

**MISKOLCI EGYETEM**

**Környezetgazdálkodási Intézet**

**Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Tanszék**

**GAZDASÁGOS ALTERNATÍV ZÁRÓSZIGETELÉSI  
RENDSZEREK VIZSGÁLATA**

**OTKA zárójelentés**

**T 043179**

*Témavezető:*

*Dr. Szabó Imre*

*tanszékvezető egyetemi tanár*

**Miskolc, 2007. február 28.**

## 1. A LERAKÓ FELÜLVIZSGÁLATA

### 1.1. A rekultiváció megkezdése előtt elvégzendő vizsgálatok

A rekultiváció feladatainak, műszaki megoldásainak meghatározása előtt mindenképpen szükség van a lerakó és környezete felmérésére, felülvizsgálatára. Különösen fontos ez a munkafázis a régi, műszaki védelemmel egyáltalán nem rendelkező lerakók esetében.

A lerakó felmérésénél a vizsgálandó paraméterek többségét tulajdonképpen meghatározza a 20/2006 (IV.5.) Korm. rendelet, ha figyelembe vesszük a rendeletnek a lerakó létesítésére, kialakítására vonatkozó követelményrendszerét (lásd a rendelet 3.§-ában leírtakat).

Ahhoz, hogy a lerakó veszélyeztető potenciálját, környezeti kockázatát meg tudjuk határozni minimálisan szükségünk van az alábbi adatokra:

Az üzemi viszonyokra vonatkozó adatok:

- az üzemeltetés kezdete,
- az üzemeltetés vége,
- a lerakott hulladék fajtája, összetétele,
- az éves lerakás mennyisége,
- a lerakó által használt terület,
- a depónia mélysége (medencés lerakás esetén),
- a depónia magassága,
- a lerakott hulladék átlagos vastagsága,
- műszaki kiépítettség, gépek,
- a tömörítés, beépítés módja,
- rendezettség.

A műszaki kialakításra vonatkozó adatok:

- az aljzatszigetelő rendszer felépítése,
- lezárás, zárószigetelés kialakítása,
- ideiglenes, napi takarás,
- a csapadékvíz elvezetés,
- a csurgalékvízgyűjtő rendszer kialakítása,
- a csurgalékvíz kezelése,
- depóniagáz gyűjtés, hasznosítás.

A természeti adottságokra vonatkozó adatok:

- talajrétegződés, földtani, hidrogeológiai viszonyok,
- az altalaj vízzárósága, szivárgási tényezője,
- talajvíz terepszint alatti mélysége,
- vízbázistól, potenciális vízbázistól ill. annak kijelölt, vagy kijelölés alatt álló védőidomától való távolság, az esetlegesen meglévő hidrogeológiai „A” ill. „B” védőterület távolsága/viszonya a lerakótól/lerakóhoz,
- legközelebbi felszíni víz távolsága,
- belvíz-, árvíz-veszélyeztetettség (18/2003. (XII.9.) KvVM-BM egy. rend),
- a terület szennyeződésérzékenységi kategóriája (219/2004(VII. 21.) Korm. rendelet),
- természetvédelmi területektől való távolság,
- lakóterülettől, beépített területtől való távolság.

Annak érdekében, hogy a lerakó bezárásáról, annak módjáról, az egyidejűleg bezárandó lerakók közötti sorrendről, prioritásról dönteni tudjunk, az előző fejezetben ismertetett paraméterek értékelésénél szükségünk van azok számszerűsítésére is. A következőkben az általunk kidolgozott, több paramétert súlyozottan figyelembe vevő kockázatelemzéses módszert (SZABÓ A. 2005, 2006), amennyiben a lerakóról széleskörű információval rendelkezünk.

Az általunk kidolgozott eljárás egy több paraméteres egyszerűsített kockázatelemzésen alapuló módszer, ami viszonylag sok, és a mai gyakorlatban alkalmazottnál több, paraméter felhasználását, ismeretét kívánja meg, de ugyanakkor az adatok alapján pontosabban tudjuk megbecsülni a lerakó környezetre gyakorolt hatását.

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

Az értékelő folyamat főmoduljai a következők:

- A lerakó területének értékelése
- Az aljzatszigetelő rendszer hatékonysága
- A csurgalékvízgyűjtő rendszer hatékonysága
- A deponált hulladék környezeti kockázata
- A monitoring rendszer eredményeinek értékelése
- A depóniagáz veszélyeztető potenciálja.

A módszer alkalmazása elsősorban az inert- és kommunálshulladék-lerakók esetében javasolt.

*1. főmodul: A lerakó területének az értékelése*

A lerakóból esetlegesen kijutó szennyezés terjedésének elsődleges teherviselője a depónia altalaja 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 osztottuk, 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 főmodulban a lerakó értékelése az alábbi almodulokban történik:

- A lerakó elhelyezkedése;
- A lerakó altalaja;
- A talajvíz felszín alatti mélysége;
- Vízbázisvédelmi szempontok;
- A terület szennyeződés-érzékenysége;
- Felszíni vizek és vízfolyások távolsága.

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

**1.1. táblázat**

A hulladéklerakó elhelyezkedése		Adható pontszámok	Minimum kritérium	Maximum kritérium
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

A hulladéklerakó elhelyezkedése II.		Adható pontszámok	Minimum kritérium	Maximum kritérium
A lerakó altalaja	Agyag	0-3	közepes, kövér 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 hidrológiai '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

## 2. főmodul: Az aljzatszigetelő rendszer értékelése

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. főmodulban a lerakó értékelése az alábbi almodulokban történik:

- Az aljzatszigetelő rendszer megléte, felépítése, természetes anyagú-, mesterséges anyagú-, kombinált szigetelő rendszer
- Az aljzatszigetelő meghibásodását észlelő rendszer

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

1.3. táblázat

Az aljzatszigetelő rendszer értékelése		Adható pontszámok	Minimum kritérium	Maximum kritérium	
I. A hulladéklerakó épített szigeteléssel nem rendelkezik	A lerakó altalaja	Vízzáró, műszaki védelmet ellát	3-5	minimálisan 1 m 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

### 3. főmodul: A csurgalékvízgyűjtő rendszer értékelése

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

1.4. táblázat

A csurgalékvízgyűjtő rendszer értékelése		Adható pontszámok	Minimum kritérium	Maximum kritérium
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 főmodulban adható maximális pontszám: 16 pont

A főmodulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,75

#### 4. főmodul: A lerakott hulladék értékelése

A 4. főmodulban a lerakó értékelése az alábbi részterületeken történik:

- A hulladék összetétele
- A hulladéklerakás módja
- A deponált hulladék mennyisége
- A lerakott hulladék vastagsága
- A hulladéklerakás kezdete, a lerakó kora

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

**1.5. táblázat**

A lerakott hulladék értékelése		Adható pontszámok	Minimum kritérium	Maximum kritérium
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 <sup>3</sup> alatt	1		
	1.000-10.000 m <sup>3</sup> között	2		
	10.000-100.000 m <sup>3</sup> között	4		
	100.000-300.000 m <sup>3</sup> között	6		
	300.000-600.000 m <sup>3</sup> között	8		
	600.000 m <sup>3</sup> 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 főmodulban adható maximális pontszám: 50 pont

A főmodulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,5

#### 5. főmodul: A monitoring rendszer

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

1.6. táblázat

A monitoring rendszer értékelése		Adható pontszámok	Minimum kritérium	Maximum kritérium
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 alkalomszerűen 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 főmodulban adható maximális pontszám: 15 pont

A főmodulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,75

#### 6. főmodul: A depóniagáz gyűjtése, kezelése

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

1.7. táblázat

A depóniagáz-rendszer értékelése		Adható pontszámok	Minimum kritérium	Maximum kritérium	
A hulladéklerakóban keletkezik(zett) 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	Aktív gázmentesítő rendszer
		Gyűjtött, kezelt	0-2		

A főmodulban adható maximális pontszám: 6 pont

A főmodulhoz tartozó súlyozás értéke: 0,5

#### 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

A hulladéklerakó kockázata a súlyozott maximális pontérték százalékában	Környezeti kockázat mértéke
0-25 %	Alacsony, csekély
26-50 %	Közepes
50-75 %	Jelentős
76-100 %	Nagyon magas

Megjegyzés: Az ismertetett kockázatértékelési rendszer egy sok szempontot figyelembe vevő, komplex értékelő rendszer, amelynek a kipróbálása még csak viszonylag kis számú depónián történt meg. Úgy gondoljuk, hogy az elméleti alapok jók, átgondoltak, kidolgozottak, a pontozásos rendszer valószínűleg további finomításra szorul, de úgy gondoljuk, hogy jelen formájában alapját képezheti a lerakók környezeti kockázata felmérésének.

## 2. MEGLÉVŐ, RÉGI LERAKÓK REKULTIVÁCIÓS KÉRDÉSEI

A Magyarországon rekultiválandó lerakók többsége 1995-2000 előtt létesült, uralkodóan kis lerakók, amelyek mindenképpen bezárásra kerülnek, és a rekultivációnál, a zárószigetelőréteg kialakításánál mind a rendeletből adódóan, mind gazdasági okokból egy józan kompromisszumot kell találni. A kompromisszum mértéke értelemszerűen az előző fejezetben ismertetett felülvizsgálat, kockázatelemzés eredményétől függ, az elsődleges mindig a környezet védelme.

### 2.1. Meglévő, kombinált aljzatszigeteléssel rendelkező régi lerakók rekultivációja

A hulladéklerakót átmeneti felső záró rétegrendszerrel szükséges lezárni a hulladéktest biológiailag lebomló szerves összetevőinek biológiai stabilizálódásáig, de legfeljebb 10 évig.

A végleges felső záróréteg rendszer azt követően építhető ki, hogy a stabilizálódási folyamat a hulladéktestben gyakorlatilag befejeződött. A stabilizálódási folyamat befejeződését a hulladéklerakó-gáz mennyiségének csökkenése, a csurgalékvíz mennyiségének és összetételének változása, illetőleg a hulladéklerakó felszínének megállapodása (a süllyedés megáll) jelzi.

Az átmeneti felső záróréteg rendszer elemei:

Az átmenet felső záró szigetelő rendszer kialakítására vonatkozó ajánlások, mintaszelvények, megvalósult megoldások a **3.2. fejezetben** találhatóak.

A rekultiváció végleges felső záró rétegének felépítése és funkciója

A kombinált aljzatszigetelő rendszerrel rendelkező régi lerakók rekultivációjánál alkalmazható felső lezáró szigetelésének rétegrendjét a *javasolt alternatív megoldásokkal* a **2.1. ábra** mutatja be.

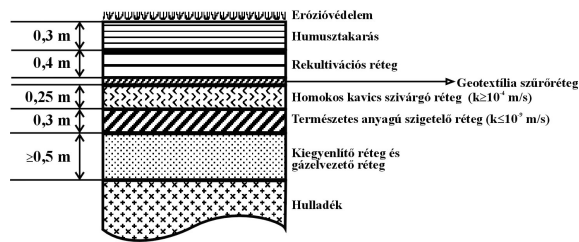
### 2.2. Meglévő, műszaki védelem nélküli lerakók rekultivációja

Meglévő, nem veszélyes hulladék lerakására szolgáló, mesterséges szigetelés (geomembrán) nélkül létesült hulladéklerakó vagy hulladéklerakás céljára használt terület esetében indokolt lehet kockázatelemzés és költség-haszon elemzés elkészítésével megvizsgálni, hogy a lerakó rekultivációja megvalósítható-e, vagy fel kell számolni. A lerakó környezetre gyakorolt hatásának a vizsgálatánál az **1. fejezetben** leírtak alapján elvégezhető a vizsgálat és megállapítható, hogy környezeti kockázat szempontjából megengedhető-e a lerakó további működése, van-e olyan rekultiválási technika, szükség esetén esetleg kármentesítéssel kombinálva is, amellyel a lerakó biztonságosan helyben hagyható, vagy ellenkező esetben fel kell számolni.

Ha a lerakó rekultivációjára kerül sor, akkor a **2.1. fejezetben** meghatározott követelményeket kell teljesíteni.



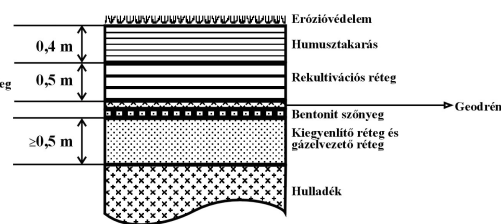
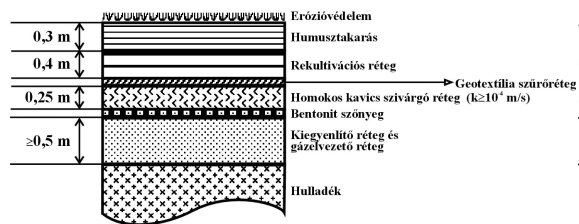
A rendelet szerinti felső záró szigetelőréteg felépítés:



Javasolt alternatív megoldások:

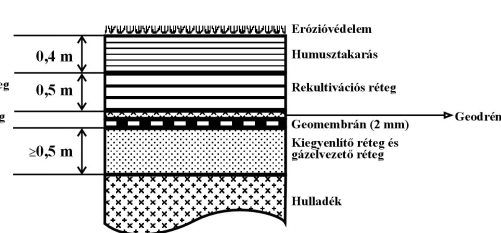
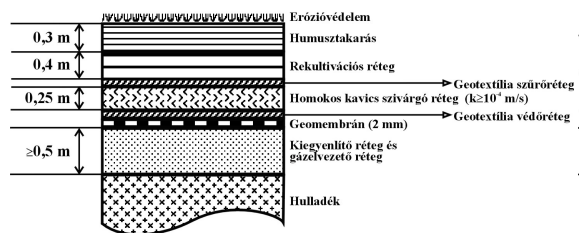
1. Bentonitszőnyeg és kavicsszivárgó alkalmazása

2. Bentonitszőnyeg és geodrén alkalmazása



3. Geomembrán és szűrőkavics alkalmazása

4. Geomembrán és geodrén alkalmazása:



2.1. ábra

A műszaki védelemmel rendelkező régi hulladéklerakók végső lezárásának szigetelőrendszere, illetve a javasolt alternatív megoldások

### 3. A MŰSZAKI VÉDELEMMEL RENDELKEZŐ HULLADÉKLERAKÓK LEZÁRÁSÁNAK KÖVETELMÉNYRENDSZERE

A hulladéklerakónál elérve a végleges magasságot, gondoskodni kell a lezárásáról.

Az érvényes lerakó-rendelet szerint:

- A végleges záró-rétegrendszer rendeltetése a csapadékvíznek a hulladéktestbe való bejutásának megakadályozása, a csurgalékvíz képződésének (és kezelésének) lehetőség szerinti csökkentése, továbbá a környezetbe való potenciális kijutásának megelőzése.
- Az átmeneti záró-rétegrendszer legfontosabb feladata, hogy tegye lehetővé elegendő vízmennyiségnek a hulladéktestbe való bejutását, a hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlásának meggyorsítását és a rendszer stabilizálódását, a végleges záró-réteg kiépítése érdekében. Beépítését indokolja, hogy a hulladék konszolidációja, a lebomlás-stabilizálódás során a lerakó felszínén jelentős süllyedések várhatók, amit a végleges záró-szigetelőrendszer egyenlőtlen süllyedéséhez, repedezéséhez vezetne, ami végül is a szigetelőképeség hatékonyságának jelentős csökkenését eredményezi.

A fentiekből következik, hogy mindazoknál a lerakóknál, amelyekre az új lerakórendelet vonatkozik, a záró-szigetelőrendszer végleges kiépítése időben eltolva, két lépcsőben történik. A stabilizálódás bekövetkezését a lerakó-gáz mennyiségének és összetételének, a csurgalékvíz mennyiségének és összetételének, valamint a

felszínüllyedésnek az idő függvényében történő mérésével lehet értékelni. Ha a *stabilizálódás bekövetkezett*, akkor *ki lehet építeni a végleges záró-réteget*.

### 3.1. A hulladéklerakók átmeneti záró-szigetelőrendszere

A megfelelő hulladékbetöltési-, feltöltési magasság elérése után a lerakó vagy annak egy része bezárásra/lezárásra kerül. Azzal, hogy a lerakót lezárjuk a *hulladék-konzolidáció 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 záró-szigetelőrendszer egyenlőtlen süllyedések miatti tönkremenetelét (funkcionális) megakadályozzuk ill. megelőzzük,
- célszerű a lezárás első fázisában egy ideiglenes, átmeneti záró-szigetelőrendszert beépíteni.

*Inert hulladékok lerakójánál, ill. olyan veszélyeshulladék-lerakóknál, ahol a hulladék lebomlásával, a hulladéktest jelentős konszolidációjával nem kell számolni, ideiglenes záró-szigetelőrendszer megépítése nem szükséges.*

*Az átmeneti záró-szigetelőréteget mindaddig üzemeltetni kell, amíg a hulladéktest biológiai és mechanikai stabilizációja/konzolidációja be nem következik.*

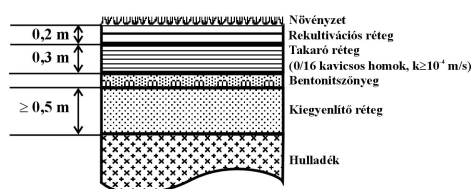
Példák az átmeneti lezárás gyakorlati alkalmazására

Az átmeneti záró-szigetelőrendszereknél, mint mondtuk, nem adható meg egy általánosan alkalmazható rétegrend, ezért a továbbiakban bemutatunk néhány már megvalósult projektet.

#### Nadelwitz-i lerakó

1975 óta működő, kavicsbányában kialakított építési törmelék és kommunális-hulladék lerakó. Felülete 8,5 ha. A régi lerakó területén nincs aljzatszigetelés és csurgalékvízgyűjtés. Az É-i részen, az új lerakó területén már aljzatszigetelő rendszer van.

A régi lerakó területén a betöltési magasság elérése után egy ideiglenes lezárást alkalmaztak (**3.1. ábra**) úgy, hogy ez a végleges lezáráshoz is felhasználható legyen.

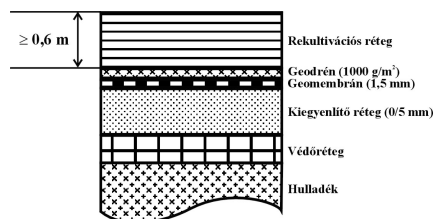


**3.1. ábra**

A Nadelwitz-i lerakó ideiglenes lezárása

#### Nonnenwühl-i lerakó

A lerakó ideiglenes záró szigetelőrendszerét a **3.2. ábra** szemlélteti (SCHICKETANZ, 2001.).



**3.2. ábra**

A Nonnenwühl-i lerakó ideiglenes záró-szigetelése

### Hasenbühl-i lerakó

Lezárt felület kb. 3 ha, 1:2,7 lejtésű rézsú. A hulladékra egy kiegyenlítő réteg után 1,0 mm vastag geomembrán került. A membrán a toldásoknál hegesztett, a rézsűkoronán egy kicsúszást gátló árokba van bekötve. A szélfúvás ellen lineáris leterheléssel védik. Az ideiglenes lezárás várható időtartamát 5-10 évre becsülik (3.1. fénykép)



3.1. fénykép

### Sindelfingeni lerakó

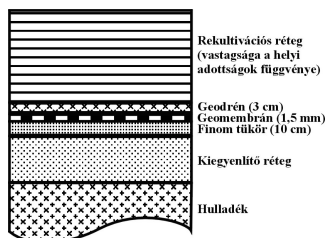
A lezárt felület kb. 3 ha, becsült takarási időtartam 10 év. 10 évre garantált UV álló, 0,75 mm vastag HDPE fóliával történt a takarás, a tekercsek nincsenek hegesztve. A lapos dőlésű felszínen kisvastagságú földtakarás a nagyobb dőlésszögű területeken használt autógumikkal leterhelt sodronyrács véd a szélfúvás ellen (3.2. fénykép).



3.2. fénykép

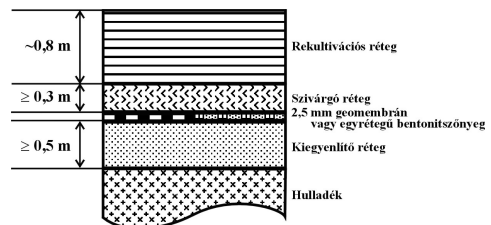
Hasonló módon, csak geomembránnal zárták be ideiglenesen a Heilbronn-i lerakót (3,5 ha).

MEYER (2003) a német lerakórendeletnek megfelelő ideiglenes záró szigetelőrendszerre vonatkozó ajánlását a 3.3. ábra mutatja be. A Szászországi Környezetvédelmi és Földtani Hivatal ajánlását a 3.4. ábra szemlélteti.



3.3. ábra

MEYER javaslata az ideiglenes záró-szigetelés felépítésére (MEYER, 2003.)



3.4. ábra

A Szászországi Környezetvédelmi és Földtani Hivatal ajánlása az átmeneti záró-szigetelőrendszer felépítésére

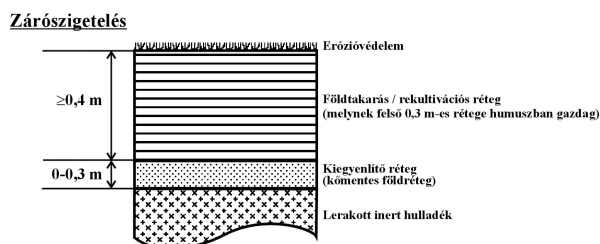
A bemutatott példák egyértelműen igazolják, hogy *minden lerakót egyedileg kell vizsgálni* és a hulladékgazdálkodási szempontokon túl nem hagyható figyelmen kívül a helyi építőanyag felhasználásának a lehetősége, ill. a végleges záró-szigetelőrendszerbe való integrálás minél jobb megvalósíthatóságának a kérdése sem.

### 3.2. A hulladéklerakó végső záró-szigetelőrendszere felépítésének szabályozása

A depóniák végleges lezárására túlnyomórészt *természetes- és mesterséges anyagú* (elsősorban az aljzatszigetelőknél is megismert műanyag fóliák) szigetelőrétegek jönnek számításba.

Figyelembe véve az 1999/31/EK valamint a 33/2003 EK irányelveket, a véleményünk kikérésével született 20/2006. (IV.5.) KvVM rendelet a hulladéklerakók lezárásának szabályozását a **3.5 – 3.8. ábrák** szerint írja elő.

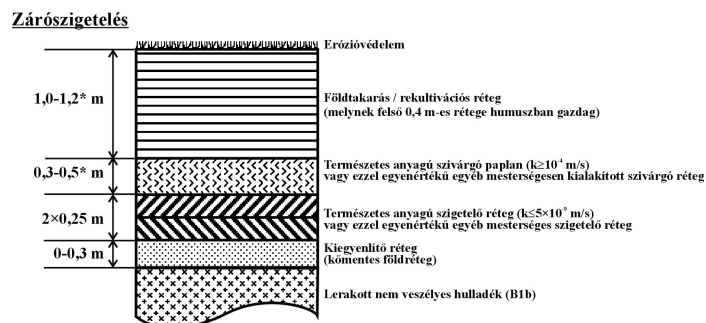
**Inert hulladékok lerakója**



**3.5. ábra**

Az inert hulladékok lerakójának felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

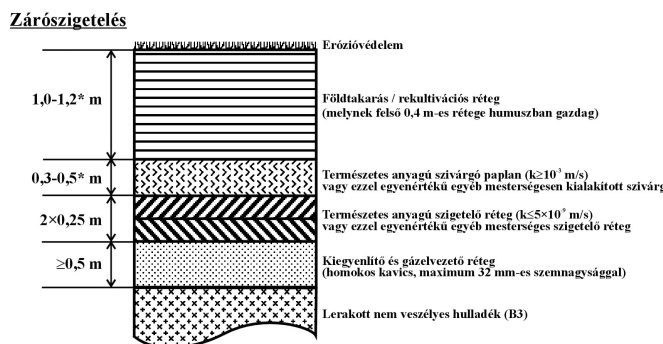
**Nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b)**



**3.6. ábra**

A nem veszélyes hulladékok lerakója (B1b kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

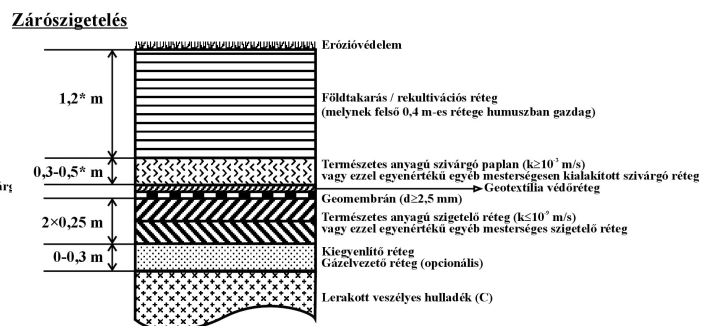
**Nem veszélyes hulladékok lerakója (B3)**



**3.7. ábra**

A nem veszélyes hulladékok lerakója (B3 kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

**Veszélyes hulladékok lerakója (C)**



**3.8. ábra**

A veszélyeshulladék-lerakó (C kategória) felső (lezáró) szigetelésének hazai szabályozása

#### Kiegészítő és gázvezető réteg

A szigetelőréteg alá egy *kiegészítő, és ha szükséges gázvezető réteg* kerül.

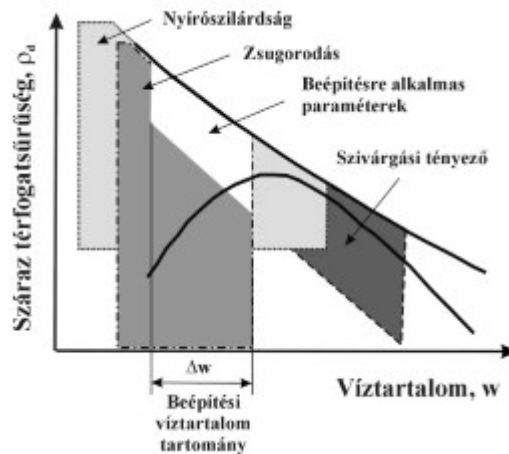
A *gázvezető (mentesítő) réteg* anyaga jó gázvezető képességű, kis mésztartalmú ( $\text{CaCO}_3 < 10\%$ ), egyenletes szemcseeloszlású anyag, amelynek az adott esésviszonyok mellett állékonynak kell lennie. Az állékonyság a

hagyományos állékonyságvizsgálati módszerekkel (JANBU, BISHOP, rétegcúsúsás) ellenőrizendő. Alacsony maradék-gáz tartalom esetén a méz tartalom felső határa 25 %.

#### **A természetes anyagú szigetelőréteg**

A természetes anyagú szigetelőréteg, amennyiben előírás (B1b; B3; C típusú lerakók) 2×25 cm vastagságban építendő be, a szivárgási tényező megkívánt értéke B1b és B3 típusú lerakók esetén  $k \leq 5 \times 10^{-9}$  m/s, C típusú lerakó esetén  $k \leq 10^{-9}$  m/s.

Ellentétben az aljzatszigetelésnél tapasztaltakkal a zárószigetelésnél a szigetelőréteg tömörítését, beépítését a *Proctor-görbe száraz oldali ágán* ( $w_{be} < w_{opt}$ ) kell végezni,  $T_{rp} > 95\%$  relatív tömörségi feltétel mellett (lásd a **3.9. ábrán**).



**3.9. ábra**

Az agyagszigetelés beépítési víztartalmának meghatározása a zárószigetelés kialakításánál

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

- szigetelőképeség:
  - = vízzáróság,
  - = gázokkal szembeni szigetelőképeség.
- mechanikai ellenállóképesség:
  - = állékonyság,
  - = alakváltozási biztonság,
  - = erózióval szembeni ellenállóképesség
- időállóság:
  - = a gázkondenzátumokkal szembeni ellenállóképesség,
  - = hőmérsékletváltozással szembeni érzékenység,
  - = mikroorganizmusok, gombákkal szembeni ellenállóképesség,
  - = a növényi gyökérrzel szembeni jó ellenállóképesség.
- kivitelezés
  - = a szabályoknak megfelelő kivitelezés biztosítása,
  - = mechanikai ellenállóképesség az építési fázisban előforduló terhekkel szemben,
  - = időjárás változással szembeni tűrőképesség,
  - = ellenőrizhetőség,
  - = javíthatóság.

#### **A geomembrán**

A geomembrán megkívánt vastagsága végleges lezárásnál a C típusú lerakóknál 2,5 mm. Megfelelő anyagválasztás és beépítés esetén élettartamuk mai ismereteink szerint a 100 évet meghaladja.

A kiválasztás szempontjai, követelmények:

- szigetelőképeség;

- mechanikai ellenállóképesség;
- időállóság;
- az előírásoknak megfelelő kivitelezhetőség.

### **A szivárgó paplan**

A szigetelőréteg fölé a nem veszélyes hulladékok lerakóinál (B1b; B3)  $k \geq 10^{-4}$  m/s, a veszélyeshulladék-lerakónál (C)  $k \geq 10^{-3}$  m/s szivárgási tényezőjű, 30-50 cm vastagságú szivárgó paplan kerül, anyaga mosott kavics. A réteg vastagságát a lerakó vízháztartási vizsgálata alapján kell meghatározni, hazai csapadékviszonyok mellett a 30 cm-es vastagság a lerakók többségénél elegendő.

Amennyiben az egyenértékűség igazolható (hidraulikai), úgy geokompozitok, geodrének beépítése is megengedett.

### **A rekultivációs réteg**

A szivárgó paplan fölé egy legalább 1,0-1,2 m vastag rekultivációs réteg kerül. A *rekultivációs és szivárgó réteg vastagsága együtt legalább 1,5 m* kell, hogy legyen. A vastagságának megválasztásánál figyelembe kell venni:

- a területre jellemző fagylehatolási mélységet,
- a rekultivációs növényzet gyökérzetének lehatolási mélységét. (A szivárgó paplanba a gyökérzóna ne érjen bele.)
- *vízháztartási viszonyokat.* (A szigetelőréteget a kiszáradástól meg kell védeni.)

A *rekultivációs réteg anyagának* kiválasztásában jelentős szerepet játszanak a helyi adottságok. A lehetőségeken belül figyelembe kell venni, hogy a *réteg elsődleges szerepe a csurgalékvíz minimalizálása*, tehát azok a talajok jönnek elsődlegesen számításba, amelyek *jó víztároló-képességgel* rendelkeznek, és az alkalmazott növényzettel együtt jelentős az *evapotranspiráció*. Német ajánlások szerint leginkább kedvezőek a *homoklisztes-, iszapos talajok*, amelyeknek az *agyag és iszaptartalma* közepes, és az ún. *szabadföldi vízkapacitása (VK<sub>SZ</sub>) legalább 200 mm*. A **3.1. táblázat** a rekultivációs rétegeként számításba jövő leginkább kedvező talajfajtákat tünteti fel. A szabadföldi vízkapacitás értékénél a kisebb érték a lazán beépített talajokra ( $\sigma < 1,45 \text{ g/cm}^2$ ), a nagyobb érték a közepes tömörségű ( $\rho = 1,45\text{-}1,65 \text{ g/m}^3$ ) talajokra vonatkozik

**3.1. táblázat**

– Rekultivációs rétegeként leginkább ajánlott talajok			
– Talajtípus	– Iszaptartalom – (%)	– Agyagtartalom – (%)	– Szabadföldi vízkapacitás – (VK <sub>SZ</sub> ; mm)
– Homoklisztes, iszapos homok	– 10-40	– 8-17	– 185-220
– Iszapos homok, homokliszt	– 10-50	– 0-15	– 210-270
– Agyagos homok	– 0-15	– 5-25	– 220-270
– Homokos homokliszt	– 10-50	– 15-45	– 160-200
– Homokos iszap	– 50-80	– 0-17	– 200-260

A *rekultivációs réteg vastagságát* a rendelet szabályozza, a szigetelőréteg fölött a *szivárgó- és rekultivációs réteg együttes vastagságának el kell érnie az 1,5 métert*. Ez azt jelenti, hogy ha a szivárgó réteg vastagsága 0,3 m (a rendelet szerinti alsó érték) akkor a rekultivációs réteg 1,2 m, ill. 0,5 méternél 1,0 m vastag, és geodrének alkalmazása esetében értelemszerűen 1,5 m!

A rekultivációs réteg vastagságának a csökkentése csak olyan *alternatív megoldásként* jöhet számításba, amelyeknél a *szigetelő funkciót betöltő elem nem időjárás érzékeny*. Ilyen megoldás lehet pl. a geomembrán alkalmazása, azonban a nagyobb időjárás-hatásnak való kitettség miatt a membrán alá észlelőhálózat építése szükséges.

A rekultivációs réteg vastagságát, a szigetelőréteg hatékonyságát *jelentősen befolyásolja* az alkalmazott *növényzet és a növények gyökérlehatolási mélysége*.

Az átszivárgó vízmennyiséget tovább csökkenthetjük, ha a rekultivációs réteg alját (a humuszréteg és az altalaj alatt) ún. „*gyökérzáró*” rétegeként képezzük ki, azaz úgy építjük meg, hogy azon a gyökérzóna minél nehezebben

hatoljon át. Ilyen réteg lehet pl. egy 0,2-0,3 m vastag erősen kötött v. erősen kötőrmelékös tömör ( $\sigma > 1,8 \text{ t/m}^3$ ) réteg, vagy számításba jöhetnek a geoműanyagok is.

### 3.3. Alternatív megoldások a szigetelőrendszer elemeinél

#### Bentonitszőnyeg

A T031871 OTKA kutatási zárójelentésében részletesen ismertettük a Naue Fasertechnik BENTOFIX márkajelű bentonitszőnyegére vonatkozó vizsgálati eredményeinket. Azóta a hazai piacon megjelent a másik nagy világcég (CETCO) BENTOMAT márkajelű terméke, így ezen kutatásunkkal kapcsolatban elvégeztük ezen termék minősítő vizsgálatát és így gyakorlatilag a hazai piacon kapható bentonitszőnyegek teljes vizsgálati anyaga a rendelkezésünkre áll.

#### A BENTOMAT® SC típusú szigetelőlemez vizsgálati eredményei

Szivárgáshidraulikai vizsgálatok, vízzáróság, a bentonittöltet vízfelvétele, szabad duzzadása:

Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai Mérnökgeológiai Tanszéke

A bentonittöltet ásványi összetétele:

MTA Geokémiai Kutatóintézet, Budapest

#### A bentonittöltet anyagának a vizsgálata

A jó minőségű (megfelelő vízzáróságú és szennyezőanyag-visszatartó képességű) bentonitszőnyeg gyártásának a megfelelő technológia és a szerkezet mellett alapvető feltétele a megfelelő minőségű bentonit töltőanyag.

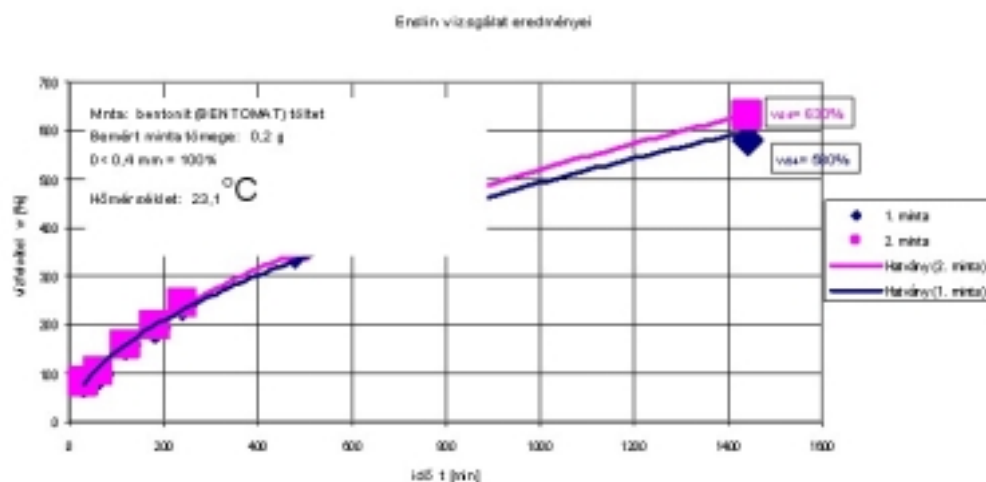
A vizsgált bentonitszőnyeg.

- négyzetméter tömege:  $4915 \text{ g/m}^2$
- víztartalma: 7,15 %

A bentonittöltet mennyisége:  $4224 \text{ g/m}^2$

A töltőanyag minőségének jellemzésére a bentonit vízfellevőképességét és ásványos összetételét vizsgáltuk.

Az ÖNORM 2081-1 4. táblázata alapján előírt a DIN 18132 alapján végrehajtott vízfelvételi vizsgálat eredményét a 3.10. ábrán tüntettük fel



3.10. ábra

A BENTOMAT® SC paplan bentonit töltetének vízfelvételi görbéi

Megállapítható, hogy a bentonittöltet vízfelvevőképessége 580-630 % közötti, ami kielégíti az idézett ÖNORM által a Na-bentonitokra megkívánt feltételt (>450%).

A bentonitszőnyeg töltetének röntgendiffrakcióval meghatározott ásványos összetételét az **3.2. táblázat** foglalja össze. A montmorillonit tartalmat DTA vizsgálattal is ellenőriztük (Miskolci Egyetem, Földtan-Teleptani Tanszék).

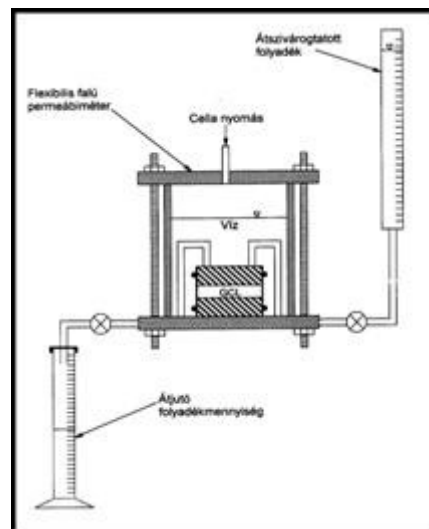
**3.2. táblázat**

Ásványos összetevő	Mennyiség (%)	
	Röntgen	DTA
Na-montmorillonit	70-80	~70-75%
krisztobalit	8-10	
kvarc	5-10	
gipsz	1-2	
10 A° filloszilikát	~10	

Mint látható a Na-montmorillonit tartalom kedvezően magas, kielégíti az ÖNORM által megkívánt értéket.

### A szivárgási tényező értékei

A bentonit lemezek szivárgási tényezőjének meghatározása a nemzetközi gyakorlatnak megfelelően (DIN 18130; ASTM D 5887) triaxiális cellában történt, a minta átmérője 100 mm volt. Cellanyomás 30 kPa, az alkalmazott hidraulikus gradiens (i) a nemzetközi és a GDA ajánlásnak megfelelően:  $i < 30$ . A mérőberendezés vázlatát a **3.11. ábra** szemlélteti.



**3.11. ábra**

A szivárgási tényező vizsgálatok vázlata

A minta előkészítésnél a kör alakú mintát egy körgyűrű menti nedvesítés után vágtuk ki, majd előzetes telítési szakasz után kezdődött a mérés. Az alapmérés során egyidejűleg 3 azonosan előkészített mintát vizsgáltunk. A méréseket mindaddig folytattuk, amíg a mért értékek nem állandósultak

A mérések összefoglaló adatait, eredményeit a **3.3. táblázat** tartalmazza.

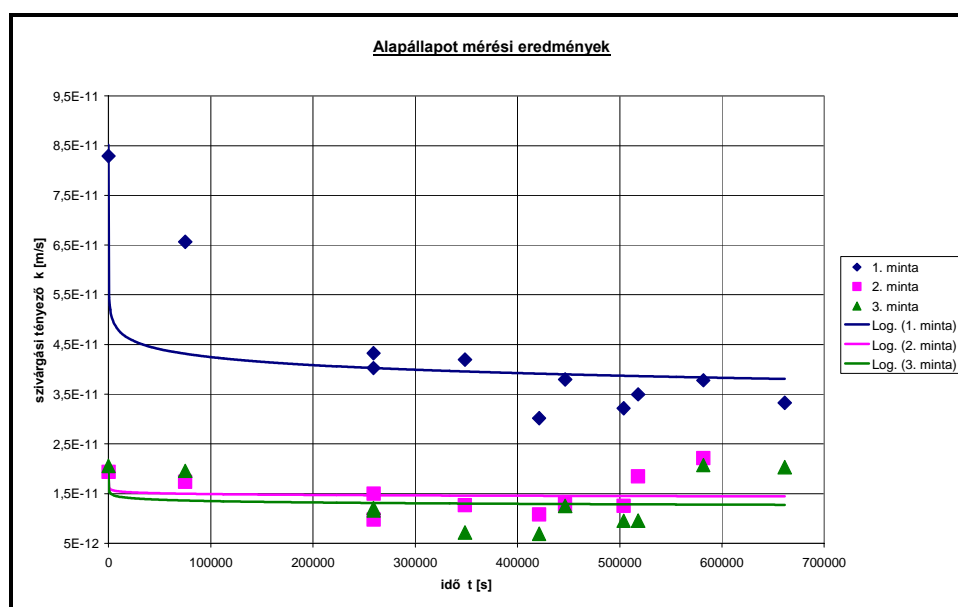


3.3. táblázat

A BENTOMAT® SC szőnyegen mért szivárgási tényező értékek									
Alapállapot			Nedvesítés - szárítási ciklusok után				Fagyasztás - felengedési ciklusok után		
k [m/s]			Ciklus	k [m/s]			Ciklus	k [m/s]	
1. minta	2. minta	3. minta		1. minta	2. minta	3. minta		1. minta	2. minta
$8,29 \times 10^{-11}$	$1,94 \times 10^{-11}$	$2,06 \times 10^{-11}$	0	$3,32 \times 10^{-11}$	$2,22 \times 10^{-11}$	$2,03 \times 10^{-11}$	0	$3,32 \times 10^{-11}$	$2,22 \times 10^{-11}$
$3,78 \times 10^{-11}$	$1,84 \times 10^{-11}$	$2,07 \times 10^{-11}$	4	$1,17 \times 10^{-11}$	$1,23 \times 10^{-11}$	$9,86 \times 10^{-12}$	4	-	-
$3,32 \times 10^{-11}$	$2,22 \times 10^{-11}$	$2,03 \times 10^{-11}$	10	$1,29 \times 10^{-11}$	$1,39 \times 10^{-12}$	$9,93 \times 10^{-12}$	10	$1,46 \times 10^{-11}$	$8,8 \times 10^{-12}$

Az alpmérések eredményeit a 3.12. ábra szemlélteti. A BENTOMAT SC szőnyegeken mért szivárgási tényező értékek nagyon kedvezőek:

$$k = (2,03-3,32) \times 10^{-11} \text{ m/s}$$



3.12. ábra

A BENTOMAT® SC szőnyegen mért szivárgási tényező értékek

#### A szivárgási tényező értékei a szárítás-nedvesítési ciklusok során

Az elkészült hulladéklerakóknál, különösen a zárószigetelésnél számolni kell azzal, hogy a szigetelőréteg kiszáradhat ill. újra nedvesítődik. Nagyon fontos követelmény, hogy a szigetelőréteg vízzárósága a kiszáradás után újra visszaálljon, azaz ún. „öngyógyuló” legyen. Az 3.13. és 3.14. ábrák a 4 és 10. szárítás-nedvesítési ciklus után mért szivárgási tényező értékeket szemléltetik.

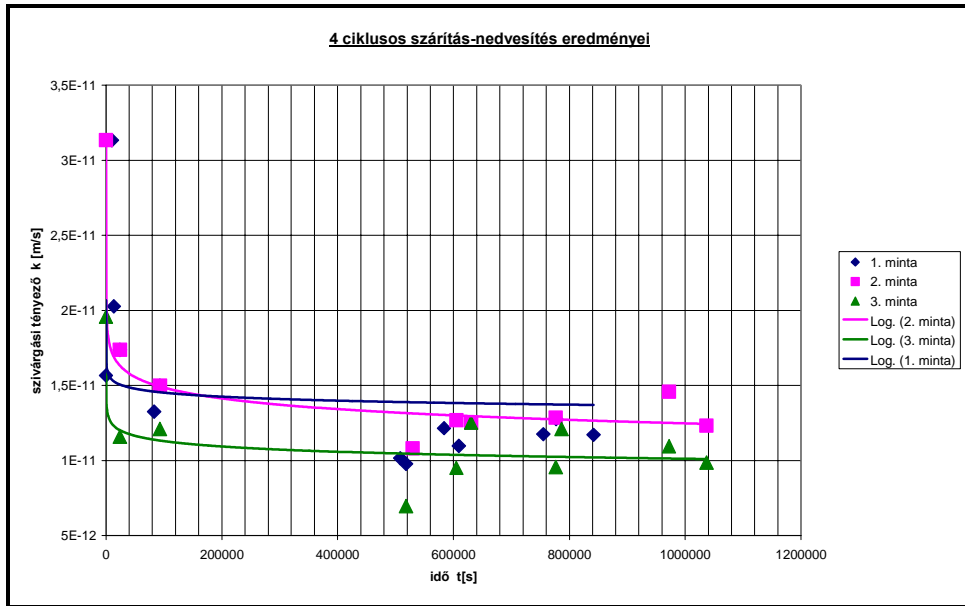
Megállapítható, hogy szignifikáns eltérés az alpmérés értékeihez képest nem jelentkezett, az újranevedés során a száradási repedések záródtak, a vízzáróság nem romlott.

A 3.15. ábrán foglaltuk össze a nedvesítés-száritási ciklusok után mért szivárgási tényező értékeket.

A mért szivárgási tényező értékek:

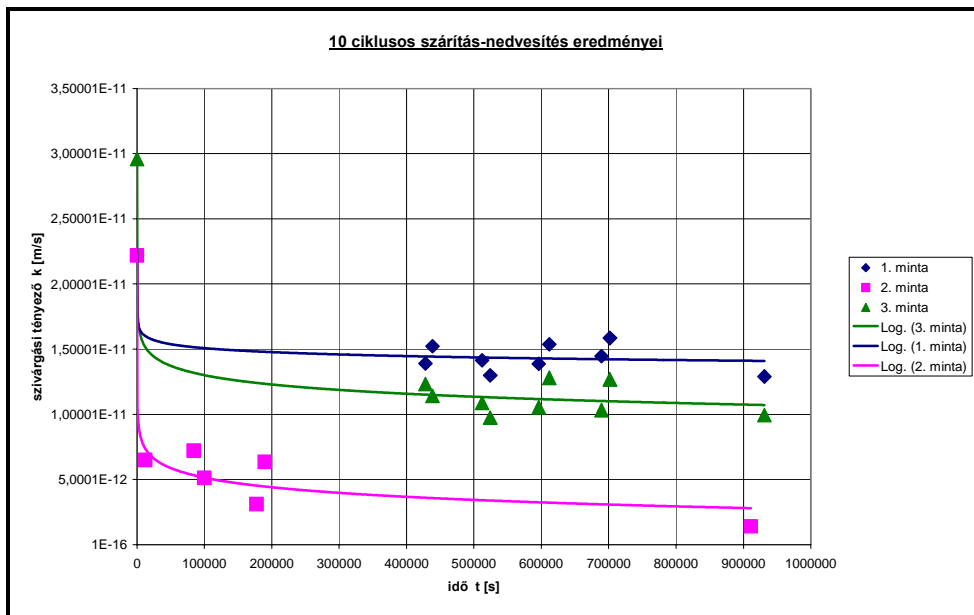
$$4 \text{ szárítás-nedvesítési ciklus után: } k = (0,986 - 1,23) \times 10^{-11} \text{ m/s}$$

$$10 \text{ szárítás-nedvesítési ciklus után: } k = (0,993 - 1,39) \times 10^{-11} \text{ m/s}$$



3.13. ábra

A BENTOMAT® SC szőnyegek vízzáróságának alakulása 4 nedvesítés-szárítási ciklus után



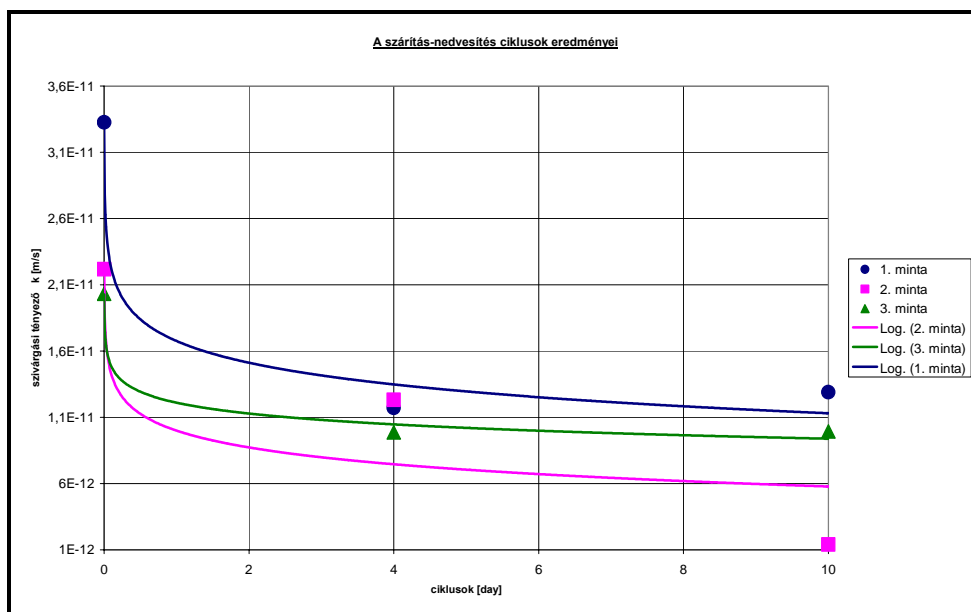
3.14. ábra

A BENTOMAT® SC szőnyegek vízzáróságának alakulása 10 nedvesítés-szárítási ciklus után

A 3.16. ábrán tüntettük fel *fagyasztási - felengedési ciklusok* után mért szivárgási tényező értékeket. Az alkalmazott ciklusok száma 10.

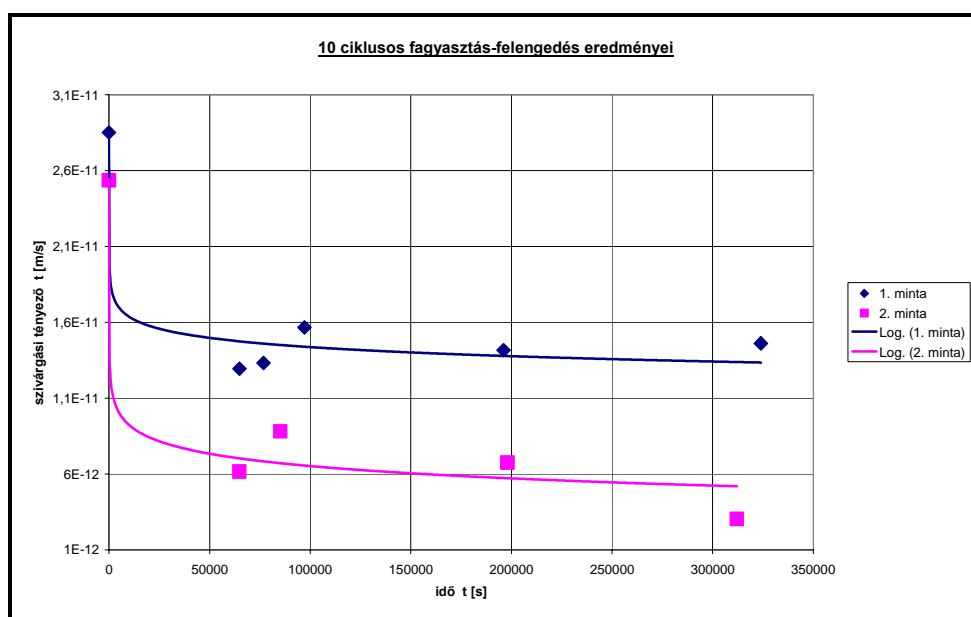
A mért szivárgási tényező értékek:

$$10 \text{ fagyasztás i- felengedési ciklus után: } k = (0,882 - 1,46) \times 10^{-11} \text{ m/s}$$



**3.15. ábra**

A BENTOMAT® SC szőnyegek szivárgási tényezőjének alakulása a nedvesítési-szárítási ciklusok után



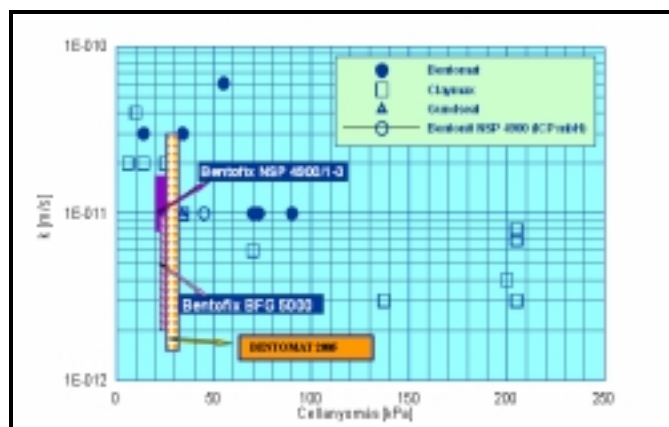
**3.16. ábra**

A BENTOMAT® SC szőnyegek vízzárósága 10 fagyasztási-felengedési ciklus után

***Az eredmények összehasonlítása nemzetközi irodalmi adatokkal***

Tekintettel arra, hogy a mért szivárgási tényező értéket a szabványos kivitelezés mellett is számos tényező befolyásolja ezért a BENTOMAT SC szőnyegeken mért szivárgási tényező értékeket a **3.17. ábrán** összehasonlítottuk a nemzetközileg is jó minőségűként ismert más gyártók termékeivel (Bentofix, Claymax, Gundseal), s mint látható a mérések és az összehasonlítás a BENTOMAT SC paplanok jó minőségét igazolták.

Az összehasonlításnál a másik három mintát ugyanaz a laboratórium vizsgálata, illetve a Bentofix paplanok vizsgálati eredményeinél feltüntettük a saját, korábban végzett méréseink, és az ICP Czurda GmbH (Karlsruhe) vizsgálati eredményeit is.



**3.17. ábra**

Négy különböző bentonitszőnyeg szigetelőképességének az összehasonlítása

A bentonitszőnyegek elsősorban akkor jöhetnek számításba, ha a depóniánál *nagy felszín-süllyedések* várhatók.

Német ajánlások (LAGA) alapján alkalmazásuk a következő esetekben ajánlott:

- kis veszélyeztető potenciált jelentő lerakók végleges zárószigetelésénél;
- általánosan ajánlott ideiglenes lezárásra, amíg a süllyedések nagy része lejátszódik.

Ásványi anyagú szigetelőréteggént való alkalmazásnál:

- két szőnyeg fektetendő egymásra, ezzel elősegítve, hogy az alsó szőnyeg ne tudjon kiszáradni;
- a maximálisan megengedhető rézsűhajlás 1:3, meredekebb hajlásnál a rendszer stabilitását erősíteni kell, pl. georácscsal.

Jelenleg még nem teljesen tisztázott kérdések:

- a geotextília komponens öregedésének a folyamata;
- a kiszáradás, biológiai hatásokkal szembeni hatékony és gazdaságos védekezési módszer.

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 Umweltechnik 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 **3.4. táblázatban** foglaltuk össze. Németországi tapasztalatok a keverékkel rendkívül kedvezőek, amit kiterjedt laboratóriumi vizsgálatok támasztanak alá:

*Időállósága* jelenleg nem tisztázott. A keverék kémiaiilag 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 bentonitszőnyegeknél.

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

*Szivárgási tényező értéke:* nagyon kedvező, az eddigi vizsgálatok eredményei  $6 \times 10^{-11} - 10^{-12}$  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.

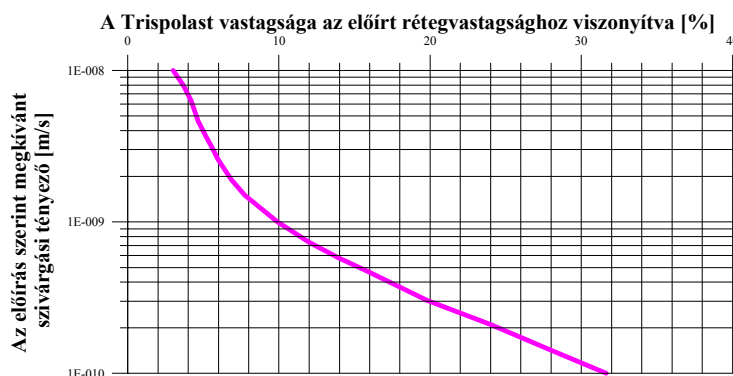
**Állékonyság:** a viszonylag magas bentonittartalom a meredekebb rézsűkön az állékonyságot csökkenti, további helyszíni vizsgálatok szükségesek.

**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 a bentonitszőnyegek. Folyamatos helyszíni minőségellenőrzés szükséges.

A megkívánt vízzárósági kritérium alapján a szükséges beépítési rétegvastagságot a **3.18. ábra** alapján határozhatjuk meg.

**3.4. táblázat**

<b>A TRISOPLAST szigetelő anyag jellemző paraméterei</b>	
<b>Összetétele:</b>	$\leq 89,1\%$ ásványi alapanyag (pl. homok) $\geq 10,7\%$ bentonit $> 0,2\%$ polimer
<b>Az ásványi alapanyaggal szemben támasztott követelmény:</b>	0,063 mm-nél kisebb szemcseméret: $\leq 10,0$ súly % 4,0 mm-nél nagyobb szemcseméret: $\leq 0,5$ súly % 5,6 mm-nél nagyobb szemcseméret: 0,0 súly % Átlagos szemcseátmérő (D50): 0,15-0,70 mm Szervesanyag tartalom: $\leq 1,5$ súly % Mésztartalom: $\leq 5,0$ súly % pH érték: 4,5-10,0 vezetőképesség: 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$
<b>Beépítési térfogatsűrűség</b>	1,62 – 1,76 $\text{g}/\text{cm}^3$
<b>Optimális tömörítési víztartalom</b>	8 – 16 %
<b>k- tényező (vízre)</b>	$8,9 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-12}$ m/s
<b>k- tényező (csurgalékvízre)</b>	$4,3 \times 10^{-11} - 2,5 \times 10^{-11}$ m/s
<b>k- tényező többszöri fagyasztás-felengedési ciklus után</b>	$k_f \approx 1,8 \times 10^{-11}$ m/s
<b>Megengedett lehajlási görbületi sugár</b>	$r \cong 6,0$ m $w_n \cong 6\%$ víztartalomnál $r \cong 2,5$ m $w_n \cong 20\%$ víztartalomnál
<b>Nyírószilárdsági paraméterek</b>	Belső súrl. szög ( $\Phi \geq 30^\circ$ ; kohézió: $c \geq 17$ kPa)
<b>Geomembrán (érsített) és a TRISOPLAST réteg közötti súrlódási jellemzők</b>	Sűrődási szög: $\Phi^* \geq 28^\circ$ ; adhézió: $a = 3 - 4$ kPa
<b>Duzzadás</b>	$\sigma = 10$ kPa – nál $\epsilon_{\max} = 8\%$ $\sigma = 130$ kPa – nál $\epsilon_{\max} = 0\%$



**3.18. ábra**

A TRISOPLAST szigetelőréteg beépítési vastagságának a meghatározása

### **Bentonit és ásványi anyagú keverékek**

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.

A keverési arányt előzetes vizsgálatokkal kell meghatározni, a szükséges bentonit mennyiség: 6-12% közötti, a bentonit minőségétől, agyagásványos összetételétől, őrlési finomságától függően.

#### *Előnyei:*

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

#### *Hátrányok:*

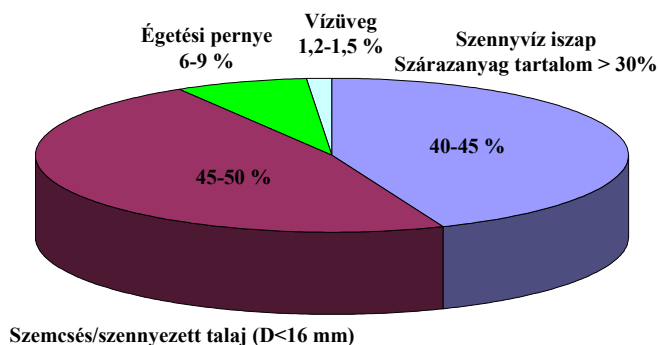
- kivitelezése fokozott technológiai fegyelmet, felkészültséget igényel;
- a megkívánt vízzáróság csak szűk víztartalom intervallumban biztosítható, ezért a keverék előállítására *speciális keverő-berendezést igényel a helyszínen;*
- kivitelezés közbeni erózióérzékenység.

*A keveréktalajok várható vízzáróságával, beépítésével részletesen foglalkoztunk az OTKA T031871 számú kutatási zárójelentésünkben.*

### **A HYDROSTAB rendszer**

Az alternatív zárószigetelések között nagyon biztató eredményekkel rendelkezik az ún. **Hydrostab®** megoldás, amely eredetileg a BKB Reststoffen Management Company (Dalfsen, Hollandia) terméke, a kivitelezésben kezdetből fogva részt vesz a Geo-milieu NV cég (Dessel, Belgium), amely jelenleg ezzel a módszerrel végzi az antwerpeni „Hooge Maey” kommunális és ipari hulladék – lerakó területének a lezárását, szanálását. A teljes lezárandó felület 60 ha. A Geo-milieu NV cég rendelkezik a módszer alkalmazási licencével Belgium, Luxemburg, Svájc és Magyarország területére. A módszer, mint szennyvíziszap ártalmatlanítási technológia, megkapta a BAT minősítést Belgiumban és Flandriában a Környezetvédelmi Minisztérium által elismert, engedélyezett alternatív zárószigetelési mód a Hydrostab® technológia

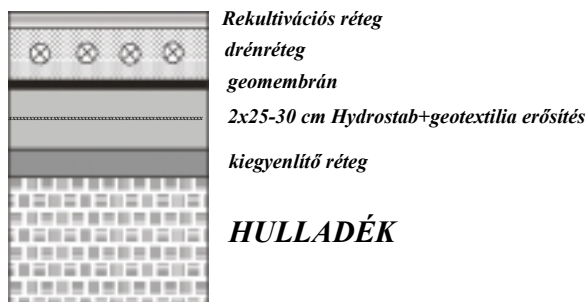
A Hydrostab® technológia egy a depóniaépítésben, így hazánkban is, több – kevesebb sikerrel alkalmazott ún. *vízüveges technológia*. Egyedi megoldása a módszernek, hogy alapanyagként *olyan összetevőket használ fel, amelyeknek ártalmatlanításáról, kezeléséről egyébként gondoskodni kellene*. A Hydrostab® technológiában használt keverékek összetételét a **3.19 ábra** szemlélteti, s mint látható: homok, szennyezett talaj, égetési pernye, szennyvíziszap és vízüveg az egyes alkotóelemek. Nagyon lényeges, hogy a három különböző szemcseméret – tartományba tartozó alkotórészek jól graduált, folyamatos szemeloszlási görbét adjanak, azaz a rendszer ne legyen ún. „egyszemcsés”, de szemcse/frakció hiányos sem. Nagyon lényeges a vízüveg adalék, amely jelen esetben egy speciális AKZO-PQ (*Terrostab-100*), ill. SOLVAY (*Terrostab-50*) termék.



**3. 19. ábra**  
A Hydrostab® keverékek átlagos összetétele

Az eddigi laboratóriumi és kivitelezési tapasztalatok azt mutatják, hogy a Hydrostab® technológia a fenti kívánásokat kielégíti. 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 agyag rétegtől lényegesen kedvezőbb deformációs képességet.*

A Hydrostab® technológiánál alkalmazott rétegrendet a **3.20. ábra** szemlélteti. Összevetve az érvényes magyar rendelettel, megállapítható, hogy az *ott megkívánt elemeken* (szigetelő, szivárgó- és rekultivációs réteg) *túl egy további geomembrán szigetelő lemezt is tartalmaz a rendszer.*



**3.20. ábra**  
A Hydrostab® rétegrend

#### **A HYDROSTAB® szigetelőrendszer vizsgálati eredményei**

Az 1990-es évek közepétől a Hydrostab® technológiával több lerakó bezárását, szennyezett terület kármentesítését végezték el (Vlagheide, Nuenen Hollandiában, Hooge Maey Antwerpen Belgiumban) ill. kiterjedt helyszíni (Twente lerakó, Hollandia) és laboratóriumi (BELOUSCHEK, H. P.(1999.), BELOUSCHEK, H. P.– KÜGLER, J. U. (1995.); REICHERT, O (1995.) vizsgálatok történtek, s a következőkben ezek rövid összefoglalását adjuk meg, jelezve, hogy rövidesen elkezdődnek a magyarországi ellenőrző laboratóriumi vizsgálatok is.

#### **A szivárgási tényező értékei**

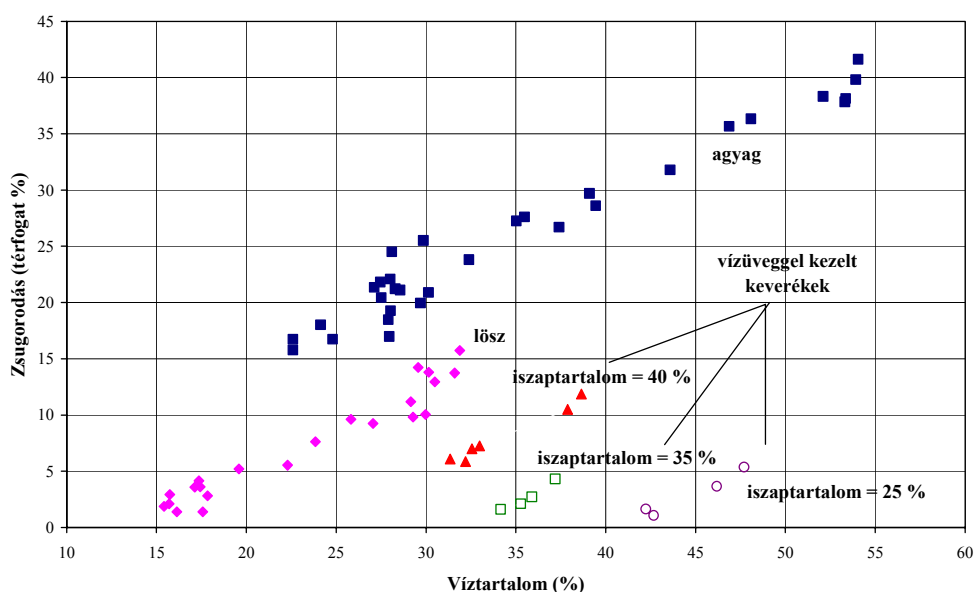
Az **3.5. táblázat** a különböző összetételű keverékeken *laboratóriumban triaxiális cellával* mért, míg a **3.6. táblázat** a helyszíni vizsgálatok során (Twente lerakó, I-IV. próbamező) mért szivárgási tényező értéket tünteti fel. Mint látható, általánosan elmondható, hogy a szivárgási tényező értéke jóval kedvezőbb mint a magyar rendelet ill. az EK direktíva által megkívánt  $k \leq 10^{-9}$  m/s érték, s jellemzően  $k < 10^{-10}$  m/s. A Twente lerakón mért értékeknél a vízzáróság az idő múlásával javult, s két év elteltével  $5-8 \times 10^{-10}$  m/s értékeket mértek jellemzően. A Vlagheide lerakó lezárásakor a felszíni minőségellenőrzés során a mért átlagos érték:  $k = 2,5 \times 10^{-10}$  m/s, ami rendkívül kedvező.

**3.5. táblázat**

<b>Különböző keverékek triaxiális cellában (<math>i=30</math>) mért szivárgási tényező értékei</b>							
Száraz anyag [%]	Iszap víztartalom [%]	Égetési pernye [%]	Filter por [%]	A keverék víztartalma [%]	Szilikát [%]	Gélképző adalék	Szivárgási tényező [m/s]
6	-400	94	-	20-25	-	-	$3,9 \times 10^{-9}$
6	-400	94	-	20-25	1	-	$2,7 \times 10^{-10}$
20	-200	80	-	40-45	-	-	$2,5 \times 10^{-9}$
20	-200	80	-	40-45	1,5	-	$1,7 \times 10^{-10}$
20	-200	80	-	40-45	1,5	+	$6,4 \times 10^{-11}$
20	-200	80	-	40-45	1,5	+	$4,4 \times 10^{-11}$
40	-110	60	-	50-60	-	-	$1,3 \times 10^{-9}$
40	-110	60	-	50-60	2	-	$1,7 \times 10^{-10}$
40	-110	50	10	50-60	2	-	$2,6 \times 10^{-10}$
40	-110	50	10	50-60	2	+	$9,7 \times 10^{-11}$
40	-110	50	10	50-60	2	+	$6,0 \times 10^{-11}$

<i>A szivárgási tényező különböző időpontokban mért értékei</i> (Twente lerakó, Hollandia)(k;m/s)					
	1994. július	1994. november	1995. március	1996. április	1997. március
I. próbamező	$6-9 \times 10^{-11}$		$4-5 \times 10^{-11}$	$< 1 \times 10^{-11}$	$5,1 \times 10^{-11}$
II. próbamező	$5 \times 10^{-10}$ $8,5 \times 10^{-11}$		$3-4 \times 10^{-11}$	$1-2 \times 10^{-11}$	$1,3 \times 10^{-11}$
III. próbamező	$1 \times 10^{-9}$ $7 \times 10^{-10}$	$6-8 \times 10^{-11}$		$5-7 \times 10^{-11}$	
IV. próbamező	$5-7 \times 10^{-11}$	$4-6 \times 10^{-11}$		$5 \times 10^{-11}$	$2,8 \times 10^{-11}$

Hulladéklerakók zárószigetelésének lényegesen nagyobb *deformációkat* kell elviselnie mint az aljzatszigetelésnek, s itt lényegesen nagyobb jelentősége van a *zsugorodási jellemzőknek* is, hiszen a zsugorodás hatására repedések alakulnak ki, ami tönkre teheti a réteg vízzáróságát. A vizsgálatok azt mutatták, hogy *hagyományos anyagú zárószigetelésnél* már  $\Delta w=2-3\%$ -os víztartalom változás jelentős repedések kialakulásához vezethet, míg ugyanez a Hydrostab<sup>®</sup> rétegnél csak  $\Delta w=12-15\%$  víztartalom változásnál következik be. A kísérleteket R=200 m sugarú lehajlás mellett végezték. A kísérletek arra is rámutattak, hogy a Hydrostab<sup>®</sup> anyagú réteg lényegesen nagyobb lehajlás (azaz deformáció különbség) elviselésére képes. A Hydrostab<sup>®</sup> anyagú réteg kedvező zsugorodási tulajdonságait szemlélteti a **3.21. ábra** is amely különböző szennyvíziszap tartalmú minták zsugorodását hasonlítja össze az agyag ill. lösz alapanyagú szigetelő rétegekével.



3.21. ábra

### Kapilláris szigetelőrendszer

A kapilláris szigetelőrendszer egy kétrétegű, eltérő szemcseméretű rétegekből álló rendszer. Alul helyezkedik a *durvább szemcseméretű* 0,2-0,3 m vastag, (általában kavics, homokos kavics) ún. *kapilláris blokk*, fölötté pedig a 0,4-0,6 m vastag, finom-, középfinom-szemcsésű homok anyagú *kapilláris réteg*. Telítetlen állapotban a finomszemcsésű kapilláris rétegnek lényegesen nagyobb a kapilláris szívása, mint a durvaszemcsésű 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 kapilláris blokk közé célszerű egy *geotextília szűrőréteg* beépítése, a finomszemcsék bemosódásának elkerülése érdekében.



*A rendszer 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*.

### **Evapotranspirációs szigetelőrendszer**

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

Az ET szigetelések a vízháztartási mérlegben alapulnak, amit a talaj tározási tényezője, a csapadék, a felszíni lefolyás, az evapotranspiráció és az infiltráció határoz meg. Az ilyen típusú szigetelők kialakításánál lényeges kérdések:

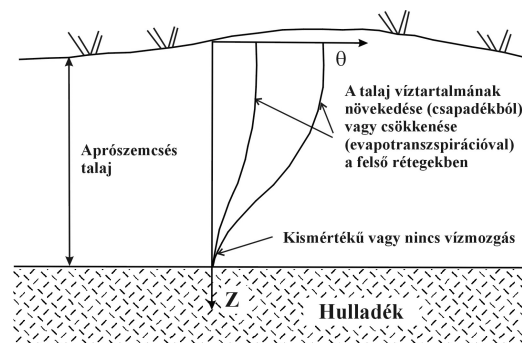
- A nagy tározási tényezővel (szabadföldi vízkapacitás nagyobb, mint 200 mm) rendelkező finomszemcsés talajok, mint az iszap, agyagos iszap alkalmazása.
- Öshonos vegetációk telepítése az evapotranspiráció növelése érdekében.
- Helyben előforduló talajok alkalmazása a költséghatékony kialakítás érdekében.

Valójában az előzőekben ismertetett kapilláris zárószigetelő rendszer is bizonyos mértékig az ET szigetelések közé sorolható, legalább is több szerző ide sorolja.

Az egyrétegű ET szigetelőrendszerek koncepcióvázlatát és működésének elvét szemlélteti a **3.22. ábra**.

Az ET zárószigetelés szükséges vastagságának a meghatározása a lerakó vízháztartásának a vizsgálatát kívánja meg, amit a 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.



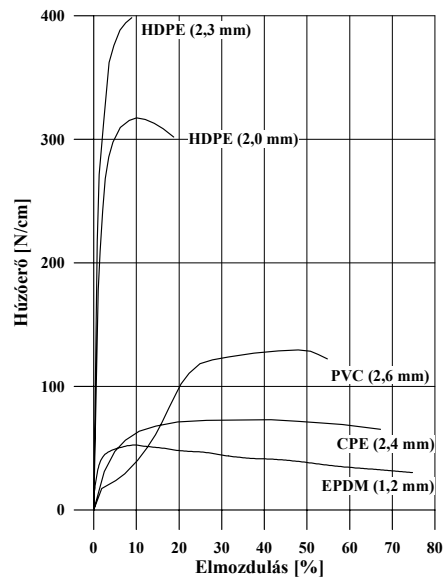
**3.22. ábra**  
Az evapotranspirációs lezárás

### **Geomembrán szigetelő fólia alkalmazása**

A geomembrán megkívánt vastagsága nem veszélyes hulladékok lerakójánál, alternatív megoldásként, az alkalmazott geomembrán típustól/anyagtól függően lehet 1,0 - 2,0 mm. Megfelelő anyagválasztás és beépítés esetén élettartamuk mai ismereteink szerint a 100 évet meghaladja.

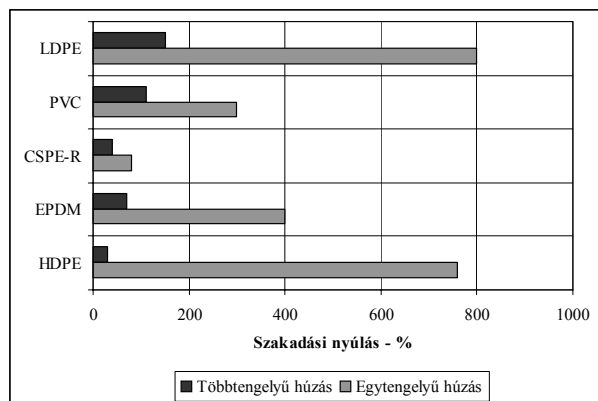
A számos geomembrán típus közül a zárószigetelésnél elsősorban a HDPE, LDPE, VLDPE és az EPDM fóliák jöhetnek számításba. Vizsgálataink során összehasonlítottuk a különböző, kereskedelmi forgalomban kapható geomembránok tulajdonságait, különös hangsúlyt helyezve arra, hogy a zárószigeteléseknél a deformációtűrőképességnek különösen nagy a szerepe.

A HDPE fóliával szemben az LDPE, VLDPE ill. EPDM fóliák alkalmazása sok esetben előnyösebb választásnak tűnik, mivel a várhatóan nagy deformációk esetében lényegesen kedvezőbb többtengelyű alakváltozási tulajdonságokkal rendelkeznek (3.23. – 3.24. ábrák), nagyobb súrlódási szög értékkel rendelkeznek, ami különösen nagyobb lejtőszögek esetében lényeges, ugyanakkor a szennyezőanyagokkal szembeni gyengébb ellenállóképesség zárószigetelésnél nem releváns paraméter.



3.23. ábra

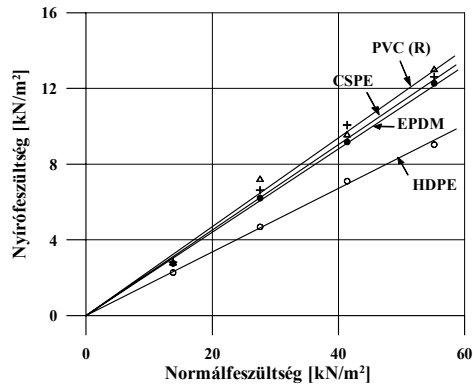
Néhány geomembrán többtengelyű húzási kísérlete során mért terhelés-alakváltozás görbéje (STEFFEN, 1984.)



3.24. ábra

A szakadási nyúlás átlagos értéke egytengelyű és többtengelyű húzás esetén (SADLIER, M. 1999.)

Hulladéklerakók lezárásánál, rézsűk, támasztógátak, szorító töltések szigetelésénél lényeges kérdés az állékonyság, s kedvező, ha a talaj-geomembrán, geotextília-geomembrán között a súrlódási szög minél nagyobb. A 3.25. ábra MARTIN és szerzőtársai (1984) direkt nyíródobozzal végzett vizsgálatainak eredményeit szemlélteti.



3.25. ábra

Homok-geomembrán nyíróvizsgálatok eredményei - A tönkremeneteli határgörbék

### A hő hatására történő viselkedés összehasonlítása

Hulladéklerakónál mind az aljzatszigetelésnél, mind a zárószigetelésnél jelentős hőterhelés éri a membránokat, ami az öregedésüket jelentősen befolyásolhatja. A fektetéskori magas hőmérséklet kitágulást, az alacsony pedig rideg viselkedést okozhat, ezért lényeges a hőmérsékletváltozással szembeni viselkedés ismerete.

A különböző polietilén lemezek lineáris hőtágulási együtthatója a (KOERNER, R., 1994.)

HDPE:	$1,1-1,3 \times 10^{-4} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$
LDPE:	$1,0-1,2 \times 10^{-4} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$
VLDPE:	$1,5-2,5 \times 10^{-4} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$

Az ELASTOSEAL EPDM lemezek vizsgálata (VITUKI, 2002) szerint a lineáris méretváltozás 6 óra vizsgálati időtartam alatt  $80^\circ\text{C}$  mellett  $<0,1\%$  (MSZ 7763 szerint), ill.  $-0,35\%$   $100^\circ\text{C}/24$  óra mellett (MSZ ISO 11501), ami megfelel  $1,25 \pm 3,5 \times 10^{-5} \text{ m/m } ^\circ\text{C}$  lineáris hőtágulási együtthatónak, ami alátámasztja azt a tapasztalatot, hogy az EPDM lemezek viselkedése kedvezőbb a szélsőséges hőmérsékleti körülmények mellett.

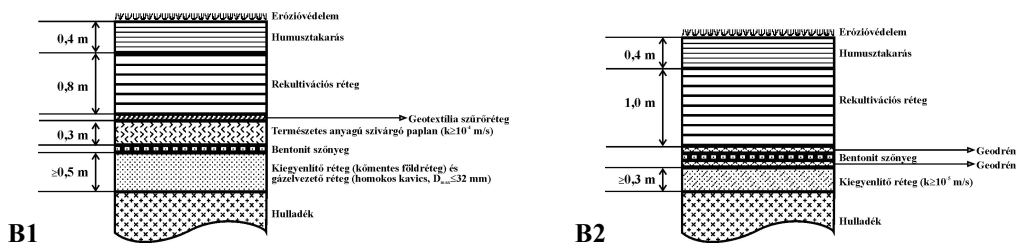
(Megj.: a fenti lineáris tágulási együttható értékek összehasonlítása csak tájékoztató jellegű, mert a vizsgálati szabvány – ASTM ill. MSZ – nem azonos.)

### Javaslatok az alternatív szigetelőrendszerek felépítésére

Az alternatív szigetelőrendszerek összehasonlításánál a két legfontosabb paraméter:

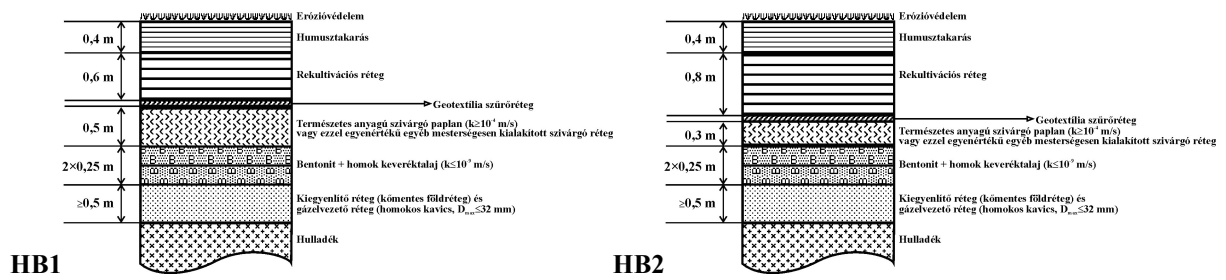
- a hatékonyság,
- a költségek.

Az előzőekben tárgyalt alternatív megoldások alkalmazására mutatnak be példákat a 3.26-3.29. ábrák. Az ábrákon feltüntetett rétegekombinációk, méretek összhangban vannak a lerakó rendelet előírásaival, és közülük a helyi adottságok, a lerakó paramétereinek alapján, figyelembe véve a gazdaságossági szempontokat, lehet az optimális megoldást megtalálni. A bentonitszőnyeg alkalmazásával kialakított rétegrend variánsokat a 3.26. ábra szemlélteti. A talajkeverékből (pl. bentonit és talaj) kialakított rétegrendet a 3.27. ábra szemlélteti. A kapilláris szigetelőrendszer kialakítására mutat be lehetőségeket a 3.28. ábra. A geomembrán szigetelő fólia alkalmazására mutat be lehetőségeket a 3.29. ábra.



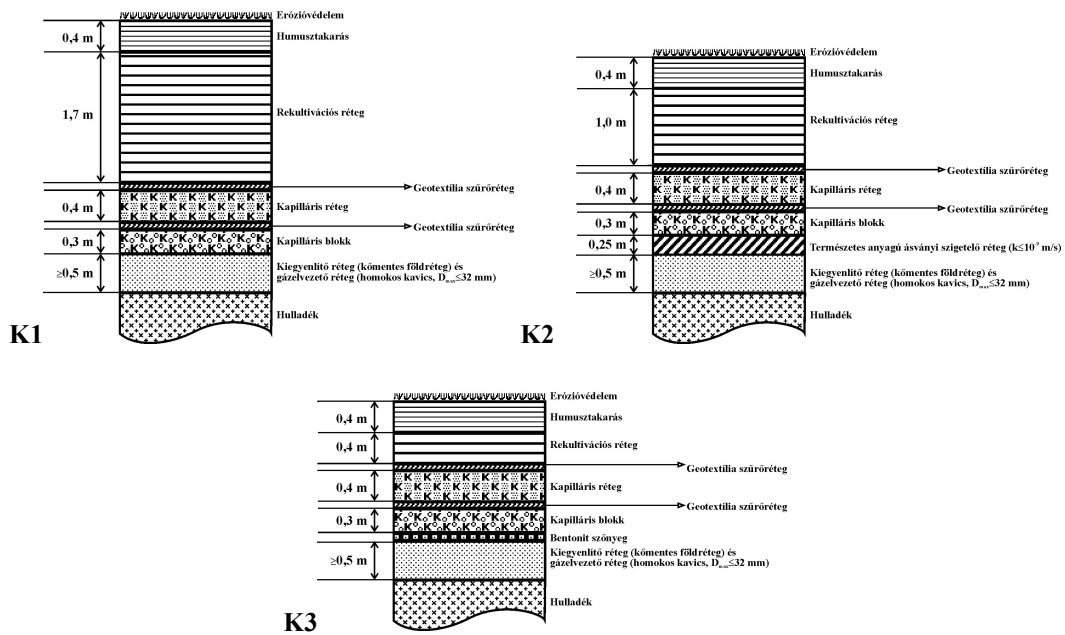
3.26. ábra

Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése bentonitszőnyeg felhasználásával



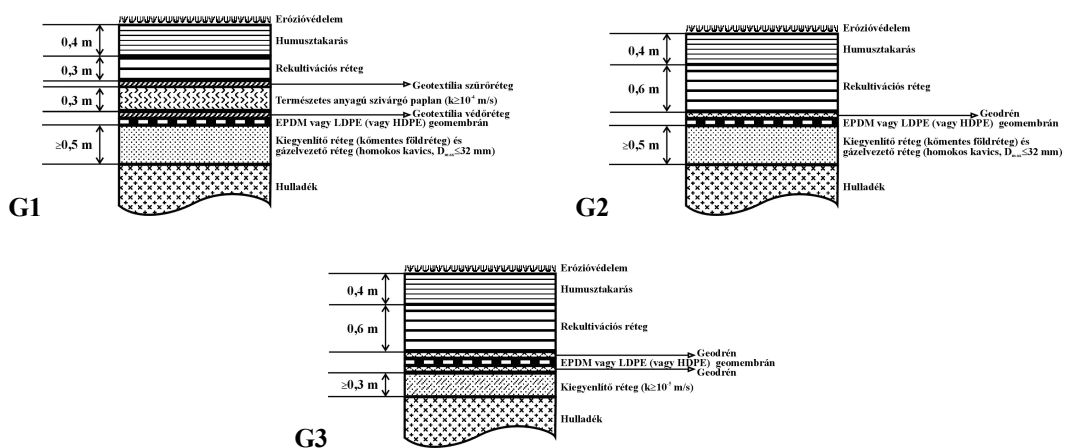
3.27. ábra

Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése talajkeverék felhasználásával



3.28. ábra

Alternatív zárószigetelő rendszer kialakítása: kapillaris zárószigetelés



3.29. ábra

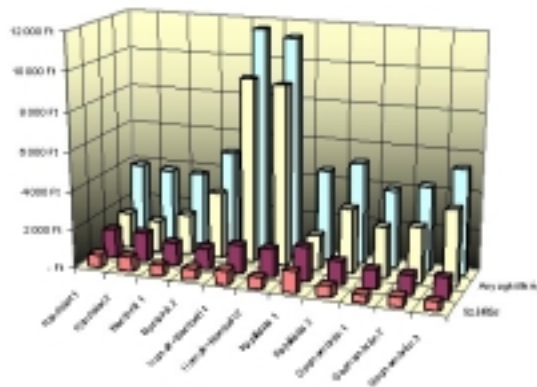
Alternatív zárószigetelő rendszer felépítése geomembrán felhasználásával

### A zárószigetelőrendszerek költségelemzése

A fentiekben ismertetett alternatív megoldásokra végzett költségelemzések eredményeit foglalja össze a **3.6. táblázat**, ill. a **3.30. ábra** tünteti fel.

**3.6. táblázat**

Zárószigetelő rendszer	Anyagár (Ft/m <sup>2</sup> )	Szállítás (Ft/m <sup>2</sup> )	Beépítés (Ft/m <sup>2</sup> )	Teljes költség (Ft/m <sup>2</sup> )
Rendelet 1. variáns	1.790-1.980	700-750	1.450	3.940-4.180
Rendelet 2. variáns	1.590-1.780	780-830	1.450	3.820-4.060
Bentonitszőnyeg 1.	2.090-2.830	580	1.120	3.790-4.530
Bentonitszőnyeg 2.	3.410-4.820	600	1.060	5.070-6.480
Homok-bentonit keverék 1.	9.440-9.580	700-750	1.450	11.590-11.780
Homok-bentonit keverék 2.	9.240-9.380	580	1.450	11.270-11.410
Kapilláris 1.	1.760-2.020	1.100	1.750	4.610-4.870
Kapilláris 2.	3.370-4.480	580	1.240	5.160-6.300
Geomembrán 1.	2.590-3.080	380	995-1.245	3.965-4.705
Geomembrán 2.	2.820-3.530	500	970-1.220	4.290-5.250
Geomembrán 3.	3.820-4.930	500	1.040-1.290	5.360-6.720



**3.30. ábra**

A hazai lerakórendelet előírásainak megfelelő alternatív zárószigetelő rendszerek költségelemzésének eredménye

Az egyes lezárási technológiák költségelemzését elvégezve láthatjuk, hogy *számos olyan alternatív megoldást találunk, amelynek a kivitelezési költsége versenyképes az agyagszigetelésekkel való összehasonlításban.* Természetesen hibát követünk el akkor, ha egy rendszert kizárólag a bekerülési költsége alapján vizsgálunk. A kivitelezés során számos olyan bizonytalansággal találkozhatunk, amely egy adott rendszer költségét jelentősen megnövelheti, illetve egyes esetekben lehetetlenné teszik az alkalmazását. Elég csupán ha arra gondolunk, hogy mekkora nehézségekbe ütközik egy meredek rézsűn 50 cm vastagságú agyagszigetelést a kívánt paramétereknek megfelelően elkészíteni. Nem szabad figyelmen kívül hagynunk azt sem, hogy az időjárás a legtöbb technológia esetén nagymértékben befolyásolhatja a kivitelezés időtartamát, minőségét, s ezáltal jelentős költségkihatása van.

Az ábrából jól látszik a homok-bentonit keverékből épített szigetelőrétegeknek kiugróan magas a költségük. Ez, a többi szigetelő-rendszerhez képest bonyolult, nagy eszközigényű technológiának tudható be. Az eljárás alkalmazásának a magyarországi gyakorlata még nem teljesen kiforrott, a technológiához megfelelő minőségű bentonittal rendelkező bányák anyagelőkészítési rendszere nem kifejezetten szigetelőréteg építési célokra állítják elő a bentonitot. Elképzelhető, hogy külön ezen feladatoknak megfelelő célirányos rendszerek és technológia alkalmazásával ez az anyagköltség olyan szintre is csökkenhet, hogy a többi alternatívával árban versenyképes

lehet. Ehhez azonban komoly befektetésre van szükség mind a bányavállalkozó, mind a kivitelező oldaláról, s ugyanakkor a befektetés megterülésére csak hosszú távon számíthatnak.

A versenyképesség megítélésében elsődleges szerepet kell kapnia az egyes rendszerek időállóságának, amelyről az egyes technológiák esetében eddig kevés tapasztalattal rendelkezünk

#### **4. A ZÁRÓSZIGETELŐ-RENDSZER FELÉPÍTÉSÉNEK MEGHATÁROZÁSA VÍZHÁZTARTÁSI MODELLEZÉS SEGÍTSÉGÉVEL**

A gyakorlati életben számos olyan eset fordul elő, amikor a jogszabályoknak mindenben megfelelő lezárás értelmetlenül nagy költségekkel járna, mint pl. pernyetározók, fűrési iszap depóniák, régi, a lebomlási folyamat utolsó fázisában lévő lerakók. Ilyenkor célszerű a lerakó vízháztartásának vizsgálata alapján környezeti kockázatelemzéssel eldönteni, hogy mi az a minimális szigetelőrendszer, amelynek a megépítése megengedhető környezeti kockázattal jár. A következőkben két gyakorlati példán keresztül mutatjuk be a *gazdaságos alternatív zárószigetelési rétegrend megválasztását számítógépes vízháztartási modellezés segítségével*

##### ***Fűrési iszaptárolók lezárásának vizsgálata***

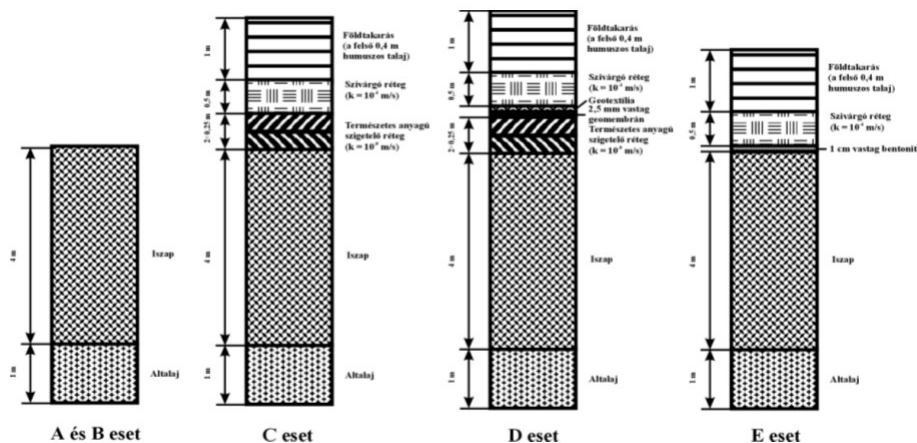
Az elmúlt évtizedben kollégáimmal számos fűrési iszaptároló környezeti hatásvizsgálatával, s ezen belül a szükséges műszaki védelem meghatározásával foglalkoztunk (Zalatárnok, Zsana, Algyő, Cserebökény, Kiszombor). Mindegyiknek közös jellemzője, hogy földmedrű tározókban veszélyes hulladék került lerakásra s az időközben bekövetkezett jogszabályi változás geomembrán -és agyagszigetelés kombinációját kívánja meg.

Nyilvánvalóan az aljzatszigetelés beépítése utólag nem megoldható. A zárószigetelés felépítésénél nem hagyhatjuk figyelmen kívül a lerakó környezeti veszélyeztető potenciálját (részletesen lásd az 1.fejezetben). A fűrési iszaptárolókra általánosan jellemző, hogy a bennük elhelyezett anyag (hulladék) vízzárósága a viszonylag magas bentonittartalom (6-8%) miatt kedvező, és igaz ugyan hogy az összetétel alapján a hulladék minősítése veszélyes hulladék, de ha azt vizsgáljuk, mi az a szennyezőanyag mennyiség ami egy ilyen lerakóból kijut már lényegesen kedvezőbb a helyzet. A kijutó szennyezőanyag mennyiségét a zárószigetelés jó megválasztásával a megengedhető érték alá tudjuk csökkenteni.

Abban az esetben, ha a depóniák környezetében még nem következett be meg nem engedhető szennyezés, akkor vizsgálunk kell, hogy ha megakadályozzuk, vagy egy modellezéssel meghatározott érték alá csökkentjük a depóniából kijutó szennyezőanyagok mennyiségét, a környezetterhelés a megengedett érték alatt marad-e vagy sem. Marad tehát a kérdés: milyen legyen a zárószigetelés felépítése?

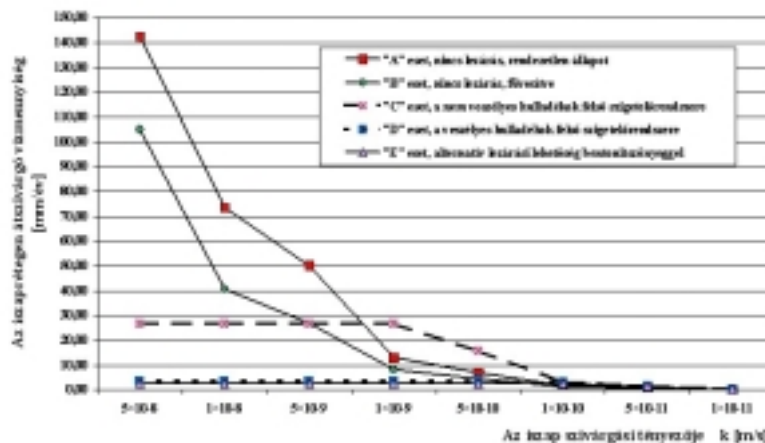
A számítógépes modellezés alapjául ezen problémakörből mutatunk be egy példát, amikor is a vízháztartási vizsgálatokkal határoztuk meg, hogy mi az a minimális zárószigetelési rétegrend követelmény, amely elhanyagolható környezeti kockázattal még gazdaságosan megvalósítható. Vizsgálataink eredményét szemlélteti a **4.3. ábra**.

A zárószigetelő-rendszer megválasztásának alapja a tározó vízháztartásának a vizsgálata volt, amit a jól ismert HELP modellel végeztünk. A tározóban lévő iszap szivárgási tényezőjét statisztikai módszerrel határoztuk meg. A számításoknál a **4.2. ábra** szerinti rétegrendekre határoztuk meg a lerakó vízháztartását, azaz a veszélyeshulladék-lerakókra vonatkozó megoldás mellett számos alternatív megoldást is megnéztünk. Mint látható, már  $5 \times 10^{-9}$  m/s iszap szivárgási tényező mellett is mindhárom megoldás elfogadható alternatívát ad, vagyis a zárószigetelés megválasztásánál figyelembe kell venni a lerakott hulladék vízháztartását, átteresztőképességét, amellyel sok esetben egy ugyanolyan műszaki értékű, de gazdaságosabb megoldást kaphatunk.



4.2. ábra

A fűési iszaptárolók vízháztartási vizsgálatánál modellezett zárószigetelések



4.3. ábra

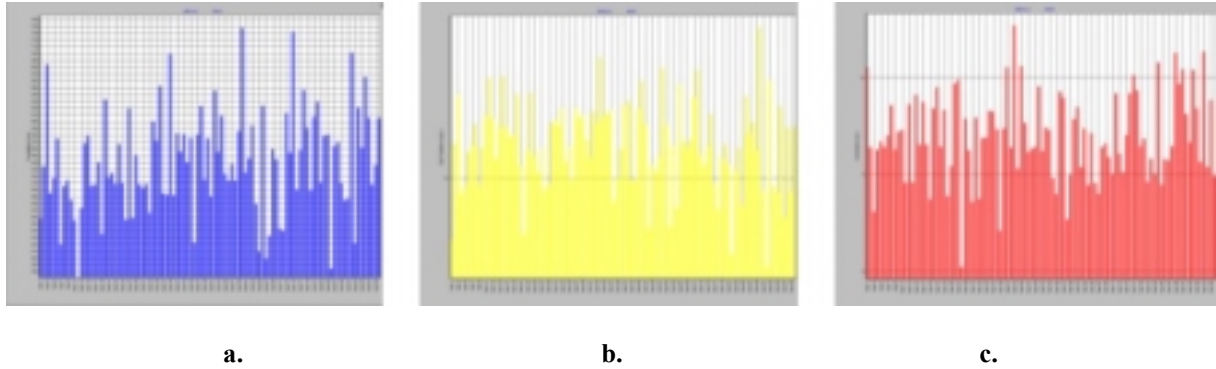
A lerakóból kijutó csurgalékvíz-mennyiség különböző átteresztőképességű iszapok esetében

### Egy pernye-zagytároló vízháztartási vizsgálata a szükséges zárószigetítő rétegrend meghatározása érdekében

A pernye zagytárolók általános problémája, hogy ha az érvényes lerakórendelet szerint történik a rekultivációjuk, akkor az rendkívül nagy anyagi ráfordítást igényelne, ugyanakkor a környezetterhelési vizsgálatok azt mutatják, hogy már a működéskori – lezárt állapotban is nagyon kicsi az a csurgalékvíz-mennyiség, ami a tároló aljára lejut. Az alábbiakban egy másik példát mutatunk be arra, hogy hogyan lehet vízháztartási modellezéssel meghatározni a minimálisan megkívánt végleges zárószigetelési rétegrendet.

A vízháztartási vizsgálatokat a lerakó 1,0 ha (10000 m<sup>2</sup>) területű oszlopára végeztük el, azaz az alkalmazott modell a biztonság javára történő elhanyagolást tartalmaz, hiszen ez a feltétel csak a lezárt depónia felszíne alatti területre igaz, az oldalrészű alatt ettől kedvezőbb a helyzet.

A vizsgálatokhoz szükségünk volt a terület időjárás adataira. A pernyetárolóhoz legközelebb eső meteorológiai állomás Kékestetőn található, de a nagyon eltérő földrajzi és meteorológiai viszonyok miatt inkább a területtől megközelítőleg 40 km-re elhelyezkedő Miskolci Meteorológiai Állomást választottuk, amelynek alapadatai alapján a szoftver időjárás generátora meteorológiai adatokat állított elő 100 éves időtartamra. A 4.4.a-c. ábrákon láthatók a generált csapadék, napsugárzás és levegő hőmérséklet adatok.



**4.4. ábra**

A vízháztartási vizsgálatokhoz a Miskolci Meteorológiai Állomás alapadatai alapján generált csapadék, napsugárzás és levegő hőmérséklet adatok

A vizsgálandó szelvény felépítésénél figyelembe vettük a terület földtani felépítését, a tervezett tárolandó pernyemennyiséget és végleges lerakó magasságát, a tervezett lezárást, valamint az egyes rétegek talajfizikai jellemzőit.

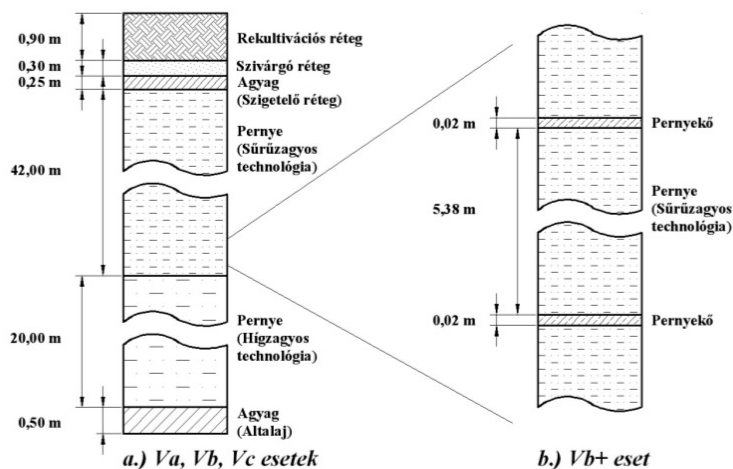
A számítások során a következő felső zárószigetelő rendszer hatékonyságát vizsgáltuk:

- 25 cm tömörített agyag szigetelés,  $k \leq 5 \times 10^{-9}$  m/s
- 30 cm homok drénréteg,  $k \leq 1 \times 10^{-4}$  m/s
- 90 cm rekultivációs réteg
- füvesítés

Mint látható, a vizsgált rétegrend a lerakórendeletre képest egyszerűbb, csak 25 cm tömörített agyag szigetelőréteget tartalmaz, szemben az ott előírt 2×25 centiméterrel. Fontos, hogy a szigetelő réteg felett megfelelő vastagságú rekultivációs réteg legyen részben a szigetelőréteg átfagyásának a megakadályozására, részben a telepített növényzet gyökérzónája miatt. Utóbbi azért lényeges, mert kell akadályozni, hogy a rekultiváció során telepített növényzet gyökere a zárószigetelő rétegen áthatoljon.

A pernye vastagságánál 20 m hígzagys és 42 méter sűrűzagys pernyével számoltunk.

A vízháztartási vizsgálatokat több különböző esetre végeztük el, az egyes esetekben alkalmazott rétegfelépítést a **4.5. ábra**, az egyes rétegjellemzőket összesítve a **4.1. táblázat** mutatja. A táblázatban található talaj jellemzők egy részét a korábbi szakvéleményekből (pernye, altalaj), a vonatkozó rendeletekből (20/2006. (IV.5.); agyag, szivárgó réteg), valamint ajánlásokból (rekultivációs réteg) határoztuk meg.



**4.5. ábra**

A vizsgált szelvény felépítése a vízháztartási vizsgálatok során



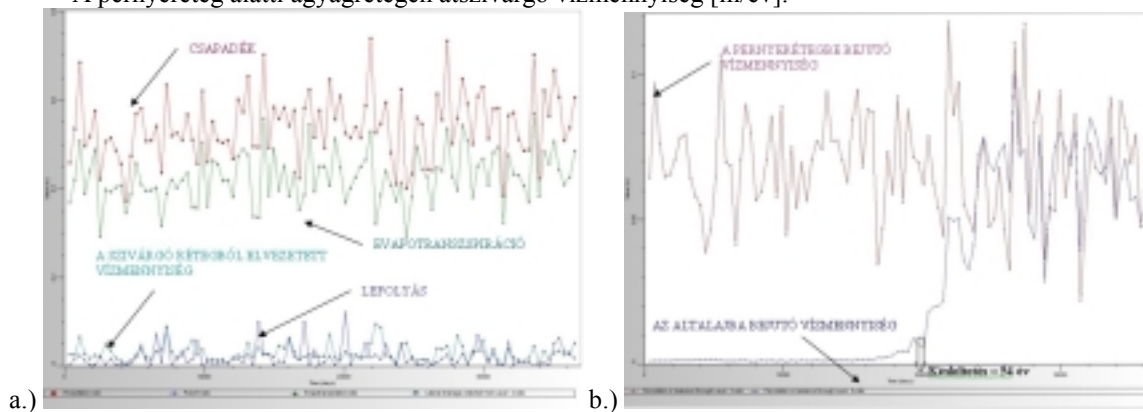
4.1. táblázat

A vízháztartási vizsgálatok alapjául vett szelvény felépítés								
Réteg megnevezése	Rétegvastagság [m]	A réteg lejtése [%]	A lejtő hossza [m]	Hézagterfogat [-]	Teljes szántóföldi kapacitás [-]	Hervadáspont [-]	Szivárgási tényező [m/s]	
Rekultivációs réteg	0,9	5	30	0,473	0,222	0,104	$5,0 \times 10^{-6}$	
Szivárgó réteg	0,3	5	30	0,417	0,045	0,018	$1 \times 10^{-4}$	
Agyag (Szigetelő réteg)	0,25	5	30	0,451	0,419	0,332	$5 \times 10^{-9}$	
Pernye (Sűrűzagos technológia)	42	0	0	0,450	0,116	0,049	Eset	k
							Va	$1 \times 10^{-5}$
							Vb	$5 \times 10^{-6}$
							Vc	$1 \times 10^{-6}$
Pernye (Hígzagos technológia)	20	0	0	0,450	0,116	0,049	$1 \times 10^{-5}$	
Agyag (Altalaj)	0,5	0	0	0,475	0,378	0,265	$1 \times 10^{-7}$	

A 4.1. táblázatban ismertetett eseten kívül futtattunk egy úgynevezett Vb+ esetet is, amely a Vb esetben alkalmazott rétegfelépítésen alapul – a pernyetárolón végzett szivárgási tényező mérések adatai alapján feltételezve, hogy a Vb esetben alkalmazott  $k=5 \times 10^{-6}$  m/s a réteg átlagos szivárgási tényezője – de a felső, 42 m-es pernyerétegben elhelyeztünk 8 db 2 cm vastagságú,  $k=10^{-8}$  m/s szivárgási tényezőjű réteget (lásd 5.b. ábra, Vb+ eset). Ezzel azt próbáltuk modellezni, hogy mennyiben befolyásolja a zagyatároló aljára lejutó csurgalékvíz-mennyiséget az a tény, hogy a pernye nem homogén, hanem a szilárdulási folyamat során vékony, szilárd, közel vízzáró padok (pernyekő) alakulnak ki benne.

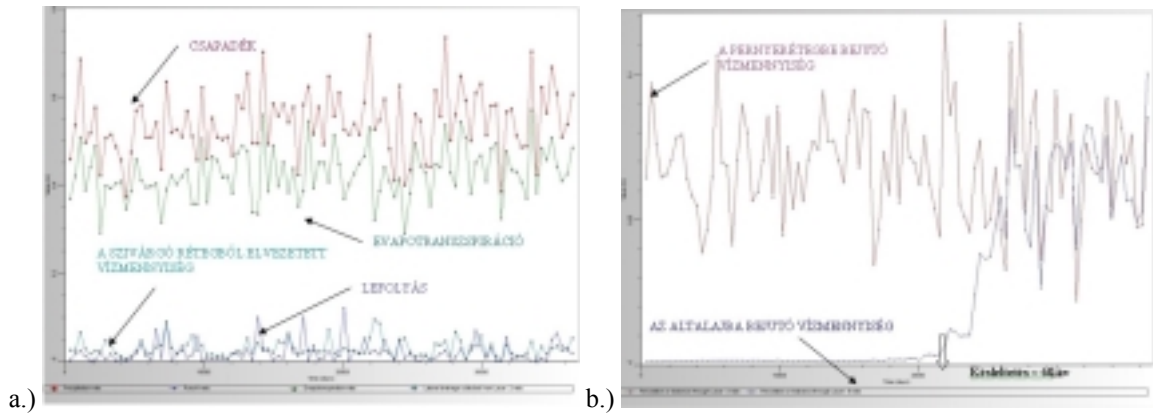
A vízháztartási vizsgálat elvégzése után a fenti esetekre számított eredményeket (100 éves időtartamra) az 4.6-4.9./a-b. ábrákon látható grafikonok mutatják be [m/év]. A rendelkezésre álló eredmények közül a következő jellemző értékeket választottuk ki:

- = Csapadék [m/év]; (a. ábrák)
- = Evapotranspiráció [m/év];
- = Felszíni lefolyás [m/év];
- = A szivárgó réteg által elvezetett vízmennyiség [m/év];
- = A pernyerétegbe beszivárgó vízmennyiség [m/év];
- = A pernyeréteg alatti agyagrétegen átszivárgó vízmennyiség [m/év].



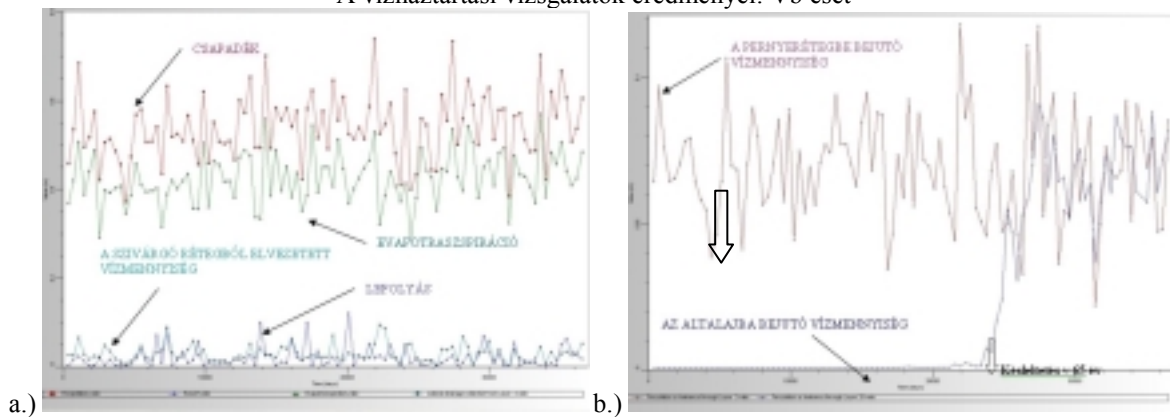
4.6. ábra

A vízháztartási vizsgálatok eredményei: Va eset



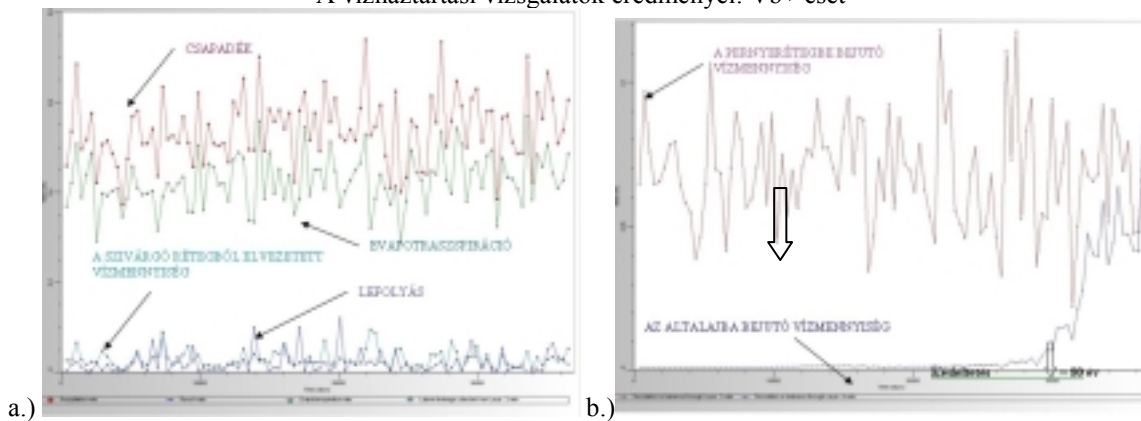
4.7. ábra

A vízháztartási vizsgálatok eredményei: Vb eset



4.8. ábra

A vízháztartási vizsgálatok eredményei: Vb+ eset



4.9. ábra

A vízháztartási vizsgálatok eredményei: Vc eset

Az 4.6-4.9. ábrák a.) jelű grafikonjain látható, hogy a csapadék jó része, évi átlagban 0,42 m az alkalmazott lezárás mellett evapotranspiráció útján távozik a lerakó felszínéről. Meg kell jegyezni, hogy a szoftver által alkalmazható legjobb növényzet a kiváló minőségű füvesítés, azaz nagy párologtató képességű növényzettel ennél akár jobb eredményeket is el lehet érni. A csapadékvíz jóval kisebb része, évi átlag 0,02 m folyik le a lerakó felszínén, feltételezve annak 5 %-os lejtését. Itt további számítások lehetségesek esetleg a rézsús felületekre, ahol értelemszerűen ennél nagyobb lesz a felszíni lefolyás mértéke. A beszivárgó vizekből a felszíni lefolyás értékénél valamivel nagyobb mennyiségű évi átlag 0,03 m vizet vezet el a beépítendő 5 % lejtésű,  $k=10^{-4}$  m/s szivárgási tényezőjű szivárgó réteg. A csapadékvíz és a fentiekben felsorol vízmennyiségek különbsége, azaz évi átlag 0,07 m vízmennyiség szivárog be a pernyerétegbe. Utóbbit szemléltetik az 4.6-4.9. ábrák b.) jelű grafikonjai, amelyeken jól látható, hogy az összesen 62 m vastagságú pernyeréteg  $k=10^{-5}$  m/s szivárgási

tényezőt feltételezve (Va eset) mintegy 54 évvel késlelteti az átszivárgó víz bejutását az altalajba. Ez az időtáv a felső 42 m vastag pernyeréteg  $k=5 \times 10^{-6}$  m/s szivárgási tényezője esetén 60 év (Vb eset),  $k=10^{-6}$  m/s esetén 80 év (Vc eset). A Vb+ esetben, feltételezve a vékonyabb vízzáró ( $k=10^{-8}$  m/s) rétegek jelenlétét a késleltetési idő mintegy 65 év, azaz a vékony, közel vízzáró padok a késleltetési időt csak mintegy 10 %-kal növelik meg. Ezeket az eseteket a jobb áttekinthetőség érdekében a **4.2. táblázatban** foglaljuk össze.

**4.2. táblázat**

<i>A vízháztartási vizsgálatok eredményei</i>				
A vizsgált eset jelölése	Az alsó 20 m pernyeréteg szivárgási tényezője [m/s] (hígzagys pernye)	A felső 42 m pernyeréteg szivárgási tényezője [m/s] (sűrűzagys pernye)	A felső 42 m pernyerétegben elhelyezett 8 db 2 cm vastag vízzáró réteg szivárgási tényezője [m/s]	A pernyerétegben várható késleltetési idő [év]
Va	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-5}$	-	<b>54</b>
Vb	$1,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-6}$	-	<b>60</b>
Vb+	$1,0 \times 10^{-5}$	$5,0 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-8}$	<b>65</b>
Vc	$1,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-6}$	-	<b>80</b>

Összefoglalva megállapítható, hogy a vizsgált záró szigetelő réteg megfelelő biztonságot nyújt, a lezárt depónia aljára lejutó csurgalékvíz mennyisége fűvesítés esetén évi átlagban nem haladja meg a 70 mm-t, ami várhatóan csak mintegy 60-65 évnél késleltetéssel jelenik meg ott.

Tovább csökkenthető a lejutó csurgalékvíz mennyisége, ha a fűvesítés helyett nagyobb párologtató képességű, de kis gyökérszóna mélységű növényzettel telepítjük be a lezárt lerakót. Ebben az esetben elérhető, hogy a javasolt rétegrend mellett az altalajba beszivárgó csurgalékvíz mennyisége gyakorlatilag nulla legyen.

## IRODALOMJEGYZÉK

*BAM (2003):*

Gutachtliche Stellungnahme zu den Eigenschaften einer Oberflächenabdichtungen aus PEHD-Dichtungsbahnen für Altdeponien, BAM-Gutachten, Berlin  
Mezőgazdasági Kiadó, Bp.

*BELOUSCHEK, P.-KÜKLER, J.U.-NOVOTNY, R. (1990):*

Wasserglas für Deponieabdichtungen  
Umwelt, Band 20. No. 78. pp. 387-388.

*BILITEWSKI, B.-HÄRDLE, G.-MAREK, K. (1990):*

Abfallwirtschaft  
Springer Verlag

*BRANDL, H. (1989.):*

Geotechnische und bauliche Aspekte bei der Neuanlage von Abfalldeponien  
Österreichische Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, 134. Jg. H.3. pp. 123-163.

*CHAPIUS, R.P. (1990 A):*

Soil-bentonite liners: predicting permeability from laboratory tests  
Canadian Geotechnical Journal, 27. pp. 47-57.

*CHAPIUS, R.P. (1990 B):*

Sand-bentonite liners: field control methods  
Canadian Geotechnical Journal, 27. pp. 216-223

*COLLINS, H.-SPILLMAN, P. (1982):*

Lysimeters for simulating sanitary landfills  
Journal of the Environmental Engineering Division, Vol. 108. pp. 852-863.

*CONSTRUCTION QUALITY ASSURANCE (CQA) PLAN REQUIREMENTS FOR HAZARDOUS WASTE LANDFILLS*

U.S. Army Corps of Engineers, Washington  
Manuel, No. 1110-1-4011, 1999.

*CZINKOTA I. – FAUR K. – KOVÁCS B. – SZABÓ I. – TÖRÖK I. (2003):*

Fürési iszaptárolók környezeti hatásának vizsgálata, X. Ipari Környezetvédelem Konferencia, Siófok, 2003. október 28-29.,

*DANIEL, D.E.-BOWDERS, J.J. (1996):*

Waste containment systems by geosynthetics. State of the art report.  
Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka,  
Balkema, Rotterdam

*DAVIS, M.L.-CORNWELL, D.A. (1985):*

Introduction to Environmental Engineering  
McGraw-Hill Inc.

*DEPONIEVERORDNUNG IN ÖSTERREICH, (1996.)*

Verordnung des Bundesministers für Umwelt über die Ablagerung von Abfällen  
Deponieverordnung. Bundesgesetzblatt für die Republik Österreich, Jhg. 1996. 49. Stk.

*DEPONIEVERORDNUNG IN DEUTSCHLAND, (2002.)*

Verordnung über die Deponien und Langzeitlager, (Deponieverordnung – Dep V),  
BGBl. I, S. 2807 (Juli 2002), valamint BGBl. I, S. 4417 (November 2002)

*DGEG-GDA-DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU E.V. (1993):*

Empfehlungen des Arbeitskreises Geotechnik der Deponien und Altlasten, GDA, Ernst & Sohn,  
Berlin, USA

*EHRIG, H.J. (1980):*

Beitrag zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt von Mülldeponien  
Veröffentlichungen des Institutes für Stadtbauwesen, H. 26. TU-Braunschweig

*EHRIG, H.J. (1989):*

Sickerwasser aus Hausmülldeponien. Menge und Zusammensetzung  
Müll-Handbuch, Loseblattsammlung, Lieferung I/89.  
Erich Schmidt Verlag

*EK DIREKTÍVA (1999.)*

Hulladéklerakásra vonatkozó 1999/31/EC sz. 1999. április 26-i tanácsi irányelv

*FAYOUX, D.–LOUDIERE, D. (1984):*

The behaviour of geomembranes in relation to the soil  
Proc. of International Conference on Geomembranes, Denver, USA, pp. 175–180.

*FRANZIUS, V. (1987):*

Bedeutung von Oberflächenabdichtungen für Gas- und Wasserhaushalt von Deponien  
Fortschritte der Deponietechnik. Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, pp. 167-173.  
Erich Schmidt Verlag

*GDA-EMPFEHLUNG E2-30 (2000):*

Modellierung des Wasserhaushalts der Oberflächenabdichtungssysteme von Deponien

*HAUBRICH, E. (2002.):*

Oberflächenabdichtungssysteme. Stand der Technik. Systemauswahl-technische  
und wirtschaftliche Bewertungskriterien  
Deponietechnik 2002. Abschlussplanung und Sicherung von Deponien  
[www. mu. sachsen-anhalt.de/lau.default/htm](http://www.mu.sachsen-anhalt.de/lau.default/htm)

*HEYER, K.U. (2003):*

Emissionsreduzierung in der Deponienachsorge,  
Hamburger Berichte 21, Abfallwirtschaft, Technische Universität Hamburg-Harburg

*HORN, A. (1989):*

Mineralische Deponie-Flächendichtungen aus gemischtkörnigen Böden  
Bautechnik, H.9. pp. 311-318.

- HORN, A. (1992):*  
 Untergrund, Basis- und Oberflächendichtung von Abfalldeponien  
 Bautechnik, H.9. pp. 462-473.
- HÖTZL, H. - WOHNLICH, S. (1988):*  
 Sickerwasserneubildung bei verschiedenen Abdecksystemen an Deponien  
 Zeitgemäße Deponietechnik II. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 29.  
 pp. 99-115.  
 Erich Schmidt Verlag
- JESSBERGER, H.L. (1987-1994):*  
 Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" der Deutschen  
 Gesellschaft für Erd-und Grundbau e.V.  
 Bautechnik, 1987. H.9. pp. 289-303.  
 Bautechnik, 1988. H.9. pp. 289-305.  
 Bautechnik, 1989. H.9. pp. 289-309.  
 Bautechnik, 1990. H.9. pp. 289-299.  
 Bautechnik, 1991. H.9. pp. 294-315.  
 Bautechnik, 1992. H.9. pp. 474-496.  
 Bautechnik, 1993. H.9. pp. 504-517.  
 Bautechnik, 1994. H.9. pp. 527-552.
- K.HUPE, K.-U.HEYER AND R. STEGMANN (2003)*  
 Water infiltration for enhanced in situ stabilization  
 Ninth International Waste Management and Landfill Symposium  
 Caligari, Italy, 6 - 10 October 2003)
- KOERNER, R.M.-DANIEL, D.E. (1997):*  
 Final covers for solid waste landfills and abandoned dumps  
 Thomas Telford, London, p. 256.
- KOERNER, R.M. (1986):*  
 Designing with geosynthetics  
 Prentice Hall, p. 424.
- KOERNER, R. M. - DANIEL, D. E. (1997):*  
 Final Covers for Solid Waste Landfills and Abandoned Dumps  
 Thomas Telford
- KRÜMPELBECK, I. (2000.):*  
 Untersuchungen zum langfristigen Verhalten von Siedlungsabfalldeponien.  
 Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Dr. Ing., Gesamthochschule Wuppertal
- K. STIEF (2002)*  
 Long term post-closure care of landfills requires profitable post-closure land-use  
 Eight International Waste Management and Lanfill Symposium p. 325-330
- K.-U. HEYER, K. HUPE, A. KOOP, M. RITZKOWSKI AND R. STEGMANN (2003)*  
 The low pressure areation of landfills: experience, operation and costs  
 Ninth International Waste Management and Landfill Symposium  
 Caligari, Italy, 6 - 10 October 2003  
 John Wiley and Sons Inc., New York
- MANASSERO, M.-VAN IMPE, W.F.-BOUAZZA, A. (1997):*  
 Waste disposal and containment. State of the art report.  
 Proc. 2<sup>nd</sup> Int. Conf. of Environmental Geotechnics, Osaka pp. 1425-1474.  
 Balkema, Rotterdam
- MANASSERO, M.-PARKER, R.-PASQUALINI, E.-SZABÓ, I.-ALM,EIDA, M.-BOUAZZA, A.-DANIEL, D.E.-  
 ROWE, R.K. (1998):*  
 Controlled Landfill Design (Geotechnical Aspects)  
 TC55SC4 Report  
 3<sup>rd</sup> Int. Conf. of Environmental Geotechnics,  
 Lisboa, 1998.

- MANASSERO, M. (2000):*  
 Solid waste containment systems  
 GeoEng 2000, Int. Conf. on Geotechnical and Geological Engineering  
 19-24 November, Melbourne, Australia  
 Conference Proceeding on CD ROM
- MARKWARDT, N. (1998):*  
 Der Einfluss von Rekultivierungsschichten auf den Wasserhaushalt von  
 Oberflächenabdichtungssystemen  
 In: Oberflächenabdichtungen von Deponien und Altlasten '98 (Hrsg.: Egloffstein, T. - Burkhardt,  
 G. - Czurda, K.), Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 109, pp. 283-309., Erich Schmidt  
 Verlag
- MARTIN, J.P.-KOERNER, R.M.-WHITTY, J.E. (1984):*  
 Experimental friction evaluation of slippage between geomembranes, geotextiles and soils  
 Proc. Int. Conf. Geomembranes, Denver, Colorado, Jun. 20-23. pp. 191-196.
- MÄRTNER, B. – ZEUNER, B. (2002):*  
 Standortspezifisch optimierte Oberflächenabdichtung von Deponien und Altavlagerungen unter  
 Einbeziehung der Wasserhaushaltsberechnung  
 M&S Umweltprojekt GmbH
- M.CASTELAO, L.M. RODRIGUES, E. ZUNGAILIA AND J. ROCHA (1999)*  
 Beriolas sanitary landfill closure and post-closure use as a park  
 Seventh International Waste Management and Landfill Symposium  
 Cagliari, Italy, 4 – 8 October 1999
- MEGGYES, T. (1994. B):*  
 Oberflächenabdichtungssysteme  
 BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung  
 Forschungsbericht 201. Deponieabdichtungssysteme, pp. 173-185. Verlag für neue Wissenschaft  
 GmbH, Bremerhaven
- MELCHIOR, S.-BERGER, K.-VIELHABER, B.-MIEHLICH, G. (1993):*  
 Comparison of the effectiveness of different liner systems for top cover  
 Proc. 4<sup>th</sup> International Landfill Symposium, Sardinia '93  
 Margherita di Pula  
 CISA, Cagliari
- MELCHIOR, S. – STEINERT, B. (2002.):*  
 Qualitätssicherung beim Einbau aus Trisoplast  
 Melchior+Wittpohl Ingenieurgesellschaft  
 szakvélemény
- MISKOLCI EGYETEM, HIDROGEOLÓGIAI-MÉRNÖKGÉOLÓGIAI TANSZÉK (2002):*  
 Tervezési Segédlet a 22/2001 (X.10) KöM rendelet alkalmazásához
- MÜLLER, W.(2001):*  
 Handbuch der PEHD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik  
 Birkhauser Verlag, Basel, p. 384.
- NEGUSSEY, D.-WIJEWICKREME, W.K.D.-VAID, Y.P. (1989):*  
 Geomembrane interface friction  
 Canadian Geotechnical Journal, 26. pp. 165-169.
- OWEIS, I.S. - KHERA, R.P. (1990):*  
 Geotechnology of Waste Management  
 Butterworths, p. 273.
- ÖNORM S2076-1, (1999):*  
 Deponien. Dichtungsbahnen aus Kunststoff. Verlegung.  
 Österreichisches Normungsinstitut.

- PEYTON, R. L. (1994):*  
 The Hydrologic Evaluation of Landfill Performance (HELP) Model: Engineering Documentation for Version 3  
 EPA/600/9-94/xxx, U.S. Environmental Protection Agency Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH
- POVRIE, W – BEAVEN, R.P. – HUDSON, A.P. (2005.):*  
 Factors affecting the hydraulic conductivity of waste  
 International Workshop, LIRIGM, Grenoble, 21-22 March, 2005.
- RETTENBERGER, G.-SASSE, T.-URBAN, S. (1988):*  
 Konzeption der Oberflächenabdichtung an der SAD Gerolsheim  
 Zeitgemäße Deponietechnik II. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 29., pp. 39-61.  
 Erich Schmidt Verlag
- ROWE, K.R. (2000):*  
 Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook  
 Kluwer Academic Publishers, Boston, p. 1087.
- SASSE, T.-BIENER, E. (2002):*  
 Grenzen bei der Auswahl, Dimensionierung und Ausführung  
 von kostenoptimierten Oberflächenabdichtungssystemen.  
 Fachtagung „Die sichere Deponie“  
 www.umtec-gbr.de
- SCHROEDER, P. R. - DOZIER T. S. - ZAPPI, P. A. - MCENROE, B. M. - SJOSTROM, J. W. - SCHÖNIAN, E. (1991):*  
 Asphaltbeton-Dichtungen im Deponiebau  
 Müll und Abfall, 1. pp. 12-19.
- SINGH, S.-MURPHY, B.J. (1990):*  
 Evaluation of the stability of sanitary landfills  
 Geotechnics of Waste Fills (ed.: LANDVA, A.-KNOWLES, D.) ASTM-STP 1070, pp. 240-258.
- SPILLMANN, P.-COLLINS, H.J. (1986):*  
 Physikalische Untersuchungen zum Wasser- und Feststoffhaushalt  
 Wasser- und Stoffhaushalt von Abfalldeponien und deren Wirkung auf Gewässer  
 (Hrsg.: SPILLMANN, P.)  
 VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim  
 Geotechnique, Vol. 32. pp. 133-145.
- SPILLMANN, P. (1988):*  
 Wasserhaushalt von Abfalldeponien  
 Behandlung von Sickerwässern aus Abfalldeponien. Fachseminar Veröffentlichungen des  
 Zentrums für Abfallforschung, Heft 3. TU Braunschweig.
- STEFANOVITS P. (1992):*  
 Talajtan  
 Mezőgazda Kiadó, Budapest
- SZABÓ A. (2004):*  
 Hulladéklerakók zárószigetelési lehetőségei  
 Mélyépítés, Springer Média Kiadó, január-március, pp.36-41.
- SZABÓ A. (2005):*  
 Hulladéklerakók záró szigetelőrendszereinek gazdaságossági elemzése  
 Mélyépítés, Springer Media Kiadó, január-március, pp. 21-27.
- SZABÓ A. (2005):*  
 Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelése I.  
 Mélyépítés, Springer Média Kiadó, október-december, pp. 20-27.
- SZABÓ A. (2006):*  
 Hulladéklerakók környezeti kockázatának értékelése II.  
 Mélyépítés, Springer Média Kiadó, január-március, pp. 17-31.

- SZABÓ, I. (1999):*  
Hulladékkelhelyezés  
Miskolci Egyetemi Kiadó, Egyetemi tankönyv
- SZABÓ I. – SZABÓ A - IMRE S. (2003):*  
A HDPE és EPDM geomembránok összehasonlító vizsgálata a környezetvédelmi alkalmazhatóság szempontjából  
XVII. Országos Környezetvédelmi konferencia, Siófok, 2003. szept. 23 –25.  
Konferencia Kiadvány, pp. 487 – 496.
- SZABÓ I. (2003):*  
A hulladéklerakók zárószigetelésének egy új, alternatív megoldási lehetősége a HYDROSTAB technológia  
XVII. Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok, 2003. szept. 23 – 25.,  
Konferencia Kiadvány, pp. 476 – 486.
- SZABÓ I. (2004):*  
The current state and future plans of closure and remediation of old landfills, as well as construction of new landfills  
Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 132, Erich Schmidt Verlag,  
pp.149-161.
- SZABÓ I.-TÓTH A. (2004):*  
Bentonitszőnyegek vizsgálata  
Mélyépítés, Springer Média Kiadó, november. pp.22-31.
- SZABÓ I. (2005):*  
Hulladéklerakókkal kapcsolatos geotechnikai vizsgálatok  
Tudományos munkásság áttekintő összefoglalása, habilitációs tézisfüzet, p.52.
- SZABÓ I.(2005):*  
Depóniák zárószigetelése,  
Magyar Építéstechnika,No 7-8. pp 32-33.
- TÓTH A.-SZABÓ A.-MADARÁSZ T.(2005):*  
Risk-based evaluation of geosynthetic clay liners  
Proceedings of ORGAGEC Conference, Nantes, october 4-5.
- SZABÓ I.-SZABÓ A.(2006):*  
A hulladéklerakók helyzete Magyarországon, a rekultiváció műszaki megoldásai  
Miskolci Egyetem Közleményei, A sorozat, Bányászat, 69.kötet, pp. 331-350.
- SZABÓ I.-SZABÓ A.-FARKASNÉ CZÉL I.(2006):*  
A hulladéklerakók helyzete Észak-magyarországon, a rekultiváció műszaki megoldásai  
Észak-magyarországi Stratégiai Füzetek, III. évfolyam, 2.szám, pp. 60-78.
- SZABÓ I.-SZABÓ A.-TÓTH A.-MADARÁSZ T. (2006):*  
Risk based performance assesment of geosythetic clay liners  
DEPOTECH 2006, Tagungsband zur 8. DEPOTECH Konferenz, VGE Verlag  
GmbH, Essen, 2006, pp. 429-432.
- VITUKI (2002):*  
A VÄRNAMO EPDM szigetelőrendszer vizsgálata  
Szakvélemény, témaszám: 722/2/552001
- VITUKI (1993):*  
AZ AGRU szigetelőlemezek és rendszerek vizsgálata  
Szakvélemény, Témaszáma: 733/2/2726, Kézirat
- WIEMER, K. (1987):*  
Grundlagen zur Abdichtung und Kapselung von Deponien  
Deponie-Ablagerung von Abfällen (Hrsg.: THOME KOZMIENSKY), pp. 397-418. EF-Verlag