavicsréteget helyettesíthetik, illetve megfelelő méretezés mellett pótolhatják.

A kavicsbányák száma: 376, amely nem kevés, viszont a bányák eloszlása hazánk területén nem egyenletes.

5.3.3. Agyag

Magyarország jelentősebb téglagyártáshoz használt agyaglelőhelyeit mutatja be az **5.10. ábra**. A téglagyártási agyag általában kiválóan alkalmas a rekultiváció szigetelő rétegeként is, mert kellően nagy a plaszticitása, hogy vízzáró legyen, de ugyanakkor a zsugorodási jellemzői még megengedhetők, ami egy zárószigetelő rendszer agyagrétegénél különösen fontos.

A Magyarországon található agyagbányák előfordulási helyeit szemlélteti az **5.11. ábra**.

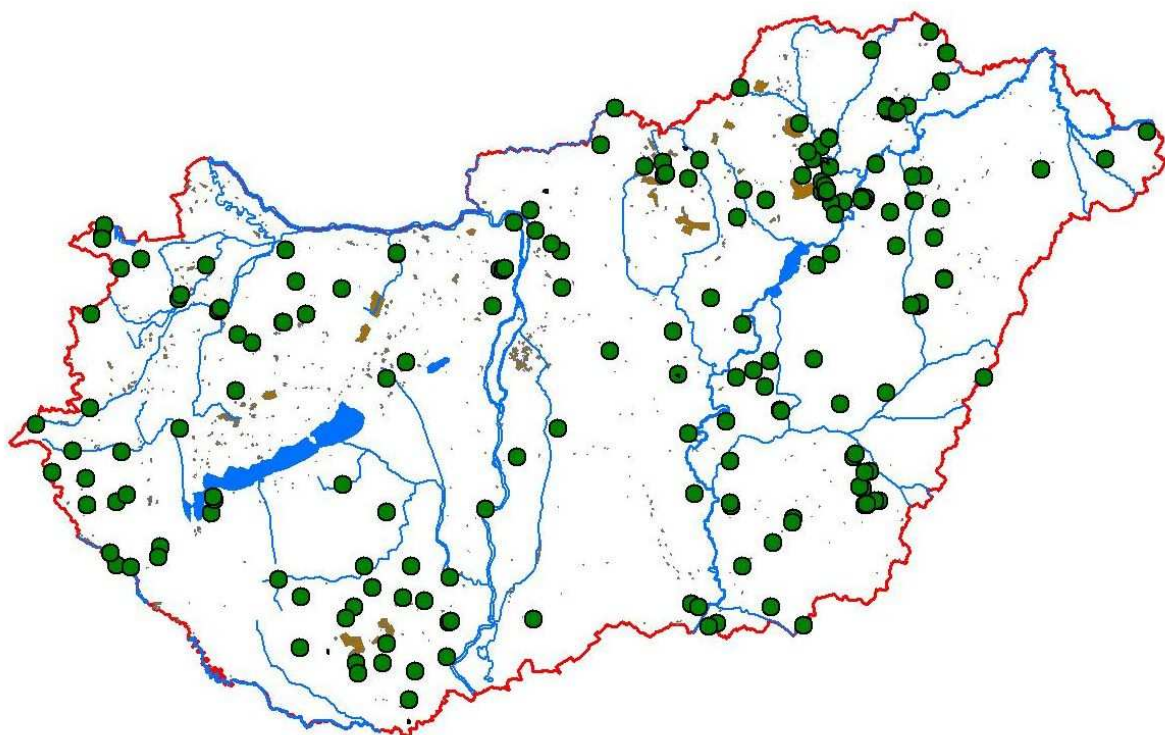


5.10. ábra

Magyarország téglagyártáshoz hasznosítható agyagterületei (vonalkázott mezők).

A nagyobb téglagyárakat a fekete pontok jelzik

(JUHÁSZ, 1987.)



5.11. ábra

Agyagbányák Magyarországon

(Forrás: Magyar Bányászati és Földtani Hivatal)

Az **5.11. ábra** alapján jól látszik, hogy agyagbányák szempontjából kedvezőbb a helyzet, azonban a Duna-Tisza köze térségében szintén nem található agyagbánya. Fontos megjegyezni azt, hogy agyag előfordulás nem csak kifejezetten agyagbányákban található, számos esetben a kavicsbányák fedője is megfelelő minőségű a lezáráshoz. Az agyagra a rekultivációk során mint szigetelőrétegre van szükség, ez a réteg biztosítja a lerakó elszigetelését a beszivárgó csapadéktól, tehát az anyag minősége kiemelten fontos. Eddigi tapasztalataink alapján megfelelő vízzáróságot biztosító, kivitelezés szempontjából optimálisan beépíthető agyag viszonylag kevés található, nem minden agyagbányában fordul elő a rekultiváció szempontjából kedvező minőségű agyag. Így, habár az agyagbányák eloszlása egyes területek kivételével viszonylag egyenletes, a valós helyzet sokkal árnyaltabb, mint az a térkép alapján látszik.

5.3.4. Humusz

A humusz, illetve a talaj nem minősül ásványi nyersanyagnak, ezért ezekre az anyagokra a bányászati törvény hatálya nem terjed ki, felhasználásukra más törvényi szabályozás vonatkozik. Az eddigi gyakorlati tapasztalatok alapján, a rekultivációs réteghez felhasználható humuszmennyiség általában két helyről biztosítható:

- a.) bányák esetében, a lehumuszosítás során épített humuszdepókból;
- b.) építési beruházások során a letermelésre került humuszdepókból.

Mindkét esetben csak a beruházások során felhasználni kívánt mennyiség feletti „felesleges” humuszmennyiség használható fel. Az a.) esetben a bányák létesítésekor a humuszcéteget letermelik, és átmenetileg (amely, akár éveket, évtizedeket is jelenthet) tárolják. A tárolás elsődleges célja a humuszcéteg megmentése, majd a rekultiváció során történő felhasználása. A rekultivációhoz felhasznált mennyiségen felül a humuszanyag rekultivációs célokra értékesíthető. A humuszdepókban való tárolás során fennáll annak a veszélye, hogy a tárolás ideje alatt a humusz tönkremegy, a benne található élőlények, szervezetek a nem megfelelő, vagy el nem végzett kezelés során elpusztulhatnak.

Az eddigi tapasztalataim alapján a hulladéklerakók rekultivációjának egyik legnehezebben megoldható kérdése a szükséges humuszmennyiség biztosítása. Célszerű ezért külön figyelmet fordítani a humuszcéteg kiváltására, vagy rosszabb minőségű talajok feljavításának lehetőségére. A tervezés során figyelembe kell venni az adott terület későbbi hasznosításának célját, tájba illesztését, és annak megfelelően kell a humuszcéteget és a növénytelepítést tervezni. Egy olyan hulladéklerakó rekultivációja során, ahol a későbbiekben a területtel semmit sem terveznek, illetve a településektől távol található, nem biztos, hogy érdemes a legjobb humuszt felhasználni, elegendőnek tartom egy olyan réteg beépítését, amely a növényzet megtelepedését elősegíti, a növényeknek megfelelő életteret biztosít.

5.4. A rekultivációhoz használt anyagok bekerülési költsége

Az előző fejezetben bemutatottak alapján (a bányák nem egyenletes eloszlása, a térségek más-más gazdasági helyzete) azt feltételeztem, hogy hazánk különböző térségeiben a lerakók rekultivációjának költsége jelentős eltérést mutat. Ebből kifolyólag ajánlatkéréseket végeztem különböző bányáktól, az egyes bányákban található ásványi nyersanyagokkal kapcsolatban. A bányák kiválasztása véletlenszerűen történt, az elsődleges cél az volt, hogy az ajánlatokkal próbáljam lefedni hazánk területét. Az ajánlatokat telefonon, faxon, illetve e-mailben kértem. Az ajánlatkérések során körülbelül 200 bányából kaptam ajánlatot.

5.4.1. Az ajánlati árak kérdése

Az ajánlatkérés során általános árajánlatok kérésére volt lehetőségem. Tapasztalataim azt mutatják, hogy az általános ajánlati árak és az egyes konkrét projektekre megadott árak között eltérés mutatkozhat. Különösen szembetűnő a különbség, amennyiben egy olyan projektről van szó, amikor a nyertes kivitelező konkrét munkára kér „élesben” árajánlatot (versenyár). Ezen különbségeket a munkám során nem tudtam áthidalni. Véleményem szerint egyes esetekben ezek a különbségek akár jelentősek is lehetnek, amennyiben „versenyárakkal” számolunk az ajánlati árak helyett.

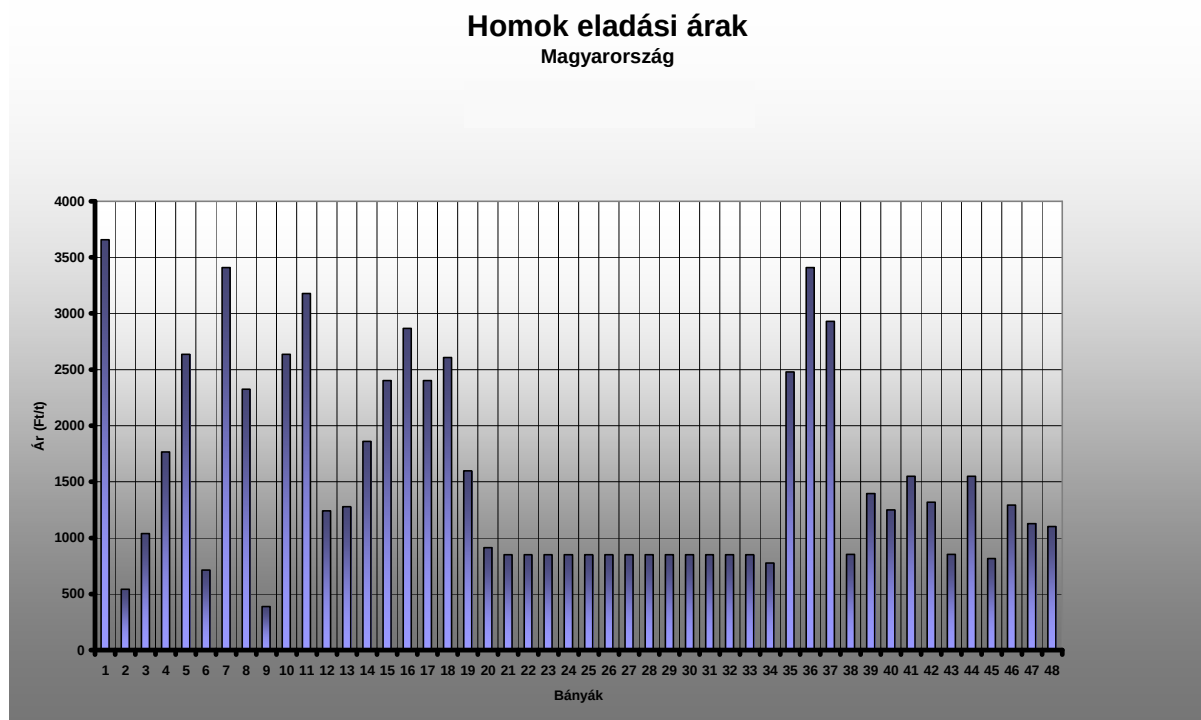
5.4.2. Természetes anyagok bekerülési költsége

Bekerülési költségen a bányákban, depóniákban tárolt anyagok árait értem, kitermelés, szállítás, rakodás, beépítés nélkül.

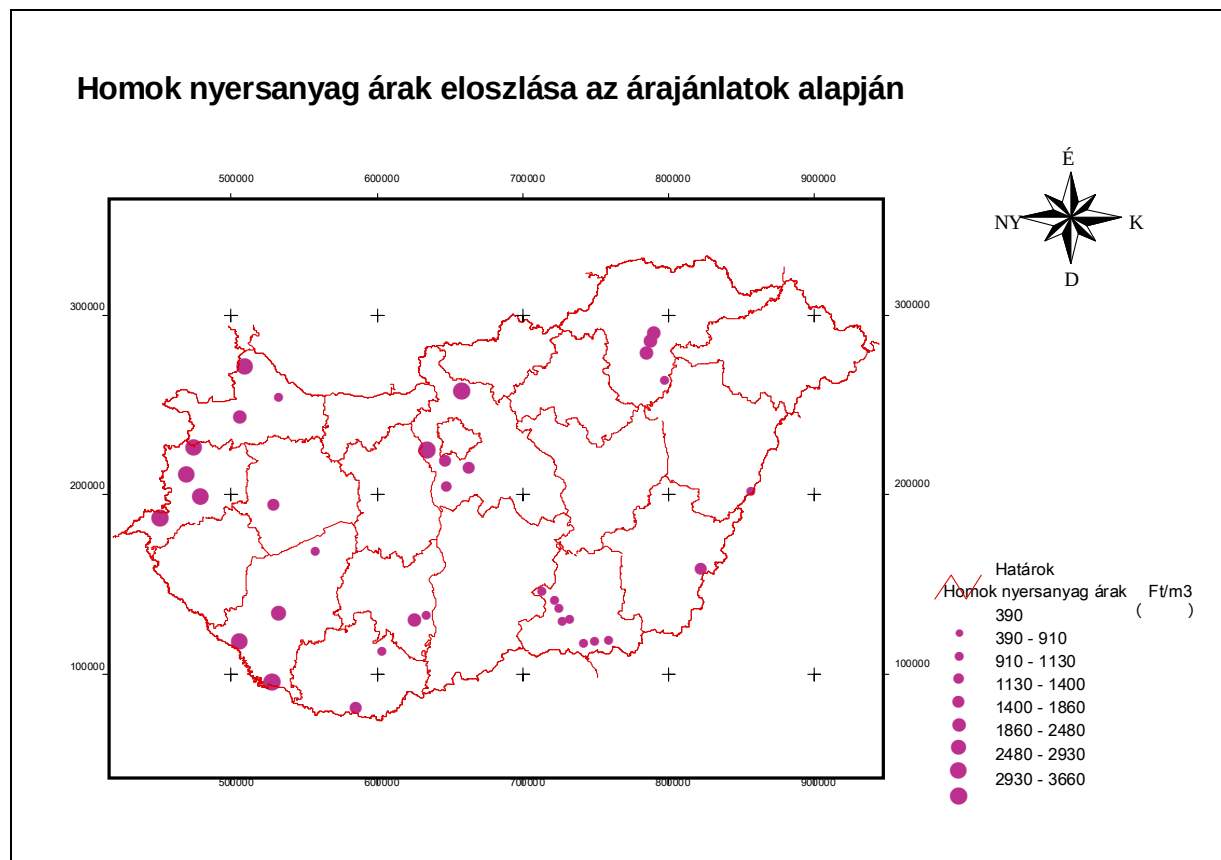
5.4.2.1. Homok

A homok a rekultiváció során felhasználható gázmentesítő, kiegyenlítő réteggént, egyes esetekben szivárgóréteggént is (a rendeletben meghatározott szivárgási tényező értéknek egyes homokok megfelelnek).

Különböző bányák homok eladási árait szemléltetik az **5.12-5.13. ábrák**.



5.12. ábra
Homok nyersanyag eladási ára



5.13. ábra
Homok nyersanyag árak eloszlása az árajánlatok alapján

Az ábrákból jól látszik, hogy az egyes bányák homok ásványi nyersanyag árai között jelentős különbség van. Ez egyrészt adódik az adott terület sajátosságaiból, másrészt a bányák által kínált termék minőségétől, feldolgozottságától.

A térkép alapján szembetűnő, hogy a legkedvezőbb árakkal az Alföld területén találkozunk, Nyugat-Magyarország területe az árak szempontjából magasabb. A homokbányák eloszlása kedvező, ezért úgy gondolom, hogy a kiegyenlítő ill. gázmentesítő réteggént felhasználható homokok általánosan 1.200 Ft/m³ áron beszerezhetők.

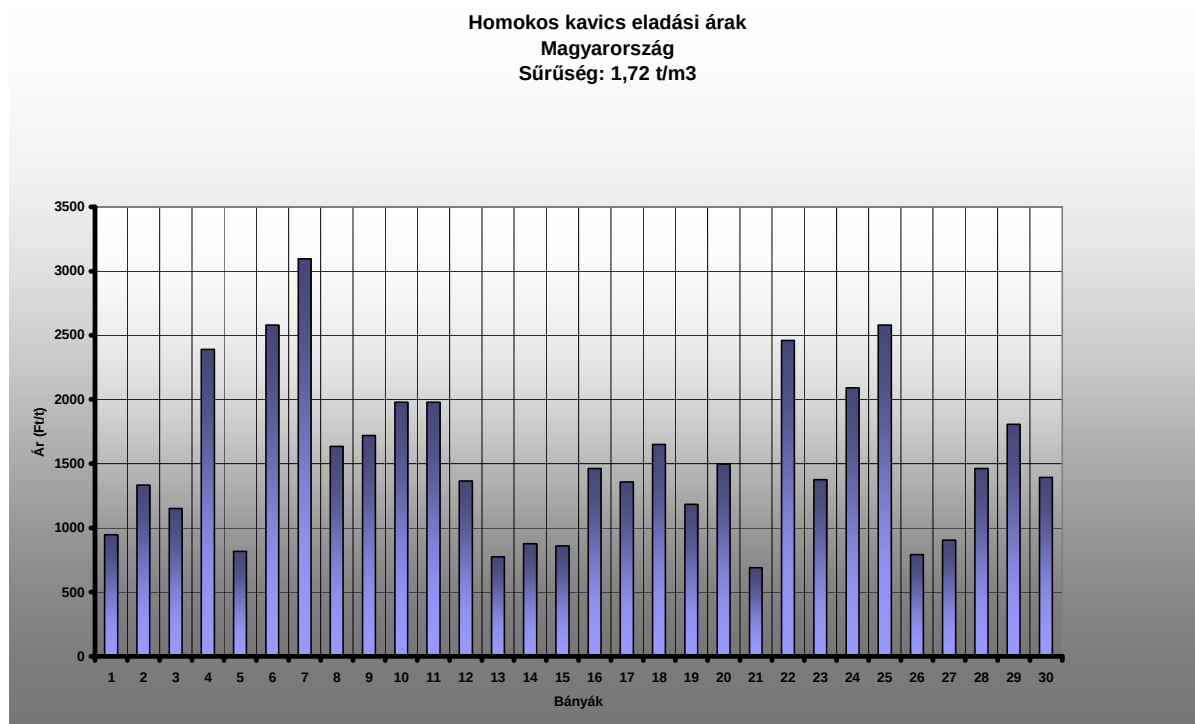
A feldolgozott adatok alapján a legkedvezőbb ár 388 Ft/m³, az átlagár 1.200 Ft/m³ (becsült érték, egyes helyeken a homok ára rendkívül magas, azonban ezek speciális feldolgozott termékek, melyek alkalmazása a hulladéklerakók rekultivációja során indokolatlan lenne).

5.4.2.2. Homokos kavics, kavics

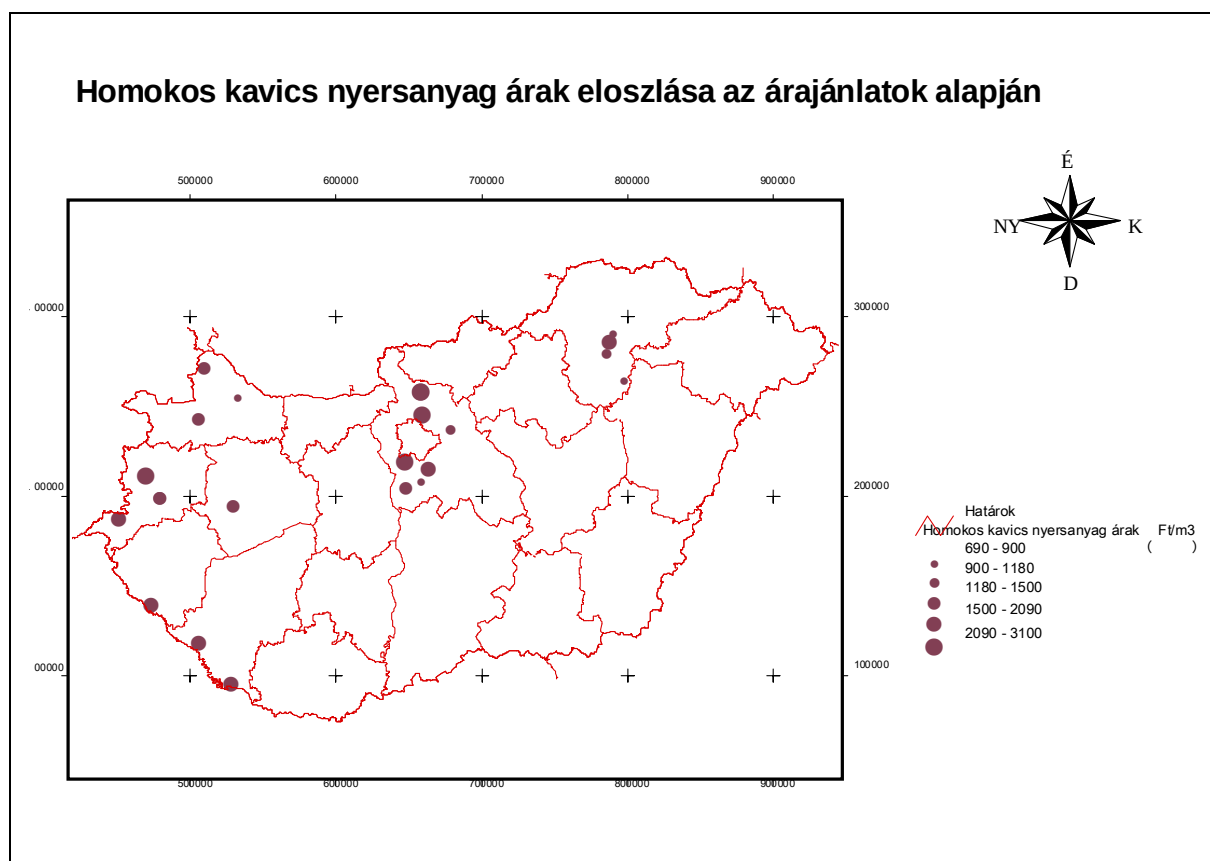
5.4.2.2.1. Homokos kavics

A homokos kavics felhasználása a szivárgóréteg esetén jöhet számításba. Az érvényes jogszabály a mosott kavics alkalmazását kívánja meg (kivételt ez alól a rézsűkön enged meg), azonban eddigi tapasztalataink alapján a homokos kavics alkalmazása is elfogadható, a megkívánt vízáteresztő-képességgel rendelkezik.

Különböző bányák homokos kavics eladási árait szemléltetik az 5.14-5.15. ábrák.



5.14. ábra
Homokos kavics nyersanyag árak

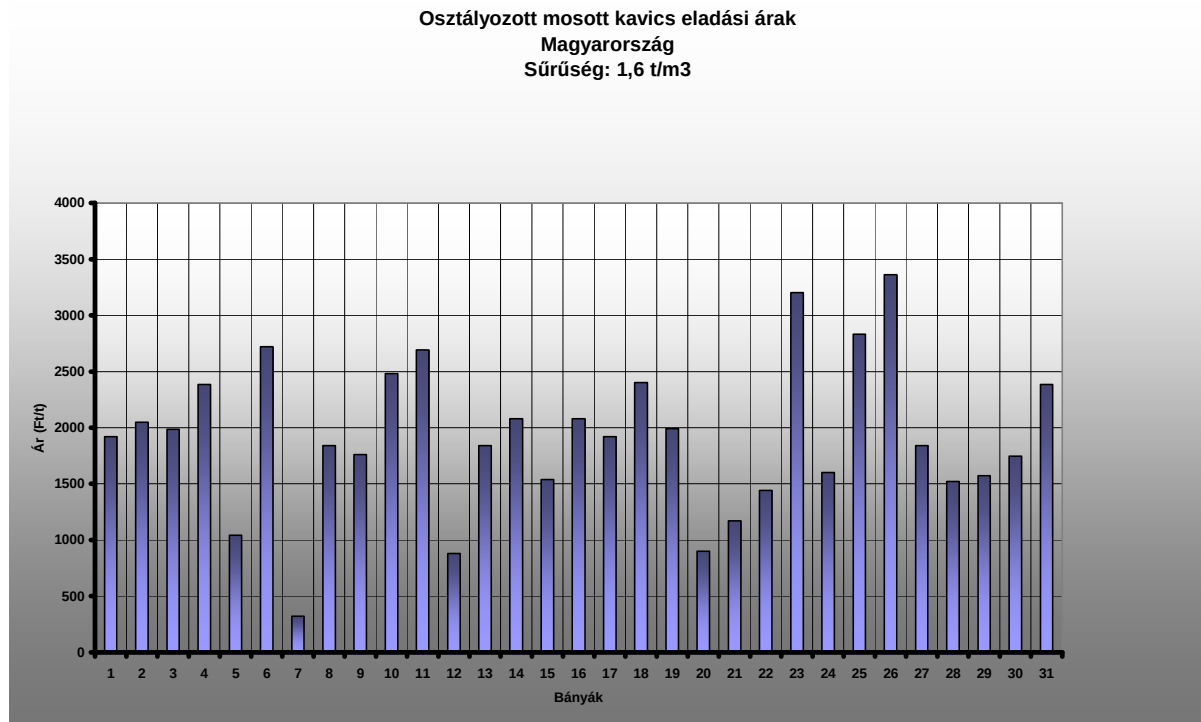


Az **5.15.** valamint a korábban bemutatott **5.9. ábrákból** (Kavicsbányák Magyarországon) jól kitűnik, és a földtani ismeretek alapján megállapítható, hogy az Alföldön és a Dunántúl déli részén nem találhatók kavicsbányák, ezért az Alföld területein sokkal nagyobb szállítási távolsággal kell számolni, mint más területeken.

A homokos kavics tekintetében átlagosan **1.200 Ft/m³** árral lehet kalkulálni.

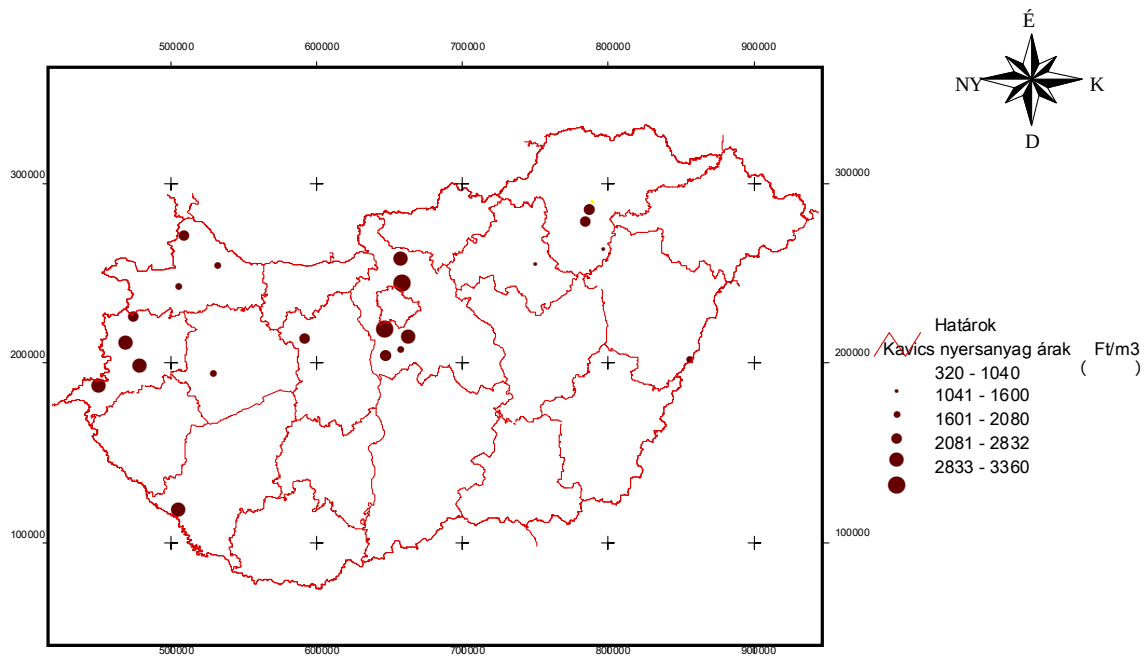
5.4.2.2.2. Osztályozott mosott kavics

Osztályozott mosott kavicsot a szivárgóréteg kialakítása során lehet felhasználni. Különböző bányák osztályozott mosott kavics (általában 16/32 szemmegoszlású kavicsok) eladási árait szemléltetik az **5.16-5.17. ábrák**.



5.16. ábra
Kavics nyersanyag árak

Kavics nyersanyag árak eloszlása az árajánlatok alapján



5.17. ábra
Kavics nyersanyag árak eloszlása az árajánlatok alapján

A kavicsbányák árai is igen változatos képet mutatnak. A homokos kavicshoz hasonlóan az Alföld és a Dunántúl déli részén sokkal nagyobb szállítási távolsággal célszerű számolni. Az átlagár értelemszerűen magasabb a homokos kavics bekerülési költségénél, a becsült átlagos ár: 1.600 Ft/m³.

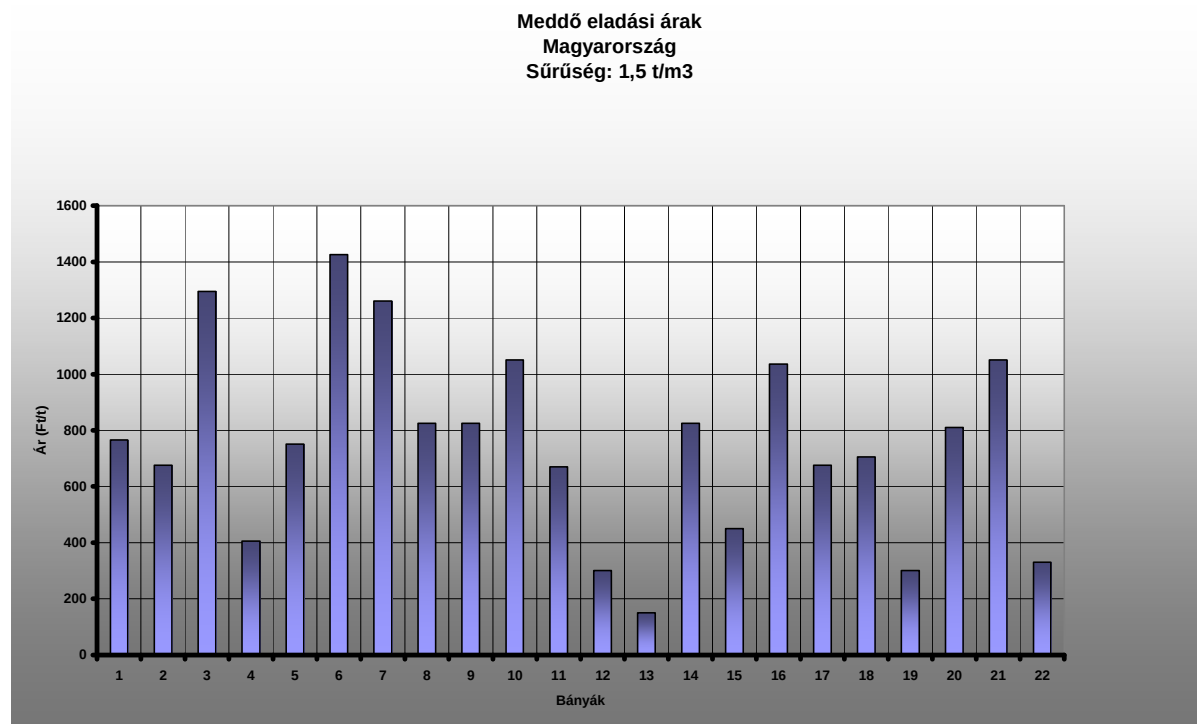
5.4.2.3. Agyag

A hazai rekultivációs célokra felhasználható agyag-előfordulások száma viszonylag csekély. A tapasztalatunk azt mutatja, hogy nem minden agyagbányában van a zárószigeteléshez megfelelő minőségű agyag, illetve sok agyagbánya már nem üzemel, a nyersanyagkészlet kimerült. A téglagyárak általában rendelkeznek saját agyagbányával, azonban sok esetben nem adnak el agyagot, vagy csak a rossz minőségű agyagkészletet értékesítik. A hulladéklerakó építési, rekultiválási projekteknél a humusz mellett az agyag beszerzése jelent a legnagyobb gondot. Az árajánlatkéréseink során csak kevés helyről sikerült árat kapnunk, a legkedvezőbb ár 780 Ft/m³ volt, átlagosan azonban **1.000-1.200 Ft/m³** árral lehet kalkulálni. Ehhez az árhoz hozzáadódik a szállítási távolság, amely sok esetben meghaladhatja a 100 km-t. Ezekben az esetekben (is) javasolt az alternatív szigetelőanyagok alkalmazása (ld. később).

5.4.2.4. Bányameddő

Kiegyenlítő réteggént, vagy a rekultivációs réteg alsó rétegeként (alacsony humusztartalmú talaj) felhasználható bányameddő. Elviekben kedvező árú nyersanyag, azonban más egyéb beruházások során is nagy mennyiségű meddőt használnak fel (útépítések, területfeltöltések stb.). Sok bánya a tevékenység megkezdése után a teljes meddőkészletet értékesíti, kevés meddőanyagot deponál.

A megkérdezett bányák meddő eladási árait mutatja be a **5.18. ábra**.



5.18. ábra
Meddő eladási árak

Az ábrából jól látható, hogy a bányameddő eladási árai kedvezőbbek a többi ásványi nyersanyagnál. Becslésem alapján átlagosan **650 Ft/m³** nyersanyagárral célszerű számolni.

5.4.2.5. Humusz / Humuszban gazdag talaj

A humuszcéteg feladata a rekultivációk során a növények megtelepedésének biztosítása, az átlagos javasolt vastagsága 0,3 m. Mint azt már korábban említettem a kellő mennyiségű humusz beszerzése a legbonyolultabb feladat. A humusz származási helyét a rekultivációk során minden esetben igazolni kell.

Az árajánlatkéréseim során a humusz eladási ára 850 – 1.500 Ft/m³ között mozgott, regionális eltérést nem tapasztaltam, átlagosan **1.000 Ft/m³** ár adódott.

5.5. Mesterséges anyagok

5.5.1. Geoműanyagok

A hulladéklerakók rekultivációja során elsősorban HDPE, illetve EPDM membránokat használnak. A PVC fóliák anyaguknál, mechanikai tulajdonságaiknál fogva nem alkalmasak a zárószigetelési feladatok ellátására. A HDPE fóliák tartósak, fektetésük egyszerű, az eddigi tapasztalatok alapján a vízzáró-képességüket hosszútávon megőrzik.

A HDPE fóliák az EPDM fóliákkal szemben kedvezőbb árfekvésűek, így a vizsgálatom során a HDPE fóliák anyag, illetve beépítési költségeivel foglalkoztam.

Magyarországon HDPE fólia gyártás nem történik, a Magyarországra kerülő termékeket elsősorban Európában gyártják (Nyugat-Európa, Kelet-Európa). A forgalmazó cégek hivatalos magyarországi képviselőkkel rendelkeznek, ebből kifolyólag a fólia beszerzése egyszerű, hiánnyal nem kell számolni, az átlagos szállítási idő 1 hét és 2 hónap között változik.

Az egyes gyártók HDPE fólia árai nem mutatnak jelentős eltérést egymáshoz képest, a hazai piac kínálati piac, egyes nagy projektek során jelentős árversenyt tapasztalunk.

A szállítási költségek befolyásolják a HDPE fóliák árát, azonban ez hazánk különböző területeire való szállítás során az árakban nem mutatkozik meg. Ez magyarázható egyrészt azzal, hogy a termékek hazánkba érkezéséig sok száz, akár ezer kilométert is megtesznek, a belföldi szállítás ezzel szemben csupán néhány száz kilométer, másrészt azzal, hogy az egy kamionon szállítható anyagmennyiség m²-ben jelentős, így a m²-re vetített árban a szállítás csak csekély mértékben jelenik meg.

Az elmúlt években a HDPE fóliák árában emelkedés tapasztalható, amely egyértelműen visszavezethető az olajárak jelentős növekedésére, melyet az **5.19. sz. ábra** szemléltet.



5.19. sz. ábra
Az olajár változása az elmúlt években

A vizsgálat készítésének idején az olaj ára 100 USD fölött volt. Mivel a HDPE fóliák ára és az olajárak között összefüggés van, ezért a közeljövőben nem valószínűsíthető az árak csökkenése, a közeljövőben emelkedés várható, egy nagyobb mértékű emelkedésre is számítani lehet.

A rekultivációk során elsősorban a 2,0 illetve 2,5 mm vastagságú HDPE fóliák alkalmazása javasolt, így ezeknek a jelenlegi piaci árait használtam fel a költségbecslés során. A 2 mm alatti vastagságú fóliák használatának elvi akadálya nincsen, azonban a vékonyabb fóliák a kivitelezés során sokkal könnyebben sérülhetnek, a fólia átlukadhat, kiszakadhat. A hibák keletkezésének 95 %-a a kivitelezés során történik (hegesztési, fektetési hibák), amelyek a ráépített rétegek kivitelezése közben keletkező szakadási, átlukadási hibák. A hibák kimutatására van lehetőség, a hegesztési hibák a munka során megtalálhatók, javíthatók, azonban a ráépítés során keletkező sérülések már nem, vagy csak nehezen (további jelentős költséggel) mutathatók ki, mivel általában nem kerül sor (és jogszabály sem írja elő) monitoring rendszer beépítésére a HDPE fólia alá.

A HDPE fóliák jellemző árai (helyszínre szállított, ún. DDU árai):

2,5 mm vastagság (szélesség: 5-9,4 m között): **4,4-4,6 EUR/m²**

2,0 mm vastagság (szélesség: 5-9,4 m között): **3,7-3,8 EUR/m²**

A számításaim során **1 EUR = 260 HUF** árfolyamon számoltam.

Fektetés, hegesztés

A fektetés és a hegesztés költségeit nem bontom külön, a fektetést és a hegesztést egymással párhuzamosan kell végezni. Erre a feladatra a megfelelő eszközökkel rendelkező szakkivitelezőt kell bevonni, a hegesztéshez nagy gyakorlat szükséges. A hazai piacon több cég is foglalkozik HDPE fóliák fektetésével, hegesztésével, a piacot ebben az esetben is a kínálat határozza meg.

A fektetés, hegesztés ára nagymértékben függ az elvégzendő munka mennyiségétől, a feladat bonyolultságától (a rézsűk hossza, rézsűfelület nagysága, sarkok, becsatlakozások stb.).

A feladat elvégzésének ára 150-280 Ft/m² között változik, jellemzően **190-200 Ft/m²**, a költségbecslés során ezzel az árral számoltam.

5.5.2. Geoszintetikus anyagok

A zárószigetelések során szigetelő réteggént általánosan elterjedt a bentonitszőnyegek alkalmazása. A hazai és a nemzetközi gyakorlat egyaránt azt mutatja, hogy a bentonitszőnyegek reális alternatívát jelentenek a természetes anyagú aljzatszigetelésekkel szemben (agyagrétegek).

A hazai piacon a bentonitszőnyegek elérhetőek, Magyarországon gyártás nem történik, a külföldi gyártók hazai képvisellel rendelkeznek. A hazai piacon két cég terméke terjedt el elsősorban, a NAUE és a CETCO cégek által gyártott bentonitszőnyegek. Ez a két cég fedti le szinte teljes mértékben a hazai piacot. A bentonitszőnyegek eladásában a verseny erős, a két cég árai között nem tapasztalható jelentős eltérés.

A szállítási költségek elméletileg jobban befolyásolják a termékek árát, mivel a bentonitszőnyeg tömege nagy (~5 kg/m²), a szállítás során ez a meghatározó, nem a tehergépkocsi befogadó térfogata (általában 3.000-3.200 m³ bentonitszőnyeg tehergépkocsinként: ~22 tonna), azonban ez a tapasztalataim alapján nem jelenik meg az árban oly mértékben, hogy különböző területekre más-más ár lenne jellemző, ennek megfelelően a vizsgálat során konstans árral számoltam.

A bentonitszőnyegek szállítása folyamatos, hiánnyal nem kell számolni, a szállítási idő a megrendelesektől számított 3 hét-2 hónap.

Az elmúlt években némi csökkenés után (az egyszereplős piac kétszereplőssé vált, amely a piacra lépés során letörte az árakat), a HDPE fóliához hasonlóan az árakban növekedést tapasztaltam, valószínűleg az árak további emelkedése várható.

A bentonitszőnyegek jellemző árai (helyszínrre szállított, ún. DDU árak): **2,8 EUR/m²**.

Mint látható, a bentonitszőnyegek ára a HDPE fóliák árához viszonyítva kedvezőbb.

A számításaim során **1 EUR = 260 HUF** árfolyamon számoltam.

Fektetés

A bentonitszőnyegeket nem kell hegeszteni, a fektetésük egyszerűbb. A technológiai utasítást szigorúan betartva a kivitelezők általában el tudják végezni ezt a feladatot, nincs szükség szakvállalkozó bevonására. A bentonitszőnyegeket egymásra átlapolással kell fektetni. Az átlapolás mértéke a termék szélén vonallal jelölt.

A fektetés egyszerűségéből kifolyólag a szőnyegek fektetésének az ára kedvezőbb a HDPE fólia fektetésénél, **négyzetméterenként 120-140 Ft-tal** lehet számolni, amely ár függ a szigetelendő felülettől, mind mennyiségben, mind kialakításban. A vizsgálat során **120 Ft/m²** fektetési árral számoltam.

5.5.3. Geotextíliák

A geotextilek funkciója a hulladéklerakók rekultivációja során az egyes rétegek védelme a szemcsés anyagok bemosódásával szemben, illetve a HDPE fóliák megóvása mechanikai sérülésekkel szemben. Hazánkban számos geotextília kapható, a termékek között hazai gyártású is megtalálható, a külföldi és a hazai gyártók árai között az eltérés jelentős, sok esetben 50 %-ot is jelent.

A geotextíliák ára az elmúlt időszakban a többi mesterséges anyaghoz hasonlóan emelkedett, jellemző árak a következők:

200 g/m ²	95 Ft
400 g/m ²	190 Ft
600 g/m ²	310 Ft
800 g/m ²	410 Ft
1200 g/m ²	610 Ft

Fektetés

A geotextilek fektetése viszonylag egyszerű, komoly szakértelmet nem kíván. A textilek összehegesztésére nincs szükség, általában a toldások során „összesütik” a 2 geotextilt (hő hatására a textilek megolvadnak, ezt kihasználva lehet toldani azokat. A fektetés költsége a textil vastagságától függ, a vastagabb textil fektetése értelemszerűen több munkát igényel ezért drágább. A fektetési árak 50-150 Ft/m² között változnak, átlagosan **90 Ft/m²**-rel javasolt számolni.

5.5.4. Geodrének

Geodrének alkalmazásával a természetes anyagú szivárgóréteg helyettesíthető. Előnye a gyors kivitelezés lehetősége, illetve a bányáktól való függetlenség. Számos cég foglalkozik geodrének forgalmazásával, a jellemző árak a következőképpen alakulnak:

Geodrének egy oldalán geotextíliával (általában érdesített HDPE fólia felületén alkalmazandó):
900 Ft/m²;

Geodrének mindkét oldalán geotextíliával (általában agyag ill. GCL felületén alkalmazandó):
1100 Ft/m².

Az árak a beépítés költségét tartalmazzák. Nagyobb projektek esetén ezek az árak 15-20 %-kal is kedvezőbbek lehetnek, így a vizsgálat során 15 %-kal csökkentett árat vettem figyelembe, ennek megfelelően:

Geodrének egy oldalán geotextíliával: 765 Ft/m²;

Geodrének mindkét oldalán geotextíliával: 935 Ft/m².

5.5.5. Újrahasznosított anyagok

Újrahasznosított anyagok alatt a feldolgozott építési törmeléket, a kohósalakot, a pernyét, illetve egyéb anyagokat értem. Elterjedésük nem általános, az ország területeire tipikus árat nem lehet megadni. Általánosan megállapítható, hogy ezek az anyagok kedvezőbb

árfekvésűek a bányákban előforduló azonos célnak megfelelő anyagokkal, az eladási árakat az eladók a környéken található bányák árainak figyelembe vételével állapítják meg (a bányák árai alatt). Az Alföldre jellemző az átlagosnál magasabb ár az építési törmelékre (mivel kevés a bánya), míg Budapestre a számos építési beruházás okán a kedvezőbb, alacsonyabb árak jellemzők.

5.6. Hulladék átvételi díjak

5.6.1. Nem veszélyes hulladék átvételi díjak

Mint azt egy korábbi fejezetben már bemutattam, egy lerakó rekultivációja megoldható a teljes hulladékmennyiség elszállításával is. Ilyenkor a lerakó véglegesen felszámolásra kerül, területe ismételten más tevékenységekre használható, hasznosítható. A hulladék elszállításával megoldódik az utógondozás kérdése is, bár a területet tovább (a hasznosítási célnak megfelelően) kezelni kell, azonban a monitoring rendszer (amennyiben szennyezés nem maradt vissza) kiépítésére, ezáltal további üzemeltetésére nincs szükség.

Természetesen van egy ésszerűségi határ a hulladékmennyiség tekintetében, amelyen túl a teljes felszámolással történő rekultivációt már nem célszerű elvégezni. Ez alól csak azok a helyszínek jelentenek kivételt, amelyek esetében a hulladéklerakó helyben nem maradhat.

Kis mennyiségű lerakott hulladék esetén érdemes a lerakó teljes felszámolását megfontolni.

Az elszállított hulladékot minden esetben engedéllyel rendelkező hulladéklerakóba kell szállítani, amely számos kérdést felvet:

- Célszerű-e az újonnan épült hulladéklerakók szabad kapacitását ilyen célokra felhasználni?
- Nem ütközik-e a regionális hulladéklerakók építésének céljával (a regionális hulladéklerakók építésének célja a lakosság által újonnan keletkezett hulladék ártalmatlanítása) ez a fajta tevékenység?
- Amennyiben az EU által finanszírozott létesítménybe kerül a hulladék beszállításra, nem ütközik-e ez valamilyen jogi vagy egyéb szerződéses akadályba?
- Egy engedéllyel rendelkező hulladéklerakó engedélyében meghatározásra kerül az évente beszállítható hulladékmennyiség. Az ilyen jellegű, jelentős mennyiségű beszállítások nem okozhatják-e azt, hogy több hulladék kerül beszállításra, mint az engedélyben szereplő mennyiség?

Mint látható, igaz, hogy a teljes felszámolás a lerakó rekultivációjának a legegyszerűbb módja, ez azonban számos olyan kérdést vet fel, amelyre a válaszokat meglehetősen nehéz megadni.

Elképzelhető az a megoldás, hogy egy régióban több hulladéklerakó kerül együttesen, vagy egy (egymáshoz képest) belátható időn belül rekultivációra, és ennek alapján egyes hulladéklerakók anyaga átszállításra kerül más, rekultiválandó lerakókra, ahol a teljes rekultivációt csak a beszállítások után végzik el.

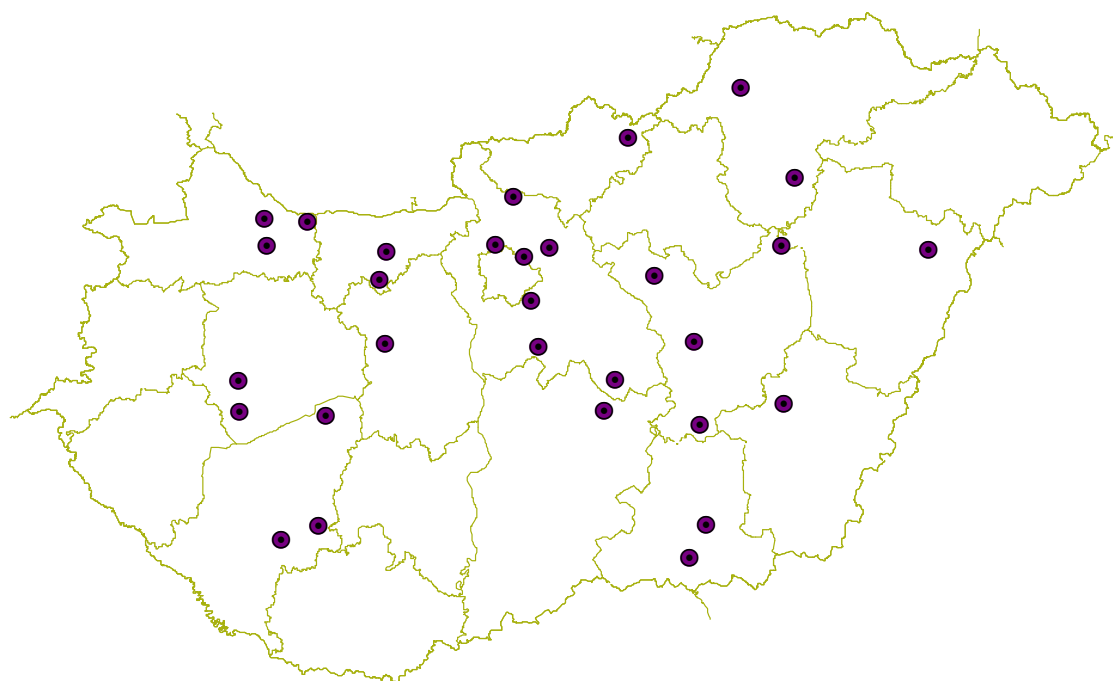
A beszállítások ebben az esetben értelemszerűen növelik egy adott lerakó környezeti kockázatát, de figyelembe véve azt a tényt, hogy ezek a kockázatok kezelhetők, értékelhetők, racionális megoldást jelenthetnek regionális szinten.

Ez a kérdés azonban számos problémát vet fel (a beszállítási célhelyek nem rendelkeznek engedélyekkel, engedélyezhető-e egy ilyen beszállítás, lakosság hozzáállása stb.), azonban költséghatékonyság szempontjából mindenféleképpen kedvezőbb, hiszen itt nem kell számolni lerakóhelyi díjjal, csupán a rekultiváció megnövekedett (többlet) költségével.

A vizsgálat során ezzel az esettel – a probléma összetettségére való tekintettel – nem számoltam, a hulladék elszállításával történő rekultiváció költségelemzésénél az egyes lerakóknál érvényes nem veszélyes hulladékok elhelyezésének lerakóhelyi díjaival számoltam.

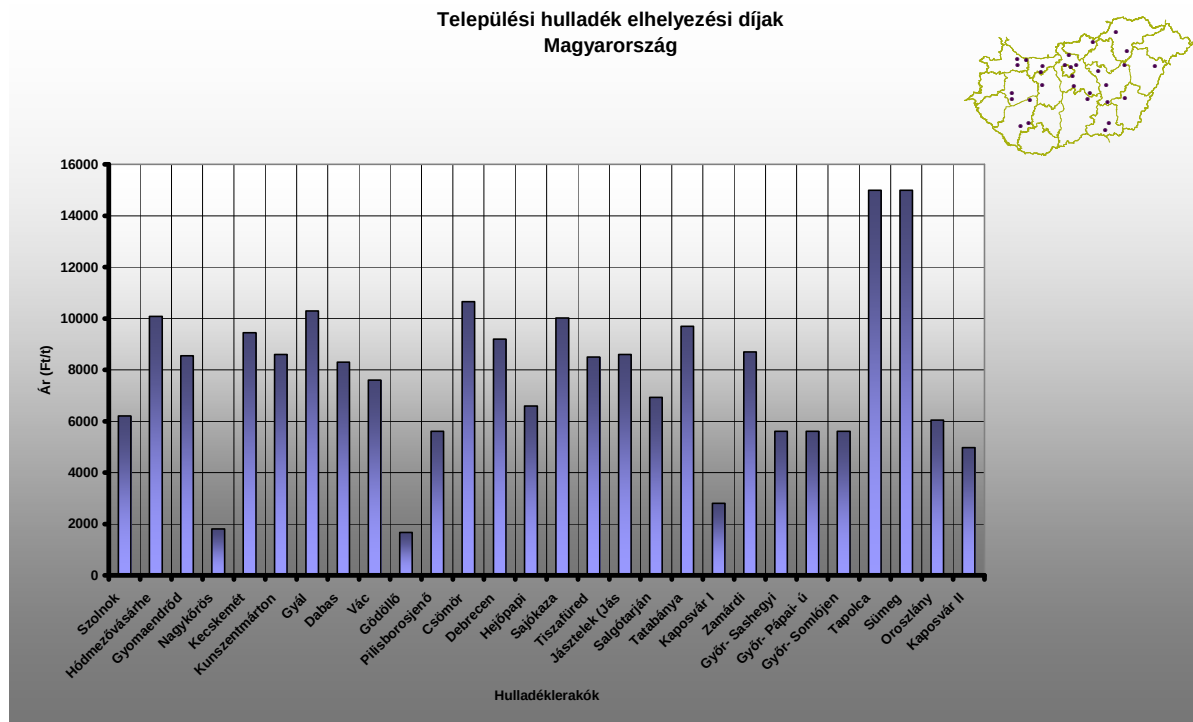
A díjak pontos meghatározásának céljából 27 hulladéklerakótól kértem árajánlatot az ország egész területéről.

A megkérdezett 27 lerakó elhelyezkedését az **5.20. ábra** szemlélteti.



5.20. ábra
A felmérés során megkérdezett hulladéklerakók elhelyezkedése

A lerakóhelyi díjak közötti különbségeket mutatja be az **5.21. ábra**.



5.21. ábra
Lerakóhelyi díjak alakulása a megkérdezett hulladéklerakókon
Nem veszélyes hulladékok (Magyarország)

Az ábrából jól látszik, hogy az egyes helyek lerakóhelyi díjai között különbségek vannak, az árak átlagosan 8.000-10.000 Ft/t között változnak, de a 10.000 Ft/t-nál magasabb átvételi díj sem szokatlan. A díjak nem mutatnak régióként változó képet, megoszlásuk egyenetlen.

A költségbecslésem során azonban **8.000 Ft/t** díjjal számoltam, véleményem szerint ez a díj reális. Nem tudtam számolni azokkal az esetekkel, amikor nagyobb mennyiségű hulladék kerülne beszállításra, és adott esetben az átvevő az átvételi díjból esetlegesen valamilyen kedvezményt tud nyújtani.

A lerakott hulladék összetételéből adódó változások összefüggése a lerakóhelyi díjjal

Egy hulladéklerakóban a kommunális (lakossági) hulladék mellett előfordul más hulladék is, különösen azokon a helyeken, ahol nem rendezett, ellenőrzött körülmények között zajlott a hulladék lerakása. A legtöbb települési szilárdhulladék-lerakóra ez igaz. Nem rendelkezünk olyan megbízható adatokkal, amelyek a lerakókban található hulladék pontos összetételére vonatkoznak. Ilyen vizsgálatok léteznek ugyan, ennek elvégzése jogszabályi kötelezettség, azonban elsősorban új, jelenleg is üzemelő hulladéklerakókon végzett mérések eredményeivel rendelkezünk. Ezek az eredmények nem használhatók fel régi, felhagyott hulladéklerakókra, egyrészt mert a lerakott hulladék minőségében, összetételében bizonyosan jelentős különbségek vannak, másrészt ezek a vizsgálatok egyedi, egy adott lerakóra vonatkoznak, általánosítani természetesen lehet, de ez olyan nagy bizonytalansággal jár, hogy az adatok felhasználása irreális képet mutatna.

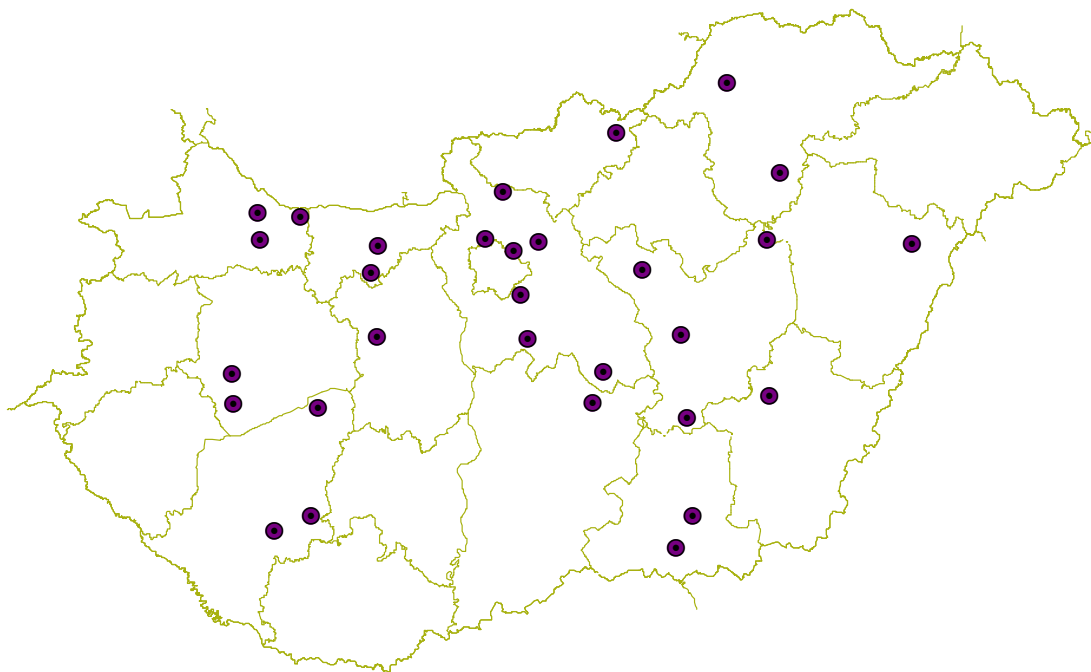
A rekultivációt megelőző környezetvédelmi felülvizsgálatok általában kitérnek a lerakott hulladék összetételére, azonban ezek legtöbb esetben nem vizsgálati úton meghatározott adatok, hanem becslést értékel.

Minden lerakó más, az eddigi tapasztalataim nem mutatnak egységes képet, azonban valószínűsíthető, hogy a lerakott hulladék körülbelül 10-20 %-a újrahasznosítható.

A hasznosítás módja sokféle lehet, azonban ez nem jelenti azt, hogy a hasznosításnak (rostálás, aprítás, komposztálás stb.) ne lenne költsége. A hasznosítás költségét egy lerakóra vonatkoztatva a kiindulási paraméterek hiányában nem lehet megadni.

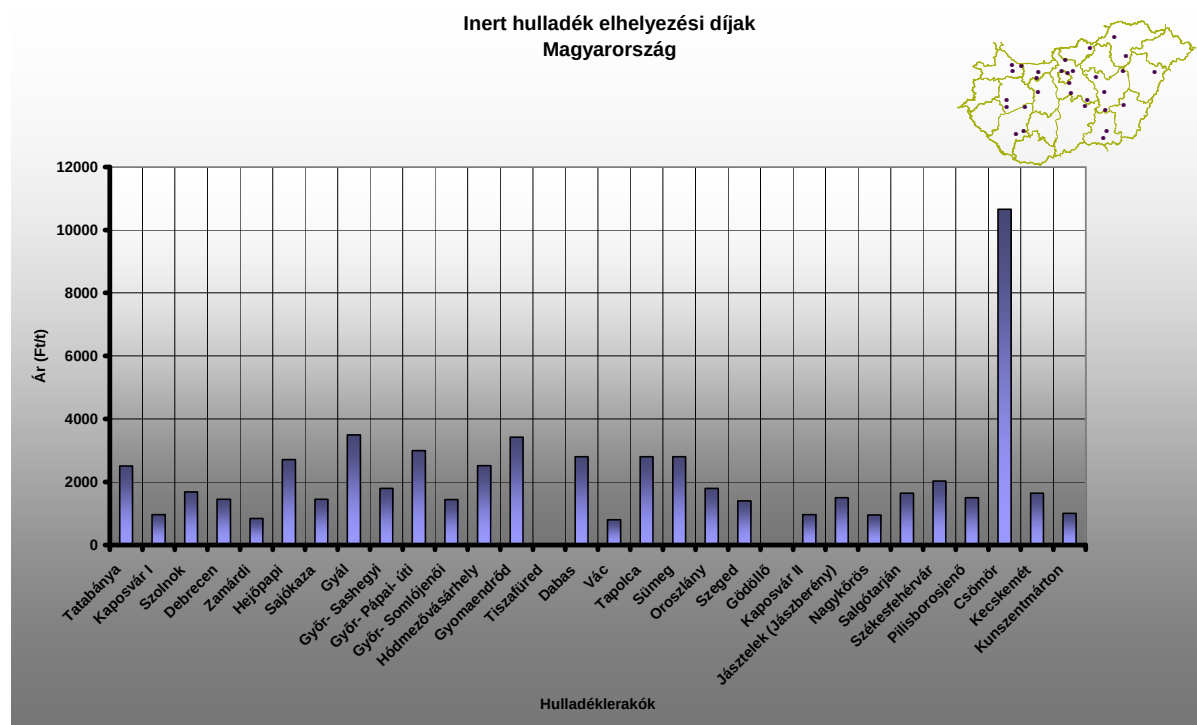
5.6.2. Inert hulladékok átvételi díjai

Az előzőekben leírtaknak megfelelően, foglalkozni kell az inert hulladékok átvételi díjaival is. A felmérésünk során összesen 30 hulladéklerakó inert hulladék átvételi díját dolgoztam fel, a lerakók eloszlását az **5.22. ábra** mutatja be.



5.22. ábra
A felmérés során megkérdezett hulladéklerakók elhelyezkedése
Inert hulladékok

Az inert hulladékok átvételi díjait mutatja be az **5.23. ábra**.



5.23. ábra
Lerakóhelyi díjak alakulása a megkérdezett hulladéklerakókon
Inert hulladékok (Magyarország)

Az inert hulladékok átvételi díjai értelemszerűen alacsonyabbak, mint a nem veszélyes hulladékok díjai, átlagosan **2.000 Ft/t**. A költségbecslésem során nem számoltam a felszámolás során keletkező inert hulladékkal.

5.7. Szállítási költségek

A szállítási költségek nem mutatnak nagy szórást. Az ajánlatkérések során kapott árak 18-21 Ft/t/km között változtak. Az elmúlt időszakban bekövetkezett drasztikus üzemanyagár emelkedés hatására azonban a szállítási költségek emelkedése várható.

A tanulmányban **20 Ft/t/km** árral számoltam.

5.8. A munkavégzés költségei

A munkavégzésre az alábbi árakkal számoltam a tanulmány készítése során:

Rakodás: 130 Ft/m³;

Hulladék mozgatás 500 m-en belül: 360-380 Ft/m³;

Hulladék tömörítés 130 Ft/m²;

Kiegyenlítő, gázgyűjtő, szivárgó, rekultivációs réteg beépítés: 180 Ft/m²;

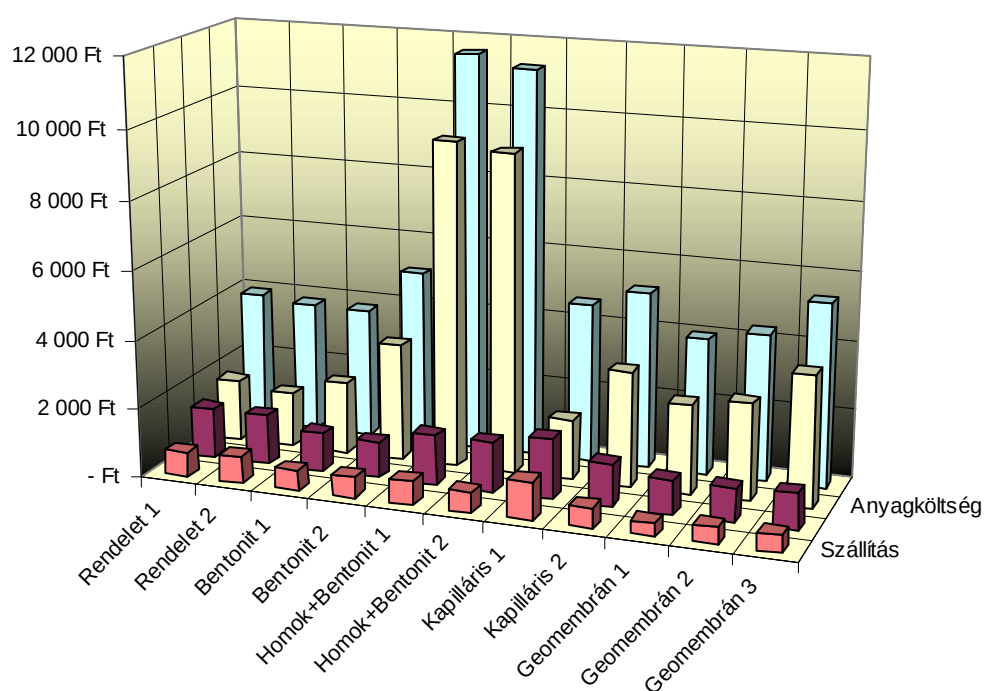
Agyag beépítés, tömörítés: 280 Ft/m³;

Fűvesítés: 90 Ft/m².

5.9. A költségszámítás módszertana

A rekultivációk különböző módjainak költségbecslését a korábbi fejezetben ismertetett lezárási rétegrendek közül a hazai viszonyok között a rendeletileg szabályozott, ill. azzal egyenértékű, már alkalmazott, vagy várhatóan alkalmazásra kerülő rétegrendekre készítettem el.

Néhány évvel ezelőtt már elkészítettem egy hasonló költségbecslést (SZABÓ A., 2004., 2005.), amelyben több alternatív megoldás is szerepelt, de azok némelyikéről (Hydrostab[®], kapilláris zárószigetelés, keveréktalajok) bebizonyosodott, hogy hazai körülmények között nem terjedtek el, bár változatlanul jó megoldásnak tartom ezeket. A vizsgálat eredményét az **5.24. ábra** foglalja össze, a vizsgált rétegrendek, alternatívák, részletkérdések az idézett cikkekben megtalálhatók.



5.24. ábra
Egy korábban elvégzett költségelemzés eredményei
(SZABÓ A. 2004, 2005.)

Tekintettel arra, hogy az árak azóta módosultak, a fentiekben ismertetett módon, lényegesen több alapadatra támaszkodóan, ismételten elkészítettem a költségbecslést.

A költségszámítás során a rekultivációs rétegrend becsült költségét adom meg. Ennek megfelelően a költségbecslés nem foglalkozik a tervezési költségekkel, a hulladék rendezésének, a hulladéklerakó átformálásának költségeivel, illetve a korábbi fejezetben részletesen leírt költségtételekkel. Ennek alapvető oka, hogy minden lerakó más és más, nem lehet ezeket a tételeket általánosítani, az egyes modellek közötti összehasonlítást ellehetetlenítené.

A kiindulási célom az volt, hogy Magyarországot régiókra osztva határozom meg a hulladéklerakók rekultivációjának költségét, azonban az árajánlatkérések során az árakban oly mértékű szórást tapasztaltam, amely a régiókra bontást ésszerűtlenné tenné. Belátható

azonban, hogy a rekultivációk költsége nagymértékben függ a lezáró réteggként beépíteni kívánt anyagok előfordulásának és a rekultiválni kívánt lerakó (felszámolás esetében a felszámolandó lerakó és a hulladékot befogadó közötti) távolságától, ezért az egyes rekultivációs modellek kivitelezési költségeit különböző szállítási távolságokra (20; 40; 60; 80; 100 km) határoztam meg.

A nyersanyagok előfordulási helyeit korábban bemutató térkép alapján jól látható, hogy egyes területeken csekély szállítási távolsággal kell számolni (pl. Miskolc, Budapest környékén a bányák sűrűn megtalálhatók, ebből kifolyólag a szállítási távolságok alacsonyak), míg más helyszíneken a szállítási távolságok jelentősek (pl. Duna-Tisza köze, Nyírség, Dél-Dunántúl stb.).

A rézsűn történő rekultiváció költsége magasabb, mint a sík (csekély lejtésű) területen történő rekultiváció, ezért a rézsűk rekultiválásának munkadíját 40 %-kal magasabb áron javasolt kalkulálni.

5.10. Különböző rekultivációs megoldások, lezárási alternatívák becsült költségének összehasonlítása

5.10.1. Felszámolással történő rekultiváció

Számítási alapadatok:

Hulladék ártalmatlanítási díj: 8.000 Ft/t;

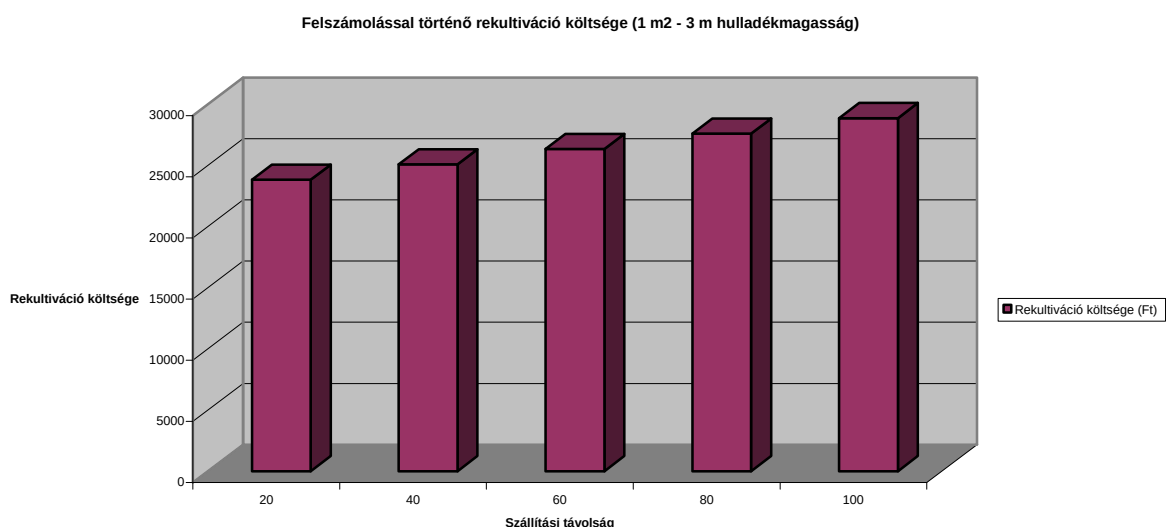
Hulladék magassága: 3 m (1 m²-re jutó hulladékmennyiség 3 m³) ;

Hulladék sűrűsége: 0,9 t/m³;

Beépítendő humuszréteg vastagsága: 30 cm (0,33 m³) ;

Humusz sűrűsége: 1,5 t/m³.

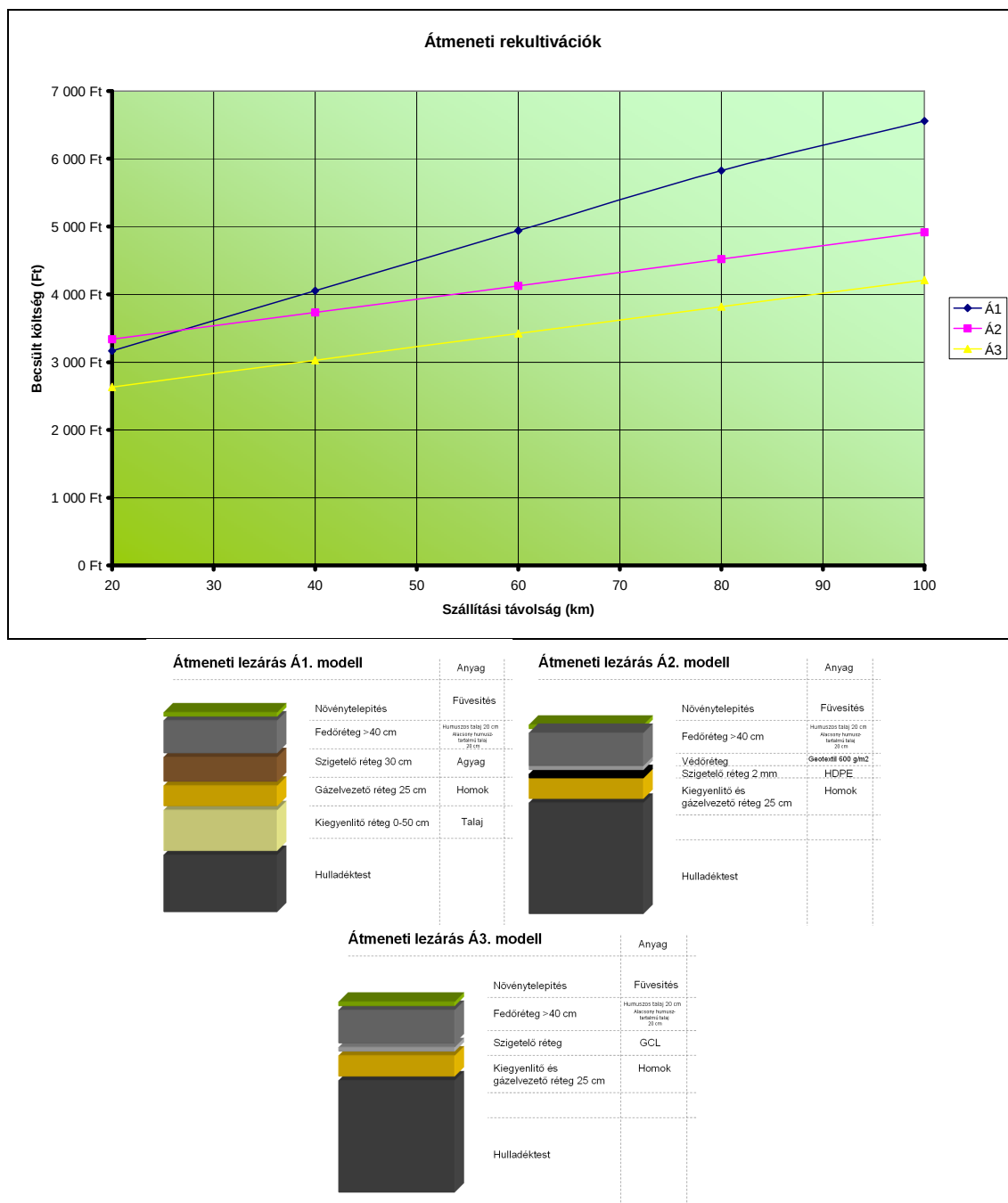
A felszámolással történő rekultivációk költségét az 5.25. ábra szemlélteti.



5.25. ábra
Felszámolással történő rekultivációk költsége

5.10.2. Átmeneti lezárás

Az átmeneti lezárással történő rekultivációs modellek becsült költségeit szemlélteti az 5.26. ábra.



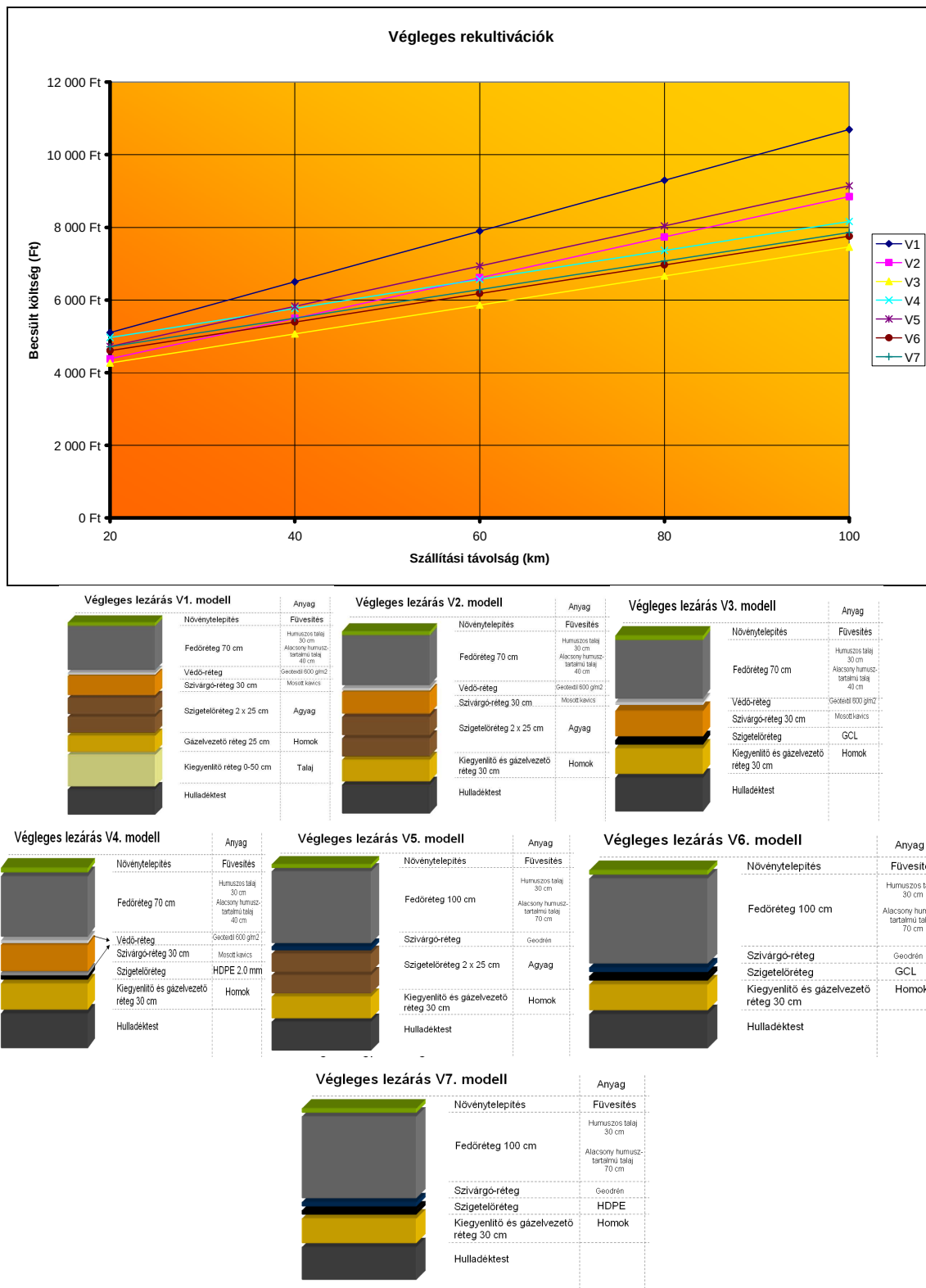
5.26. ábra

Átmeneti lezárással történő rekultivációs modellek becsült költségei

Az összehasonlítás jól szemlélteti a becsült költségek alapján a bentonitszőnyeg alkalmazásának előnyeit, különösen távoli agyagbányák esetén a bekerülési költség különbség jelentős.

5.10.3. Végleges lezárás

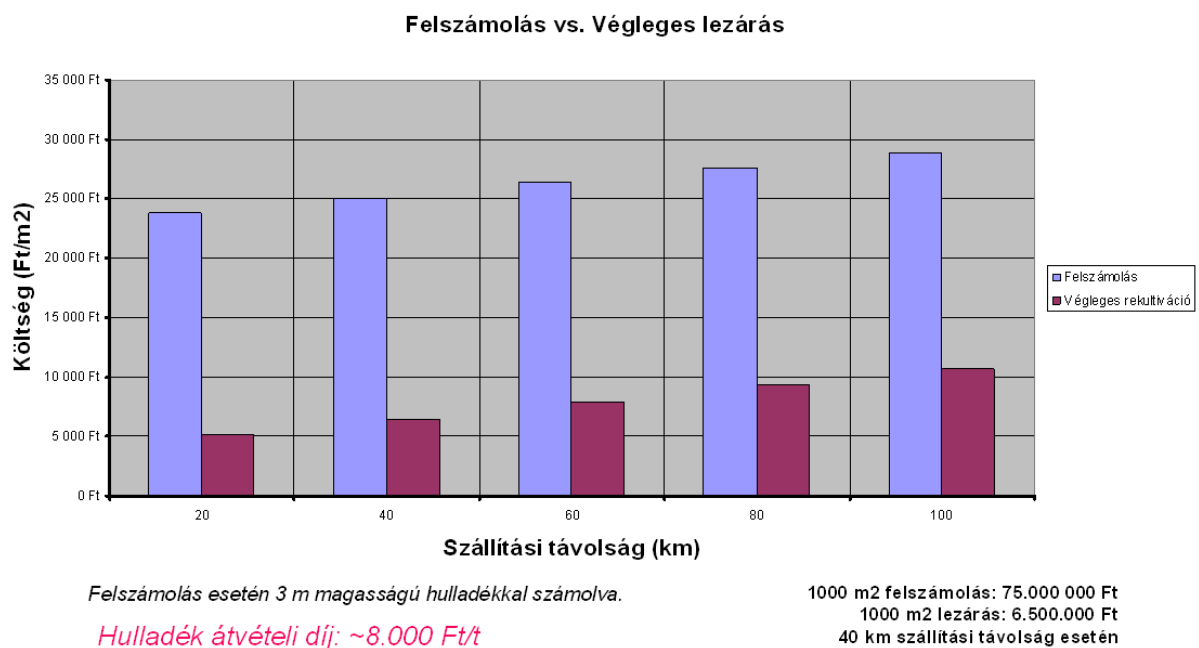
A végleges lezárással történő rekultivációs modellek becsült költségeit szemlélteti összefoglalóan az 5.27. ábra.



5.27. ábra
Végleges lezárással történő rekultivációs modellek becsült költségei

A végleges lezárások becsült költségei viszonylag egységes képet mutatnak. Ennek az egyik oka, hogy hazánkban az ásványi nyersanyag felhasználás jelentős a mesterséges anyagokhoz képest, így a természetes anyagok költségei dominálnak. Ugyanakkor számolni kell azzal, hogy az élőmunka drágulásával a hazai rekultivációs megoldások között is egyre jelentősebb teret fognak nyerni a geoműanyagok.

A hulladéklerakó felszámolása, illetve a helyben történő rekultiváció eldöntése az egyik legmeghatározóbb kérdése a lerakók rekultivációs költségeinek. A helyben történő rekultiváció költsége sokkal kedvezőbb, mint az elszállítással történő rekultiváció (**5.28. ábra**). Elszállítással történő rekultivációt csak azokban az esetekben szabad tervezni, amely esetekben a hulladéklerakó oly mértékben terheli a környezetet, hogy a veszélyeztetést a helyben történő rekultiváció nem tudja megszüntetni.



5.28. ábra

A felszámolás és a végleges lezárás költségeinek összehasonlítása

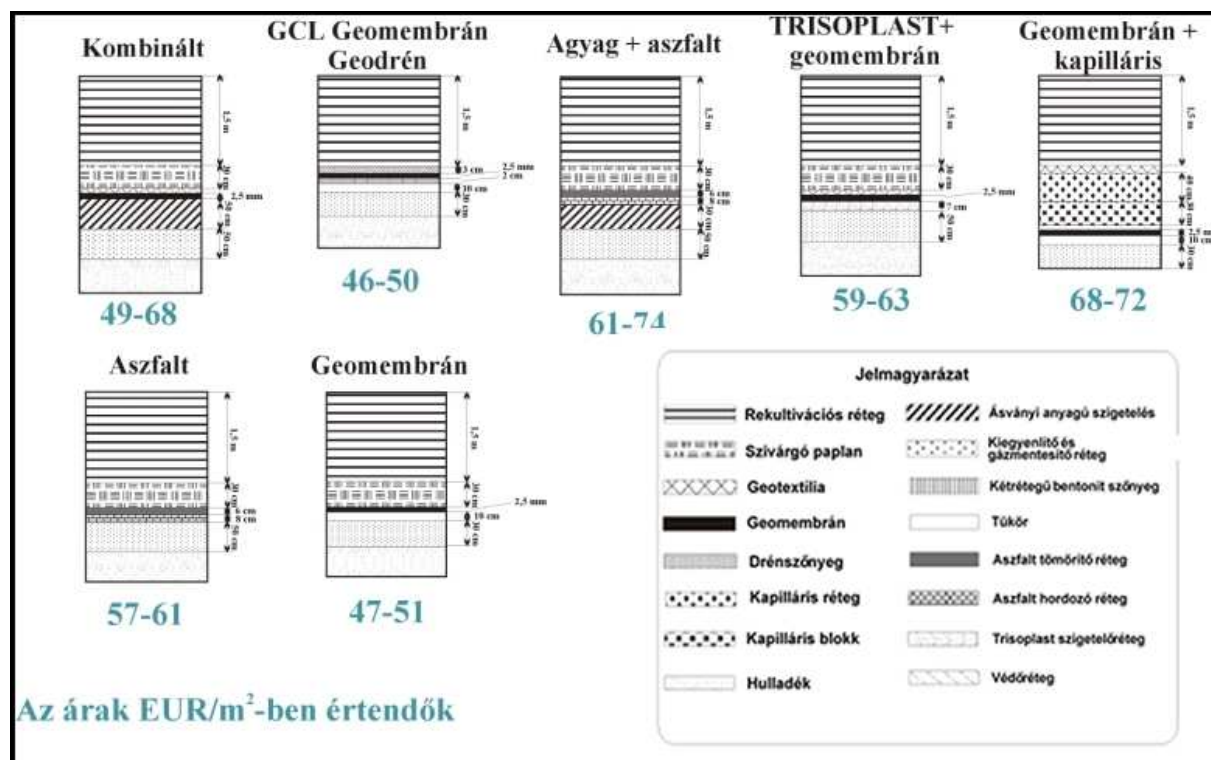
A költségelemzések során nyilvánvalóvá vált, hogy az egyes alternatív szigetelőanyagok más szempontok mellett, költség alapon is reális alternatívát jelentenek a természetes anyagok alkalmazása mellett.

Fontos figyelembe veendő szempont, hogy az elkövetkezendő években a rekultiválandó hulladéklerakók nagy száma miatt az ásványi nyersanyagokra hatalmas igény lesz, és érdemes elgondolkozni azon, hogy szükség van-e a természet erőforrásait az elérendő cél érdekében ilyen mértékben igénybe venni azokban az esetekben, amelyeknél ez más mesterséges anyaggal is megoldható.

Másik fontos probléma a beépíteni kívánt humuszcéteg. Célszerű azon elgondolkozni, hogy a humuszcéteg helyett nem építhető-e be más olyan réteg, amelyben a növényzet megtelepedik. Itt is fontos szerepet kap a tájba illesztés kérdése, amely szerint érdemes-e egy hulladéklerakón sok esetben a tervezők által „megálmodott” változatos növényzetet (már-már szinte „arborétumszerűen” telepíteni, vagy csak az elérni kívánt célnak (kiporzás, erózió megakadályozása) megfelelő növényzetet telepíteni. A hulladéklerakók a legtöbb esetben nem egy adott település központi helyén találhatóak, tehát véleményem szerint a tájba illesztés

kérdése egyszerűen megoldható. Ez az egyszerűség egyben a beépíteni kívánt termőréteggel szemben sem támaszt olyan mértékű elvárásokat, amely szinte kizárólag csak kiváló minőségű humuszréteg beépítését engedélyezi. Nem szabad elfelejteni, hogy regionálisan adott esetben több száz, vagy ezer hektárnyi területről beszélünk, és ezt a terület 30-40 cm humuszréteggel lefedni annyit jelent, mint más, akár más célra használható területről ugyanekkora mértékben (általában a humuszréteg vastagsága nem haladja meg a 30-40 cm-t) a humuszt eltávolítani.

Egy Németországban elvégzett költségelemzés eredményeit mutatja be az 5.29. ábra.



5.28. ábra
A Németországban alkalmazott alternatív szigetelőrendszerek összehasonlítása
(HAUBRICH, 2002.)

Az ábra alapján jól látható, hogy a költségek némileg magasabbak, mint az általam számoltak, azonban figyelembe kell venni azt, hogy a németországi költségelemzés során több rétegből álló rekultivációs szigetelőrendszerrel számoltak, melyek a költségeket értelemszerűen növelik. A költségek különbözőségének másik oka, a németországi munkagép, illetve szakmunkásköltségek magasabb volta. Jól látható azonban, mint azt a hazai is költségelemzések is jól mutatták, hogy az egyes alternatív megoldások egymáshoz viszonyított bekerülési költségei arányaiban hasonlóak a hazai költségek elemzésnél tapasztaltakhoz, az alternatív szigetelőrétegek alkalmazása során jelentős költségkülönbségek nincsenek.

5.11. Összefoglalás

A nagyobb biztonságot jelentő rekultivációs rétegrendek kialakítása értelemszerűen magasabb kivitelezési költséggel jár, míg egy optimalizált rendszer kialakítása minden bizonnyal költséghatékonyabb. Egy hulladéklerakó rekultivációs költségeinek, az egyes költségtényezőknek az alapos ismerete a rekultivációs tervezés szempontjából elengedhetetlen.

Fontos vizsgálni azokat a lehetőségeket, amelyek során a rekultiváció kiviteli költségei csökkenthetőek, hol vannak azok az ún. beavatkozási pontok, ahol ezek a költségek redukálhatók. Általános, de véleményem szerint téves az a nézet, bevett gyakorlat, amely szerint a kivitelezés során érhetőek el a legnagyobb megtakarítások. Valóban érhető el költségcsökkentés a kivitelezés során, azonban ez a megtakarítás valószínűleg nem a terveknek, előírásoknak megfelelő eredményt adja, hanem az eredmény a gyengébb minőség lesz.

A hulladéklerakó felszámolása, illetve a helyben történő rekultiváció eldöntése az egyik legmeghatározóbb kérdése a lerakók rekultivációs költségeinek. A helyben történő rekultiváció költsége sokkal kedvezőbb, mint az elszállítással történő rekultiváció. Elszállítással történő rekultivációt csak azokban az esetekben szabad tervezni, amely esetekben a hulladéklerakó oly mértékben terheli a környezetet, hogy a veszélyeztetést a helyben történő rekultiváció nem tudja megszüntetni.

A költségelemzések során nyilvánvalóvá vált, hogy az egyes alternatív szigetelőanyagok alkalmazása más szempontok mellett, reális alternatívája a természetes anyagok alkalmazásának.

IRODALOMJEGYZÉK

- | | | |
|-------------|--------|---|
| BŐHM et al. | 2007 | <i>Kavicsbányászati technológiák</i>
Bíbor kiadó, Miskolc |
| FÜLÖP J. | 1984 | <i>Az ásványi nyersanyagok története Magyarországon</i>
Műszaki könyvkiadó, Bp, 1984 |
| HAUBRICH E. | 2002 | <i>Oberflächenabdichtungssysteme. Stand der Technik. Systemauswahl-technische und wirtschaftliche Bewertungskriterien</i>
Deponietechnik 2002. Abschlussplanung und Sicherung von Deponien
www.mu.sachsen-anhalt.de/lau.default/htm |
| JUHÁSZ Á | 1987 | <i>Évmilliók emlékei</i>
Gondolat kiadó, Budapest |
| SZABÓ A. | 2004 | <i>Hulladéklerakók zárószigetelési lehetőségei</i>
Mélyépítés, 2004. január-március, pp. 36-41., Springer Media |
| SZABÓ A. | 2005 | <i>Hulladéklerakók zárószigetelő rendszereinek gazdaságossági elemzése</i>
Mélyépítés, 2005. január-március, pp. 21-27., Springer Media |
| SZABÓ A. | 2008/a | <i>Rekultivációs rétegrendek költséghatékony kialakítása</i>
Új előírások a hulladéklerakók szabályos működésére, Konzultáció, szakmai fórum 2008. április 21.
PPT előadás |
| SZABÓ A. | 2008/b | <i>A magyarországi hulladéklerakás helyzete, a lerakók kialakítása, rekultivációja</i>
Hulladéklerakók tervezése, kivitelezése, üzemeltetése – Szakmai Napok
Gépipari Tudományos Egyesület 2008. május 28-30.
PPT előadás |
| SZABÓ A. | 2008/c | <i>Hulladéklerakók rekultivációs költségének meghatározása</i>
Tanulmány |

ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatomban a hulladéklerakók lezárásának módját, lehetőségeit vizsgáltam. Hazánkban az elmúlt másfél évtizedben számos új regionális hulladéklerakó épült, azonban a hátrahagyott több ezer hulladéklerakó rekultivációjára az elkövetkező években kerül sor.

A lerakók bezárását, mint minden létesítményt tervezni szükséges, amelyhez ismerni kell egy adott hulladéklerakó környezetre gyakorolt hatását, kockázatát. Kidolgoztam egy olyan módszert, amely segítségével meghatározható, értékelhető ez a kockázat, és a kockázatok ismeretében pontosan megtervezhető a lerakó lezárása.

A rekultiváció tervezése során nem hagyható figyelmen kívül az „optimális kockázat elve”, amely szerint minden emberi tevékenység bizonyos kockázattal jár. Ezt egy optimálishoz közelítő minimális szintre célszerű csökkenteni, amelyet tudatosan vállalni kell. A tervezésnél meg kell teremteni a környezeti kockázat és rekultiváció bekerülési költségének összhangját.

Az általam készített kockázatelemző módszer a környezet elemeivel, a lerakó létesítményeivel külön-külön foglalkozik.

Az összehasonlíthatóság fontossága abban rejlik, hogy több lerakó egy projektben történő rekultivációja során (hazánkban szinte kizárólag ez a gyakorlat) létre lehet hozni egy prioritási sorrendet, és ez a rekultivációs tervezés során a döntéshozatalt elősegíti. Úgy gondolom, hogy az elkövetkező években elinduló nagy rekultivációs projektek során a bemutatott eljárást hatékonyan lehet alkalmazni.

1. tézis

A hulladéklerakók környezeti veszélyeztető potenciáljának meghatározására egy új komplex kockázatelemzésen alapuló pontozásos módszert dolgoztam ki, az eljárás alkalmazásával lehetőség van a lerakó környezetének, aljzatszigetelő- és csurgalékvízgyűjtő-rendszerének, a depóniagáz veszélyeztető potenciáljának, a hulladék kockázatának és a monitoring rendszer eredményeinek együttes, súlyozott módon való figyelembe vételére, ennek alapján több hulladéklerakó esetében a rekultiváció prioritási sorrendjének a meghatározására.

A hulladéklerakók rekultivációját a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet szabályozza. A hulladéklerakó bezárását követően a hulladéktestben még fizikai, kémiai és biológiai folyamatok zajlanak le, amelyek során depóniagáz képződik, illetve a hulladék konszolidációja során bekövetkezik a depónia süllyedése. Amíg a hulladéklerakóban ezek a folyamatok zajlanak, addig a lerakó lezárását átmeneti rétegrenddel kell megoldani.

A hulladéklerakóban lejátszódó folyamatok metán-oxidációs és infiltrációs eljárással meggyorsíthatók, ezáltal a végleges záróréteget korábban meg lehet építeni.

A zárószigetelésre számos alternatív megoldás kínálkozik, amelyek egyenértékűek a jogszabályban ajánlott agyagszigeteléssel. Hazánkban az agyagszigetelés mellett elsősorban a bentonitszőnyeg, illetve a HDPE fólia alkalmazása terjedt el, illetve vélhetően a későbbiekben is ezeket a fogják beépíteni.

Dolgozatomban bemutattam az evapotranszspirációs zárószigetelést, mint a hulladéklerakók rekultivációjának egyik költséghatékony módját. Ez a szigetelőrendszert azonban csak olyan helyeken lehet használni, ahol a lerakott hulladék összetétele, ezáltal a környezetre gyakorolt hatások ismertek, illetve a lerakó veszélyeztető potenciálja alacsony. Tekintettel arra, hogy ez a megoldás vízzáró szigetelőréteget nem tartalmaz, a csapadékvíz bejutását evapotranszspirációs úton csökkenti, azonban nem akadályozza meg teljes mértékben! A

rekultivációs réteg műszaki paramétereit, illetve a felhasznált növénytakarót a meteorológiai adottságokat messzemenően figyelembe véve, egyedileg kell megtervezni.

2. tézis

A nemzetközi irodalmi adatok és gyakorlat, valamint a hazai gyakorlat alapján meghatároztam a Magyarországon leginkább számításba jövő egyenértékű alternatív zárószigetelő rendszereket. A gyakorlatban szerzett tapasztalataimon keresztül bemutattam az egyes szigetelő rendszerek előnyeit és hátrányait.

A hazai hulladékgazdálkodási gyakorlatot ismerve megállapítható, hogy az újonnan épült hulladéklerakók rekultivációjának központi kérdése a hulladéklerakók rézsúállékonyságának kérdése. A hulladéklerakót üzemeltető vállalkozások a lerakót legtöbb esetben – a lerakó minél nagyobb kapacitásának kihasználása érdekében – igen meredek rézsűkkel építik. Ezek a meredek rézsűk a rekultiváció, illetve az utógondozás során állékonysági kérdéseket vetnek fel. Egyes esetekben az a kérdés is felmerül, hogy a meglévő meredek rézsűszögek mellett egyáltalán biztonságosan rekultiválható-e a hulladéklerakó.

A számítások igazolták a várakozást, a valós viszonyokat jobban megközelítő inhomogén, rétegzett depóniatest mellett a véletlenszerűen választott nyírószilárdsági paraméterekkel számítva az állékonyságot minden esetben nagyobb biztonsági tényező értékek adódtak, mint a nemzetközi tervezési gyakorlatban ajánlott konstans nyírószilárdsági paraméterek esetében. A számítások azt mutatták, hogy még 40°-os hajlásszög mellett sem csúszik meg a depónia, de ebben az esetben a rekultiváció során ajánlott a biztonságot növelő további beavatkozások megtétele.

3. tézis

Az általam végzett számítások igazolták a várakozást, a valós viszonyokat jobban megközelítő inhomogén, rétegzett depóniatest mellett a véletlenszerűen választott nyírószilárdsági paraméterekkel számítva az állékonyságot minden esetben nagyobb biztonsági tényező értékek adódtak, mint a nemzetközi tervezési gyakorlatban ajánlott konstans nyírószilárdsági paraméterek esetében.

4. tézis

A hagyományos módszerrel méretezve egy 30 méter magas hulladéklerakó rézsűjének a megengedhető hajlásszöge 26-28°, míg az általam javasolt módszert alkalmazva 95%-os valószínűségi szint mellett még a 35°-os hajlásszög is megengedhető. A 7-9 fokos oldalhajlás növelés megnöveli a depónia hasznos térfogatát, ezáltal a lerakható hulladék mennyiségét, amely számottevő gazdasági előnnyel jár. A számításaim azt mutatták, hogy még 40°-os hajlásszög mellett sem csúszik meg a depóniatest, de ebben az esetben a rekultiváció során ajánlott a biztonságot növelő további beavatkozások elvégzése. A gyakorlatban a 40-45 fokos oldalhajlás kialakítása általában nem javasolható, mert itt már a zárószigetelő rendszerrel lesznek állékonysági, megcsúszási, kivitelezési problémák.

A hulladéklerakók optimális lezárási rétegrendjének tervezésénél elengedhetetlen a vízháztartási vizsgálat elvégzése. A vizsgálat célja, hogy különböző zárószigetelési rétegrendek esetén meghatározzuk a számításba jövő rekultivációs rétegrendek hatékonyságát. A modellvizsgálat segítségével összehasonlíthatóvá válnak az egyes alternatív lezárási rétegrendek, ami alapján kiválasztható egy adott hulladéklerakó lezárásának leghatékonyabb rétegrendje.

Vízháztartási modellvizsgálatokat végeztem a leginkább elterjedt alternatív lezárási rétegrendekre, a kapott modellvizsgálati eredményeket összehasonlítottam a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendeletben előírt rétegrendre. Arra az eredményre jutottam, hogy a vizsgált alternatív megoldások alkalmazhatóak, a jogszabály előírásával teljes összhangban vannak.

Esettanulmányon keresztül mutattam be az evapotranszspirációs rétegrend alkalmazásának lehetőségét, amely során egy pernyetározó lezárását vizsgáltam. A vizsgálati eredmények azt mutatták, hogy az evapotranszspirációs rétegrend alkalmazható, azonban a tervezés során külön gondot kell fordítani a humuszréteg minőségi paramétereinek, illetve a telepített növények fajtájának meghatározására.

A vízháztartási egyenletben az evapotranszspiráció a legmeghatározóbb tényező, a lehullott csapadék átlagosan 80 %-a távozik evapotranszspirációs úton a rendszerből. Az evapotranszspirációt jelentős mértékben befolyásolja a telepített növényzet fajtája, állapota, illetve a növények táptalajául szolgáló talajréteg.

5. tézis

Megállapítottam, hogy a Visual HELP® adatbázisában szereplő és az OMSZ adatbázisában található adatok között lényeges az eltérés, amely különbség a lefuttatott vízháztartási modell eredményét befolyásolja, ezért javaslom, hogy egyedi lerakó tervezéseknél a beépített meteorológiai adatbázis helyett a hazai meteorológiai állomások idősorainak használatát, ami az elmúlt évtizedben tapasztalható klímaváltozás ismeretében különösen fontos.

6. tézis

Modellszámításokkal igazoltam, hogy az általam javasolt alternatív zárószigetelő anyagok hatékonyan alkalmazhatók hulladéklerakók zárószigetelésének rekultivációja során. A vizsgált alternatív anyagok használatával készített modellek eredményei azt bizonyítják, hogy a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet által megkívánt szigetelőképesseggel rendelkeznek, azok teljes mértékben egyenértékűek az agyagból épített szigetelőréteggel, a csapadékból történő utánpótlódással szemben megfelelő szigetelést biztosítanak. A vizsgálataim bebizonyították az evapotranszspiráció, mint a hulladéklerakók vízháztartásában szereplő egyik tényező, kiemelt fontosságát. Modellszámításokkal igazoltam, hogy a lehulló csapadék jelentős része távozik evapotranszspiráció útján, ezért a zárószigetelés során felhasznált humuszréteg (mint az evapotranszspirációban döntő szerepet játszó növényzet táptalaja) minősége, és a megfelelően kiválasztott növényzet szerepe a rekultiváció során döntő jelentőségű.

7. tézis

7/1.

Az általam elvégzett evapotranszspirációs modellezések azt igazolták, hogy a 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet szerinti lezárással mellett is van átszivárgás a záró-szigetelő rendszeren, aminek a mennyisége a lehulló csapadék 12-13 %-a. A modellszámítások értelemszerűen nem tudják figyelembe venni azt, hogy idővel ez a bejutó csapadékmennyiség a szigetelőrendszer romlásával, „öregedésével” nő, és a tapasztalatok szerint elérheti a lehulló csapadék 20-25 %-át is.

7/2.

A vízháztartási vizsgálataim azt mutatták, hogy pernyetározó esetében az evapotranszspirációs zárószigetelés megengedhető alternatíva, mert a csapadékból bejutó vízhozam-többlet -megfelelően választott vegetáció esetében- nem haladja meg 0,5-1,0 százalékot. Ez a differencia (vízhozam-többlet) sokkalta kisebb, mint amit egy hibásan kivitelezett, vagy meghibásodó szigetelőrendszerrel várhatunk. Az általam vizsgált

evapotranspirációs zárószigetelő rendszernél a csurgalékvíz átjutási ideje valamivel kisebb (10-20 %), mint a rendelet szerinti lezárás esetében várható.

7/3.

A számításaim azt mutatták, hogy a pernye szivárgási tényezőjének a csökkentése jelentősen csökkentheti a bejutó vízmennyiséget. A vizsgált esetben egy nagyságrendnyi k-tényező csökkenés az alapesethez képest mintegy 30%-os csurgalékvíz redukciót okoz.

7/4.

Az elvégzett modellvizsgálataim azt igazolták, hogy az evapotranspirációs zárószigetelés alkalmazásának alapvető feltétele a humuszcseveg megfelelő minősége és a megfelelően, a meteorológiai adottságok figyelembe vételével megtervezett növényzet.

A különböző rekultivációs módok ismerete mellett, az egyes lezárások költségeinek elemzése elengedhetetlen. A nagyobb biztonságot jelentő rekultivációs rétegrendek kialakítása értelemszerűen magasabb kivitelezési költséggel jár, míg egy optimalizált rendszer kialakítása minden bizonnyal költséghatékonyabb.

Fontos vizsgálni azokat a lehetőségeket, amelyek során a rekultiváció kiviteli költségei csökkenthetőek, hol vannak azok az ún. beavatkozási pontok, ahol ezek a költségek redukálhatók. Általános, de véleményem szerint téves az a nézet, bevett gyakorlat, amely szerint a kivitelezés során érhetőek el a legnagyobb megtakarítások. Valóban érhető el költségcsökkentés a kivitelezés során, azonban ez a megtakarítás valószínűleg nem a terveknek, előírásoknak megfelelő eredményt adja, hanem az eredmény a gyengébb minőség lesz. A hulladéklerakó felszámolása, illetve a helyben történő rekultiváció eldöntése az egyik legmeghatározóbb kérdése a lerakók rekultivációs költségeinek.

A költségelemzések során nyilvánvalóvá vált, hogy az egyes alternatív szigetelőanyagok más szempontok mellett, reális alternatívái a természetes anyagok alkalmazásának.

8. tétel

A hulladéklerakók rekultivációs költségeinek elemzése során megállapítottam:

8/1.

A költségbeli különbségeket hazai viszonyok mellett elsősorban a szállítás, azaz az anyagnyerőhelytől való távolság határozza meg.

8/2.

Átmeneti rekultivációk esetén a leginkább költséghatékony megoldás a bentonitszőnyegek alkalmazása.

8/3.

Bebizonyítottam, hogy a végleges lezárások esetében a költséghatékonyaság szempontjából az alternatív szigetelők (bentonitszőnyeg, HDPE fólia), illetve az alternatív szivárgók (geodrének) a legkedvezőbbek.

8/4.

Költségelemzéssel igazoltam, hogy a helyben történő rekultiváció költsége lényegesen kedvezőbb, mint az elszállítással történő rekultiváció. Elszállítással történő rekultivációt csak abban az esetben célszerű tervezni, amikor a hulladéklerakó környezeti terhelése oly mértékű, hogy a helyben történő rekultiváció ezt a terhelést egyáltalán nem, vagy csak hosszú távon tudja megszüntetni.

SUMMARY

Several new regional landfills were built in the last 15 years in Hungary, but a lot of old landfills must be remediated soon. In my dissertation I try to answer the topical questions related to landfill remediation, temporary and final closure, based on my test, design and construction experiences. Besides, I would like to help getting results by further examinations, where we have not found any yet.

Landfill closures - just like buildings and other structures - must be designed, which needs a lot of information about the environmental effects and risks. I developed a method by which these risks can be determined and evaluated. By the remediation design the so-called "optimal risk principle" cannot be ignored, which says, all human activity is accompanied by risks to a certain extent. This risk must be reduced to an optimal-approaching minimum, but knowingly taken level. Environmental risks and remediation costs must be harmonized.

My risk analyst method deals with parts of the environment and the landfill one at a time. Significance of comparability resides in the possibility to make a priority order by remediating several landfills under one single project, which assists decision making. I think this method will be efficiently applicable by large remediation projects starting in the next few years.

Remediation of landfills is regularized by the 20/2006 (IV.5.) KvVM decree. After closure of the landfill in the waste body itself there are still gas-generating physical, chemical and biological processes. Besides through waste consolidation landfill settlement occurs. Until these processes are running, only temporary closures are allowed. Landfill processes can be accelerated by methane-oxygenating or infiltration methods, so that final cover system can be built earlier.

There are a lot of possibilities of alternative cover systems, which are equivalent with the order of layers suggested by law. In Hungary GCL-s and HDPE geomembranes are and probably will be widespread applied besides the CCL-s.

In my thesis work I introduced the so-called evapotranspiration cover liner system, as a cost efficient possibility of landfill remediation. This method can be used only by landfills of known waste-composition, so thus the effects on the environment are clear, and the hazard potential of the landfill is low. Considering, that this solution contains no hydraulic barrier layer, infiltrating of precipitation is reduced by evapotranspiration (but insulates not fully!), the technical parameters of remediation layer, and the applied vegetation must be planned uniquely based on the meteorological circumstances.

By the remediation of newly built landfills, the main question is the slope stability of landfill slopes. The concerns operating these landfills form the slopes with large angles because of higher volumetric capacity. Remediation and post-maintenance of these steep slopes means new professional challenge, and raises a lot of problems. In certain cases the question is that, is there any chance whatsoever to remediate the landfill safely?

There is no worked out routine, so if necessary, they handle the waste body as earth slopes. These problems have the same mechanical background, but there is an essential difference: earth slopes usually consist of quasi-homogeneous soil, but analysis of varying physical parameters of wastes is very difficult and expensive.

It is in the above mentioned features, that results of the slope stability analysis are determined principally by the input parameters Safety factor can not be characterized by only one

calculated number, but by the probability of breaking instead. Our goal was to develop a method suitable to determinate the probability of an expected safety factor.

Water balance analysis of landfills is essential by the planning of the optimal order of layers in the cover systems. The aim of this analysis during remediation is to determine the efficiency of the different potential alternative cover systems. By this model-analysis the alternative order of layers become comparable, and the most efficient system can be chosen. My goal was to analyse the possibilities of the use of alternative cover systems. The present legal regulation allows the replacement of the prescribed order of layers only by an equivalent other one. Assumption of equivalency is basically hydraulic equivalency. Based on the above water balance analysis was performed for the most widespread alternative cover systems, and the results were compared to the ones of the order of layers according to the 20/2006 (IV.5.) KvVM decree. I came to the conclusion, that the proposed alternative solutions are applicable and are corresponding with the regulations of law.

In international practice the use of evaporation cover system occurred as a possibility in the last decade. I think this is a potential cost-efficient solution by final cover systems of landfills, but only in certain circumstances. I analysed the possibility of the use of evaporation cover system through a water balance analysis of a fly-ash landfill cover system. The results showed that this system is applicable, but quality of the topsoil, and determination of types of plants must be prepared with meticulous care.

The different remediation methods must be analysed based on their costs also, besides equivalency. Higher safety means higher construction costs, so choosing an optimised solution will be more cost-efficient. It is important to analyse the possibilities and intervention points of reducing expenses. Popular, but in my opinion false is that theory, that the higher savings can be obtained during construction. Cost-reducing can really be realized during implementation, but this usually results in wrong quality, and accords not to the regulations. The decision between eliminating the landfill and the on-site remediation is the most dominant question of the remediation costs of landfills. The performed cost-analysis showed that alternative liners are potential solutions based on cost-efficiency also, beside other aspects.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet nyilvánítani témavezetőmnek **Dr. Némedi Varga Zoltán** egyetemi tanárnak, édesapámnak **Dr. Szabó Imrének** a tudományos munkám során adott számos hasznos tanácsért, javaslatért, a szakmai segítségért. Köszönöm családomnak, szeretteimnek a sok türelmet, amellyel jelen dolgozat elkészítését segítették. Köszönetemet szeretném kifejezni továbbá kollégáimnak a Hidrogeológiai- Mérnökgeológiai Tanszék minden dolgozójának.

A TÉMÁVAL KAPCSOLATOSAN KÖZREADOTT PUBLIKÁCIÓK

2002. ***The impermeability of bentonite sand liners in practice***
Medzinarodnej Konferencije Doktrandov a Mladych Vedeckych
Pracovníkov Herlány (SK), 2002. április 8-9.
2002. ***Field and laboratory experiences related to mineral barriers of waste disposal sites***
12th Danube-European Conference, Passau , 2002. május 25-28.
Társszerző(k): Szabó I.
2003. ***A HDPE és EPDM geomembránok összehasonlító vizsgálata a környezetvédelmi alkalmazhatóság szempontjából***
XVII. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás,
Siófok, 2003. szeptember 23-25.
Társszerző(k): Szabó I., Imre S.
2003. ***Zárószigetelések alternatív megoldási lehetőségei***
X. Ipari Környezetvédelem Konferencia és Szakkiállítás, Siófok,
2003. október 28-29.
2004. ***Hulladéklerakók zárószigetelési lehetőségei***
Mélyépítés , 2004. január-március, pp. 36-41., Springer Media
2005. ***Magyarországi hulladéklerakók rekultiválási lehetőségeinek összehasonlítása szakmai és gazdasági szempontból***
Ipari Környezetvédelem Konferencia és Szakkiállítás, Lajosmizse,
2005. március 21-23.
2005. ***Hulladéklerakók záró szigetelőrendszereinek gazdaságossági elemzése***
Mélyépítés, 2005. január-március, pp. 21-27., Springer Media
2005. ***Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelése***
Mélyépítés, 2005. október-december, pp. 20-27., Springer Media
2006. ***Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelése II.***
Mélyépítés, 2006. január-március, pp. 17-31., Springer Media
2006. ***A hulladéklerakók helyzete Magyarországon, a rekultiváció műszaki megoldásai***
A Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat,
69.kötet, 2006. pp. 331-350.
Társszerző(k): Szabó I
2006. ***Risk based performance assesment of Geosynthetic Clay Liners***
Depotech 2006, Tagungsband zur 8. Depotech Konferenz, VGE
Verlag GmbH, Essen, 2006, pp. 429-432.
Társszerző(k): Szabó i, Tóth A, Madarász T.

2007. ***A hulladéklerakók helyzete Észak-magyarországon, a rekultiváció műszaki megoldásai***
Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek, III. évfolyam, 2.szám,
2007. pp. 60-78.
Társszerző(k): Szabó I, Czél I
2007. ***The current state and future plans of closure and remediation of old landfills in Hungary***
Proc. of XVIII. EYGEC, Ancona, Italy, CD-ROM
2007. ***Current state and future plans of closure and rehabilitation of old landfills in Hungary***
II CONGRESO INTERAMERICANO DE RESIDUOS
SÓLIDOS, Viña del Mar – CHILE, konferencia kiadvány
Társszerző(k): Szabó I, Kiss G
2007. ***Illegális hulladéklerakók felmérése Budapesten***
Mélyépítés, Springer Media Kiadó, pp. 19-23.
Társszerző(k): Tóthné Nick D.
2007. ***Rekultiváció a hulladéklerakók bezárása után***
Mélyépítés, Springer Media Kiadó, pp. 20-23.
Társszerző(k): Szabó I, Czél I
2008. ***Hulladéklerakók állékonyságvizsgálata***
Mélyépítés, Springer Media Kiadó, /megjelenés alatt/
Társszerző(k): Szabó I, Faur K.