

ÚJRAHASZNOSÍTOTT ANYAGOK FELHASZNÁLÁSI LEHETŐSÉGEI A REKULTIVÁCIÓ SORÁN

Dr. Szabó Attila¹, Dr. Szabó Imre², Faur Krisztina Beáta³

¹okl. környezetmérnök, okl. közgazdász, ²okl. geológusmérnök, egyetemi tanár, ³okl.

környezetmérnök, építőmérnök, tanszéki mérnök

¹Geon-System Kft.

^{2,3}Miskolci Egyetem, Környezetgazdálkodási Intézet, Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai I. Tanszék

1. A HULLADÉKLERAKÓK REKULTIVÁCIÓJÁNAK JOGSZABÁLYI HÁTTERE

A hulladéklerakással, valamint a hulladéklerakóval kapcsolatos egyes szabályokról és feltételekről szóló 20/2006.(IV.5.) KvVM rendelet módosításáról szóló 92/2007 (XI.28.) KvVM rendelet szerint a *rekultiváció* a bezárt hulladéklerakó, vagy a hulladéklerakó egy része *környezeti veszélyességének csökkentése új területhasználat előkészítése érdekében* lezárással, műszaki védelem és monitoringrendszer kiépítésével vagy a hulladék felszedésével, továbbá tájbaillesztéssel történik. A *tájbaillesztés* a létesítmény funkcionális és esztétikai szempontok szerinti környezetalakítása a táji adottságok figyelembevételével.

A hulladéklerakó rekultivációja történhet *lezárással*, illetve *felszámolással*. A lerakók lezárását a vonatkozó törvény két lépésben szabályozza: *átmeneti és végleges lezárást* ír elő, bizonyos feltételek mellett.

A rendelet szerint:

A *végleges záróréteg-rendszer rendeltetése* a csapadékvíz hulladéktestbe való bejutásának megakadályozása, a csurgalékvíz képződésének (és kezelésének) lehetőség szerinti csökkentése, továbbá a környezetbe való potenciális kijutásának megelőzése.

Az *átmeneti záróréteg-rendszer legfontosabb feladata*, hogy tegye lehetővé elegendő vízmennyiségnek a hulladéktestbe való bejutását, a hulladékban lévő szerves összetevők biológiai lebomlásának a meggyorsítását és a végleges záróréteg kiépítése érdekében a rendszer stabilizálódását. Beépítését indokolja, hogy a hulladék konszolidációja, azaz a lebomlás-stabilizálódás folyamata során a lerakó felszínén jelentős süllyedések várhatók, ami a végleges zárószigetelő-rendszer egyenlőtlen süllyedéséhez, repedéséhez vezetne, ami végül is a szigetelőképeség hatékonyságának jelentős csökkenését eredményezheti.

A fentiekből következik, hogy a lezárással történő rekultiváció a hulladék stabilizálódásától függően történhet egy-, illetve két lépcsőben. Előbbi esetben a rekultiváció során rögtön a végleges zárószigetelő-rendszert építjük ki a lerakón, míg az utóbbi esetben azt megelőzi egy átmeneti felső

zárórteg kialakítása is. A felső zárórteg-rendszer kialakítása értelemszerűen tartalmazza - ahol az szükséges - a hulladéklerakó oldalirányú zárórteg-rendszerét is.

Az átmeneti zárószigetelő-rendszertől *elvárt követelmények:*

az alkalmazott anyag a várható süllyedéseket, ill. a tönkremenetelt jelentősebb hatékonyság-csökkenés nélkül el tudja viselni;

segítse elő a minimális csurgalékvíz képződést;

akadályozza meg a csapadékvíznek *a kívánatosnál nagyobb mértékű beszivárgását a depóniába;*

tegye lehetővé a depóniagáz ellenőrzött kezelését.

Az átmeneti szigetelő-rendszer kialakítására a magyar lerakórendelet nem határoz meg egy előírt rétegrendet, hanem meglehetősen nagy mozgásteret biztosít, és a következőképpen rendelkezik:

A rétegrend kialakítását egyedileg a tervező határozza meg, és a Felügyelőség hagyja jóvá az engedélyben.

Az átmeneti zárószigetelő-rendszer *anyagának kiválasztásánál figyelembe veendő szempontok a következők:*

megkívánt mértékű vízzáróság;

időtartam;

széljárás;

fagyérzékenység;

erózióveszély;

a beépíthetőség (aljzat, rézsű);

az újrafelhasználhatóság, ill. a végleges zárószigetelő-rendszerbe való integrálhatóság;

a visszabonthatóság;

a költségek.

A zárórteg kialakítása során alkalmazandó műszaki megoldást a 20/2006 (IV.5.) KvVM rendelet 4. számú melléklete részletesen szabályozza. A jogszabály a rekultivációs rétegrendben felhasználható anyagok listáját is előírja. Fontosnak tartjuk kihangsúlyozni, hogy a jelenlegi hazai jogi szabályozás lehetőséget ad az előírásoktól való eltérésre is, amelynek során a végleges műszaki megoldásra az engedélyt az illetékes Környezetvédelmi Felügyelőség adja meg, a szaktervező által elkészített rekultiváció engedélyezési terv alapján.

A rekultivációs rétegrend kialakításához nagy területű hulladéklerakók esetében jelentős mennyiségű anyagra van szükség. A beépítendő anyagok csak legális forrásból származhatnak, amelyek származási helyét igazolni kell. Ilyen anyagok elsősorban a bányákban előforduló ásványi nyersanyagok, amelyek egyébként más építmények anyagai is lehetnek. Ezen jelentős anyagmennyiségi igény, valamint a gazdaságosság indukálja azt a szándékot, hogy a *költséges bányabeli nyersanyagok (agyag, kavics,*

homok) helyett - a jogszabály adta lehetőségeken belül - újrahasznosított anyagokat is felhasználjunk a rekultivációs rétegrend kialakítása során.

Az átmeneti felső záróréteg-rendszer részei:

- a kiegyenlítő réteg (0-50 cm): anyaga: aprószemcsés hulladék, külön jogszabályban meghatározott maradék hulladék vagy stabilizált biohulladék, salak, pernye, kőmentes talaj;
- a gázvezető réteg (amennyiben a rekultivációs terv szerint ez szükséges): anyaga: kis mésztartalmú, egyenletes szemcseeloszlású, jó gázvezető-képességű anyag, amely az adott esésviszonyok mellett kellő állékonyságú is;
- a szigetelőréteg (amennyiben a rekultivációs terv szerint ez szükséges): anyaga: ásványi anyagú szigetelés és/vagy geomembrán;
- a fedőréteg (legalább 40 cm): anyaga: stabilizált biohulladék és/vagy humuszos talaj, ami lehet szerves anyaggal kevert föld, a rézsűkön geotextiliával megerősítve.

A végleges felső záróréteg-rendszer részei:

- kiegyenlítő réteg (0–50 cm). :anyaga: kis mésztartalmú, homogén, nem kötött talaj, kohósalak vagy hulladékégető salakja, B3 alkategóriájú lerakó esetén jó gázvezető képességű talaj, kohósalak, hulladékégető salakja, aprószemcsés hulladék, külön jogszabályban meghatározott maradék hulladék vagy stabilizált biohulladék.
- szivárgó- és szűrőréteg: anyaga: mosott kavics, a rézsűkön osztályozatlan homokos kavics vagy kőzúzalék, $k > 5 \times 10^{-3}$ m/s szivárgási tényezőjű aprított hulladék, amelyből vízzel nem oldódik ki kockázatos anyag (pl. szederezett gumihulladék, aprított inert hulladék), geodrén, geokompozit, illetőleg geotextília, amely csak a szűrőréteg anyaga lehet.
- fedőréteg: a szivárgó- és szűrőréteggel érintkező (20–30 cm vastagságú) gyökérszáró réteg erősen kötött vagy erősen kötörmelékös tömör anyag, célszerűen osztályozott építési-bontási hulladék. Ezt követi az (50–70 cm vastagságú) altalaj réteg, amely készülhet kis humusztartalmú talajból vagy stabilizált biohulladékból.

A felsorolásban dőlt betűkkel emeltük ki azokat az újrahasznosítható hulladékokat, amelyek vagy önmagukban, vagy megfelelő előkészítés után a rekultiváció során felhasználhatók.

A szigetelőrendszerek felépítésének szabályozására, az alternatív megoldásokra számos megoldás, példa található SZABÓ I. – SZABÓ A. (2013) munkájában.

Amennyiben egy szervezet (pl. a kivitelező) a rekultiváció során valamilyen célból hulladékot kíván felhasználni, abban az esetben a következő engedélyekre van szükség a jelenlegi jogi szabályozás alapján:

előkezelési engedélyre (pl. a hulladékok rostálásához);

hasznosítási engedélyre (a hasznosítható hulladék beépítésének helyére vonatkozóan).

A települési szilárd hulladék *hasznosításának szabályait* a 213/2001. (XI. 14.) Korm. rendelet határozta meg. A begyűjtött települési szilárd hulladék hasznosítását is csak engedéllyel rendelkező telephelyen szabad végezni. A hasznosítási engedély megadásához különösen a következő szempontokat kell figyelembe venni:

a kérelmező hasznosítási technológiájának az értékelését a hasznosításra javasolt települési szilárd hulladék összetétele függvényében, különös tekintettel a kezelendő összetevők anyagi minőségére, mennyiségére és koncentrációjára;

a hasznosítás során keletkező új hulladékot, illetve a nem hasznosítható, megmaradó hulladék mennyiségét és kezelését;

a hasznosítással előállítani kívánt termék, illetve alapanyag minőségét és környezeti jellemzőit;

a bemutatott technológia anyag- és energiahatékonyságát, valamint a hasznosítás során a környezeti elemeket érő terheléseket.

Amennyiben, a rendelkezésre álló hulladékártalmatlanítási megoldásokhoz viszonyítva a hasznosítási technológia kisebb környezetterhelése, hatékonyabb anyag- és energiafelhasználása egyértelműen nem igazolható, a hasznosítási engedély nem adható meg. A hasznosítás során keletkező hulladék mennyisége - kivéve, ha az adott, alkalmazott technológia jellege indokolja - nem lehet több, mint a kiindulási hulladék mennyisége.

Jogilag nincsenek szabályozva az újrahasznosított hulladék beépítésének kritériumai, különösen a szennyezettségre vonatkozó határértékek. Németországban erre vonatkozóan a depóniarendelet egyik melléklete rendelkezik, ahol depóniaosztályonként megadják mind az összetételre, mind az eluátum koncentrációkra vonatkozó határértékeket. Amíg nálunk is nem születik meg egy ehhez hasonló rendelet, úgy a következők betartását tartjuk indokoltnak:

Azoknál az alternatív anyagoknál, amelyeket a zárószigetelő-rendszer *szigetelőrétege alá* építenek be (*kiegyenlítő réteg, gázgyűjtő és -elvezető réteg, fogadóréteg*), ott a felhasználandó anyagnál az adott depóniaosztályban elhelyezhető hulladékokra vonatkozó kritériumoknak kell teljesülniük (20/2006 (IV.5.) KvVM rendelet, 2. számú melléklet, 2.2.1.-1 és 2.2.1.-2 táblázatok)

A *szigetelőréteg* alternatív anyagánál az eluátum koncentrációk alapján kell dönteni. Itt ugyancsak a rendelet előző pontban szereplő mellékletének az előírásait kell betartani. (Megj.: ezen anyagoknál azért célszerű az eluátum koncentrációkat figyelembe venni, mert a szigetelőréteg anyagaként használt újrahasznosított anyag vagy hulladék minden valószínűség szerint bentonittal, polimerrel, vízüveggel stb. kezelt, és ezek az anyagok jelentősen növelik a szennyezőanyag-visszatartó képességet, és a kockázatot nem az anyagi összetétel jelenti).

Azoknál az alternatív anyagoknál, amelyeket a zárószigetelő-rendszer *szigetelőrétege fölé* építenek be (*csurgalékvíz-gyűjtő réteg, gyökérszáró réteg, rekultivációs réteg*) az inert hulladékokra vonatkozó kritériumokat ((20/2006 (IV.5.) KvVM rendelet, 2. számú melléklet, 2.1.-2 és 2.1.-3 táblázatok) kell betartani.

A beépíthetőség további kritériuma értelemszerűen az, hogy az alternatív anyag geotechnikai tulajdonságai (tömöríthetőség, szivárgási tényező) feleljenek meg a felhasználási terület anyagával szemben támasztott követelményeknek.

Az alternatív anyagok felhasználását önmagában a fizikai alkalmasság nem határozza meg. Az alkalmazást befolyásoló egyéb tényezők:

a térségben rendelkezésre álló helyi építőanyag;

a szállítási távolság;

a költség, az előkészítés járulékos költségei;

a rendelkezésre álló készlet mennyisége;

a folyamatos utánpótlás biztosítása;

az egyenletes anyagminőség stb.

2. ÚJRAHASZNOSÍTOTT ANYAGOK ALKALMAZÁSI LEHETŐSÉGEI

2.1. Ipari hulladékok felhasználása a rekultiváció során

A *bányameddőkből* elsősorban a *technológiai maradék-anyagok* jöhetnek számításba (CSŐKE, 2011). A *szénbányászati meddőknél* elsősorban az ún. *fekete meddő* anyaga hasznosítható. A szénbányák környékén nagy mennyiségű fekete vagy szürke színű meddő halmozódik fel. A hányókat kőbányászati berendezésekkel termelik ki, majd zúzással állítják elő a kívánt szemeloszlású anyagot, amely *kiegyenlítő réteggént, gázgyűjtő réteggént vagy a fedőrétegben gyökérszáró réteggént* jól hasznosítható. A *kiégett vörös meddő /salak/* anyaga elsősorban a hulladék feletti *kiegyenlítő réteggént, gázgyűjtő réteggént* jöhet számításba. A külfejtések *letakarási meddői* különösen alkalmasak a *rekultivációs réteg altalajaként* vagy, lévén, hogy nagy mennyiségben állnak rendelkezésre, az *evapotranszspirációs lezárás anyagaként* is kiválóan hasznosíthatók. Ebben az esetben az elsődleges kérdés a *szállítási távolság* költsége.

Az *érc- és nemfemes ásványi nyersanyagbányászati meddők* anyagai közül elsődlegesen az utóbbiak jöhetnek számításba, az *ércbányászati meddőknél* probléma a szennyezettség lehetősége. A *kő- és kavicsbányászati meddőhányók*, különösen a korábbi bányászati tevékenység során létesített meddőhányók esetében, jelentős mennyiségben tartalmazhatnak még hasznosítható anyagot. Ennek

kinyerése többlépcsős osztályozással, esetleg közbülső töréssel valósítható meg (CSŐKE, 2011). Az így kinyert osztályozott kő vagy kavics kiválóan megfelel(het) *kiegyenlítő réteggént, vagy szivárgóréteggént, ill. gyökérszűrő réteggént*.

Az építési és bontási hulladékok: a kommunális hulladékok után legnagyobb mennyiségben az építési és bontási hulladékok keletkeznek. Újrahasznosításukra a műszaki lehetőségek adottak. A legértékesebb másodlagos nyersanyagot az útfeltörés és az építmények bontásából származó törmelékek képezik. A teljes építési hulladékmennyiségben belül a legnagyobb részarányt (60-80 %) a kiemelt föld képviseli, a többi hulladékfajta – építési, bontási hulladék, építéshelyi hulladék és az útbontási törmelék – hozzávetőlegesen egyenlő arányban keletkezik (CSŐKE, 2011). *Az építési- és építéshelyi törmelék, az útbontási törmelék* megfelelő előkészítés után a *kiegyenlítő, a gázgyűjtő és a szűrőrétegben* egyaránt felhasználható, de itt az elsődleges felhasználási terület az építőipar. A szűrőréteggént való alkalmazás alapvető feltétele a szennyeződés-mentesség, azaz káros anyagok nem oldódhatnak ki belőle. A *kiemelt föld* elsősorban a *rekultivációs réteg altalajaként* jöhet számításba. Hangsúlyozni kell, hogy ezek az alkalmazási lehetőségek csak a *megfelelően előkészített hulladékokra vonatkoznak*. A hulladék-anyag szennyezettségének mértékét a szállítmány beérkezésekor (előkészítés előtt) vizsgálni kell. A finom anyagrészre külön figyelmet kell fordítani, mennyiségét kémiai és ásványos összetételét meg kell állapítani, mivel a *legfinomabb rész gyakran magasabb károsanyag-tartalommal* is rendelkezik.

Az erőművi pernye: Magyarországon az eddig keletkezett pernye mennyisége becslések szerint kb. 184 millió m³, amely jól felhasználható másodnyersanyag-forrást jelenthet. A hasznosításnál számításba jöhet a hulladéklerakók rekultivációja is. A pernye elsősorban a *szigetelőréteg anyagaként* lenne hasznosítható, további adalékanyagokkal biztosítva a vízzáróságát, valamint a benne lévő szennyezőanyagok immobilizálását. Számításba jövő adalékanyagok: *bentonit, vízüveg, polimer adalékok*. Ezen adalékanyagokkal már történtek biztató kísérletek, de az eredmények hasznosítása ipari körülmények között még további laboratóriumi és in situ kísérleteket igényelnek. A pernye *kiegyenlítő réteg anyagaként is számításba jöhet*, de ekkor azt egyéb anyagokkal (salak, nem szennyezett építési törmelék, vegyes szemcseméretű talaj, stb.) keverni kell, mert a pernye anyag önmagában, az egyenletes szemcseeloszlása miatt, *nehezen tömöríthető*.

Kohászati hulladékok: A salak (ipari kőzet) az ércnek meddő alkotórészeinek, valamint a fémoldatokból eltávolítandó nemkívánatos elemeknek folyékony állapotban keletkező, majd megdermedő keveréke. Felhasználásra elsősorban a *nagyolvasztói salakok* vagy *kohósalakok* és a *konverteres acélműi salakok* jöhetnek számításba. Az *elektroacélműi salakok* hasznosítását az is *korlátozza*, hogy gyakran vízben oldható nehézfém szennyezőket is tartalmaznak. A különböző

salakanyagok alkalmazási területe a *kiegyenlítő, gázgyűjtő és –mentesítő réteg, esetleg a gyökérszáró réteg*. Ezen anyagok újrahasznosításának alapvető feltétele, hogy szennyezőanyag tartalmuk, illetőleg a *belőlük kioldódó káros anyagok mennyisége és koncentrációja* környezetvédelmi szempontból megengedhető legyen.

2.2 A hulladéklerakók anyagának felhasználása a rekultiváció során

Ezen hulladékok döntő többsége régi, korábban már felhagyott települési hulladéklerakókban, illetve inert hulladékok lerakását szolgáló depóniákban fordulhatnak elő. Az új, korszerű, EU-konform hulladéklerakók összetétele a legtöbb esetben nem megfelelő ahhoz, hogy az ott lerakott hulladékokat a rekultiváció rétegrendjébe be lehessen építeni. Ennek oka az elmúlt évtized hulladék-összetételének jelentős változása (a műanyag hulladékok arányának jelentős növekedése), illetve az, hogy a lerakótestben a lebomlási folyamatok még nem zajlottak le. A hasznosításnak ez a módja elsősorban a *felszámolásra kerülő hulladéklerakók* anyagánál jöhet számításba. Abban az esetben, ha a hasznosítás mennyisége a jelenlegi jogi szabályozás alapján meghaladja a 10 t/nap mennyiséget, a hasznosítási engedély megszerzése előtt a hasznosítás környezeti hatásainak vizsgálatára előzetes vizsgálati dokumentációt is be kell nyújtani az illetékes hatóság felé. A hulladékok előkezelési és hasznosítási tevékenysége is csak jogerős és végrehajtható engedély(ek) birtokában kezdhető meg.

A rekultivációs rétegrend kialakításának nagy anyagigénye indokolja, hogy a felszámolandó hulladéklerakókból kitermelt hulladék *frakcionálásával, válogatásával* olyan hasznosítható hulladékot lehessen nyerni, amely a helyben történő rekultiváció során a rekultivációs rétegrendbe beépíthető. A hulladék frakcionálására, szétválogatására gyakorlati tapasztalataink alapján a sikrosta alkalmas.

Az eljárás folyamata a következő:

a hulladék kitermelése;

a kitermelt hulladék feladása a rostára;

a hulladék rostálása (frakcionálás);

a hasznosítható és nem hasznosítható (ártalmatlanítandó) frakciók külön történő deponálása;

az alkalmassági vizsgálatokhoz szükséges mintavétel és analitikai vizsgálatok;

a hasznosításra való alkalmasság esetén: maga a hasznosítás;

alkalmatlanság esetén (pl. ha az anyag szennyezett, technológiailag nem alkalmas): az elszállítás és ártalmatlanítás.

A hulladék rostálását szemlélteti az **1. ábra**, amely egy olyan esetet mutat be, amikor a felszámolandó hulladéklerakókból kitermelt anyagokat helyben kívánják hasznosítani. A rostált anyagból a 60 mm feletti frakció elszállításra kerül, a 20-60 mm közötti frakció a *kiegyenlítő réteg anyagaként*, a 20 mm alatti frakció a *rekultivációs réteg anyagaként* beépíthető, ha a beépíthetőségi, valamint alkalmassági

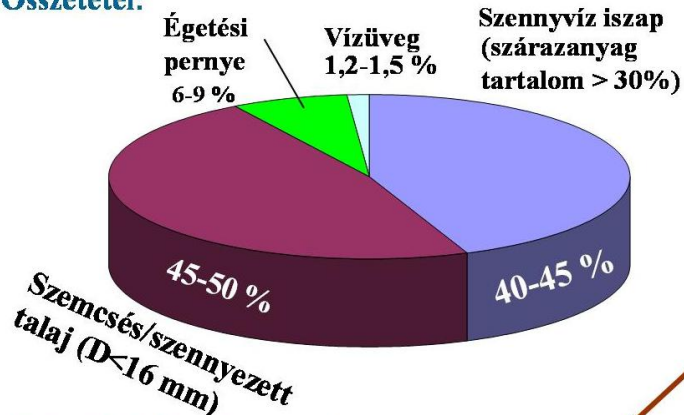
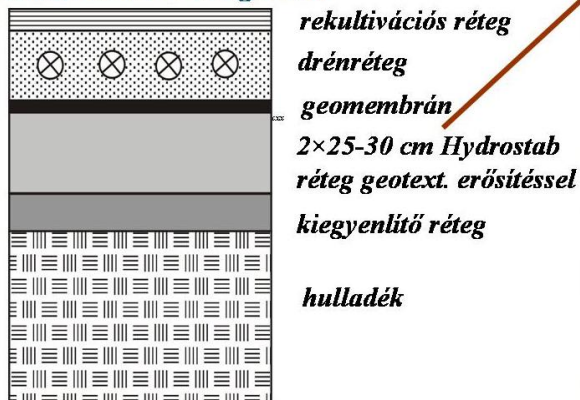
kritériumnak megfelelnek. A 20 mm alatti frakciónál különös figyelem fordítandó a szennyezettség vizsgálatára, mert a szennyezés a finom szemcsefrakcióhoz erősebben kötődik.



1. ábra: A hulladékrostálás folyamata

2.3. Kezelt, szennyezett talajok, hulladékok felhasználása a rekultiváció során

A rekultiváció során nemcsak az előző fejezetekben felsorolt hulladékok újrahasznosítással való alkalmazására van példa, hanem sikeres megoldások ismertek arra az esetre is, amikor szennyezett talajt használtak fel a rekultivációs rétegrendben. Jó példa erre az ún. Hydrostab[®] technológia, amely megoldás mind Belgiumban, mind Hollandiában alkalmazási engedéllyel rendelkezik, és eredményesen alkalmazták is több le rakó (Antwerpen, Twente) rekultivációja során. A Hydrostab[®] technológiában használt keverékek összetételét a **2. ábra** szemlélteti, s mint látható, az egyes alkotóelemek: homok, szennyezett talaj, égetési pernye, szennyvíziszap és vízüveg. Nagyon lényeges, hogy a három különböző szemcseméret-tartományba tartozó alkotórészek jól graduált, folyamatos szemeloszlási görbét adjanak, azaz a rendszer ne legyen ún. „egyszemcsés”, de szemcsefrakcióhiányos sem. Nagyon lényeges a vízüveg adalék, amely jelen esetben egy speciális termék (BELOUSCHEK *et al.*, 1990; BELOUSCHEK, 2002). Az előállított keverékanyagánál különösen fontos szempont a jó szennyezőanyag-visszatartó képesség, mert a beépítendő komponensek szennyezőanyag tartalma magas, és kívánatos, hogy ezek ne oldódhassanak ki. A *speciális ún. Terrostab vízüveg adalékkal készített szigetelőrétegben kialakuló szilikát gél biztosítja a szennyezőanyagok immobilitását, valamint az agyagrétegénél lényegesen kedvezőbb deformációs képességet* (BEUKEMA, 2001). Az elvégzett vizsgálatok (laboratóriumi és több éves in-situ) eredményei megtalálhatók SZABÓ I. (2003) anyagában.

Összetétel:**Alkalmazás****Rekultivációs rétegrend:**

2. ábra: Az ún. HYDROSTAB® technológia

A Hydrostab® anyagú zárószigetelésekkel szerzett eddigi tapasztalatok alapján megállapítható, hogy az a hagyományos agyagszigetelésekkel szemben, az adalékanyag következtében, számos előnyös tulajdonsággal rendelkezik, amelyek egy rekultivációs rétegrend szigetelő anyagánál különösen előnyösek:

- a nagyon kedvező vízzáróság (lásd **1-2. táblázatokban**, $k < 5 \times 10^{-10} \text{m/s}$);
- a jó szennyezőanyag-visszatartó képesség;
- a deformációk (süllyedéskülönbségek) jobb elviselése;
- a zsugorodásra kevésbé hajlamos (lásd **3. ábrán**), és
- a kedvező beépítési tulajdonságok.

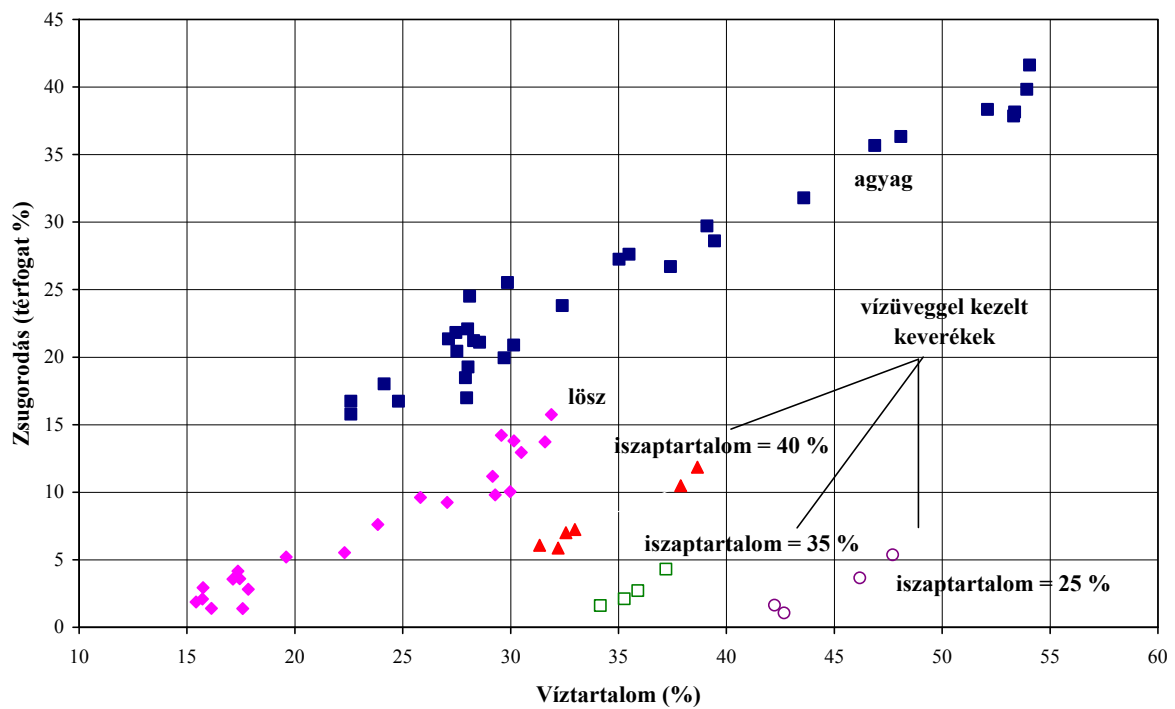
Zárószigetelő-réteggként való alkalmazásánál különösen fontos a jó vízzáróság, a zsugorodásra való kisebb hajlam, mert a kis takarási vastagság miatt a bízartalom változás nagy lehet, így a zsugorodás veszélye is nagyobb

1. táblázat

Különböző keverékek triaxiális cellában ($i=30$) mért szivárgási tényező értékei (BELOUSCHEK, P. – KÜGLER, J.U., 1995.)							
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	+	$6,0 \times 10^{-11}$

2. táblázat

A szivárgási tényező különböző időpontokban mért értékei (k; m/s) (Twente lerakó, Hollandia) (BELOUSCHEK, P. , 2002.)					
építési fázis:	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	5×10^{-10} $8,5 \times 10^{-11}$		$(3-4) \times 10^{-11}$	$(1-2) \times 10^{-11}$	$1,3 \times 10^{-11}$
III. próbamező	1×10^{-9} 7×10^{-10}	$(6-8) \times 10^{-11}$		$(5-7) \times 10^{-11}$	
IV. próbamező	$(5-7) \times 10^{-11}$	$(4-6) \times 10^{-11}$		5×10^{-11}	$2,8 \times 10^{-11}$



3. ábra: Különböző szennyvíziszap tartalmú minták zsugorodása az agyag ill. lösz alapanyagú szigetelő rétegekkel való összehasonlításban. [BEUKEMA, 2001]

A **4. táblázatban** az újrahasznosított anyagoknak a rekultiváció során történő alkalmazási lehetőségeit foglaltuk össze.

4. táblázat

Újrahasznosított anyagok felhasználási lehetőségei a rekultivációs rétegrendben *	
A felhasználás helye	Anyag
Kiegyenlítő réteg	szénbányászati fekete meddő; kieggett vörös meddő; kő- és kavicsbányászati meddőhányók anyaga; építési és építéshelyi törmelék, útbontási törmelék; erőműi pernye (keverés után); hulladékégetői salak, pernye; nagyolvasztói salakok; rostált hulladék (a 20-60 mm közötti frakció).
Gázgyűjtő, gázvezető réteg	szénbányászati fekete meddő; kieggett vörös meddő; kő- és kavicsbányászati meddőhányók anyaga, építési és építéshelyi törmelék, útbontási törmelék; nagyolvasztói salakok; konverteres acélműi salakok.
Fogadóréteg (tükör)	letakarási meddő, kiemelt föld; rostált hulladék (a 20 mm alatti frakció).
Szigetelőréteg	erőműi pernye (adalékokkal **); letakarási meddő; kis szennyezettségű talaj (adalékokkal **);
Szivárgóréteg***	építési és építéshelyi törmelék, útbontási törmelék; kavicsbányászati meddőhányók anyaga.
Gyökérzáró réteg	szénbányászati fekete meddő; kőbányászati meddőhányók anyaga; nagyolvasztói salakok (feltételesen); konverteres acélműi salakok (feltételesen); tört üveghulladék, üvegzúzalék.
Rekultivációs réteg	letakarási meddő, kiemelt föld; rostált hulladék (a 20 mm alatti frakció).
Vegetációs réteg	komposztált biohulladék
<p>Megj.: * A megengedett szennyezettségre és a beépítés geotechnikai követelményeire vonatkozó korlátok, kritériumok teljesülése esetében</p> <p>** Adalékok: bentonit, vízüveg, polimerek</p> <p>*** Anyagánál szennyezőanyag nem oldódhat ki</p>	

3. IRODALOMJEGYZÉK

BELOUSCHEK, P. - KÜGLER, J. U. - NOVOTNY, R. (1990): Wasserglas für Deponieabdichtungen; Umwelt, Band 20. No. 78. pp. 387-388.

BELOUSCHEK, P – KÜGLER, J.U. (1995.): Test fields in The dumping field Twente: Surface sealing with silicate enriched waste mixtures with active crack preventing properties. Earth mechanical aspects, (Szakvélemény, kézirat).

BEUKEMA, H.B. (2001): Construction programme for HYDROSTAB[®] impermeable layers
HYDROSTAB[®] Protocols

BELOUSCHEK, P. (2002): Ausgewählte deponietechnische Eigenschaften von Abdichtungsschichten nach der HYDROSTAB[®] - Technologie; (Szakvélemény, kézirat).

CSÓKE B. (2011): Ipari hulladékok előkészítése és hasznosítása hulladekonline.hu

SZABÓ I. – SZABÓ A. (2012): Hulladéklerakók rekultivációja és utógondozása, Miskolci Egyetem, ISBN 978-963-661-627-4, p.342.

KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS

"A tanulmány/kutatómunka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg"