

MEREDEK RÉZSŰVEL KIALAKÍTOTT HULLADÉKLERAKÓK ÁLLÉKONYSÁGI KÉRDÉSEI

Dr. Varga Gabriella

PhD; egyetemi adjunktus

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Geotechnikai Tanszék

ÖSSZEFOGLALÁS

Hulladéklerakók állékonyság vizsgálatának elvégzéséhez szükséges talajfizikai paraméterek hulladékok esetén igen nagy szórást mutatnak, jelentősen függnek az adott hulladék korától, összetételétől, tömörítettségétől, stb [1]. Jelen kutatás keretében több nagyátmérőjű fúrást, statikus és dinamikus szondázást végeztünk a Pusztazámori Regionális Hulladéklerakóban. A mintákat speciálisan erre a célra kialakított 500 × 500 mm-es nyíró berendezéssel vizsgáltuk meg. Laboratóriumi vizsgálataink eredményeinek felhasználásával különböző rézsű kialakítások mellett vizsgáltuk hulladéklerakók állékonyságát. Meredekebb rézsűszögek esetén a zárószigetelések létesítésének lehetőségeit is áttekintettük.

ABSTRACT

Stability analysis is one of the major tasks of waste management. Soil mechanical parameters needed for stability analysis vary by age, composition, compaction of waste and they exhibit great deviation, too. In this research a number of drillings, CPTu tests and dynamic penetration tests were performed in the Pusztazámor Regional Landfill. Direct shear tests were executed in purpose-built shearing equipment (500 × 500 × 400 mm). Based on the results of our laboratory tests we have tested the stability of landfills with regards to the shape of the slopes. We have also examined the impact of covers in case of steeper slope angles.

1. BEVEZETÉS

A hulladéklerakók geotechnikai vizsgálata aktuális téma hazánkban és világszerte is. Az Európai Unió előírásoknak megfelelően 2007-re minden olyan hulladéklerakót meg kellett szüntetni, amely szennyezi környezetét, illetve 2009-re minden hulladéklerakónak meg kellett felelnie az uniós szabványoknak. A felülvizsgálatot nehezíti, hogy az esetek 99 %-ában semmilyen monitoring

tevékenység nem folyt, gyakran még a behordott hulladék mennyisége sem ismert. A régi lerakók rekultiválása és az új, korszerű lerakók tervezése speciális feladatot jelent a mérnökök számára. Jelen kutatásban hulladéklerakóban végzett helyszíni mérések eredményeit értékeltük ki és vetettük össze laboratóriumi vizsgálataink eredményeivel.

LABORATÓRIUMI VIZSGÁLATOK BEMUTATÁSA

A hulladékok laboratóriumban végzett geotechnikai vizsgálatára vonatkozó hazai és nemzetközi szabályozás sem határozza meg egyértelműen a vizsgálat menetét, a szükséges minta mennyiségét, a vizsgálat sebességét és egyéb körülményeit [2]. Ezzel ellentétben a lerakók telepítésére, kémiai-biológiai vizsgálataira részletes szabályozási rendszer létezik. Ennek megfelelően az egyes eredmények összehasonlíthatósága igen nehézkes, hiszen számos szerző e körülményekre nem tér ki az eredmények ismertetésekor. Laboratóriumi vizsgálataink során az EUROCODE 7 szerint dolgoztunk. Az alkalmazott szabványokra és előszabványokra az egyes vizsgálatoknál részletesen hivatkozunk.

Víz- és szervesanyag tartalom meghatározása

A laboratóriumi feldolgozás során első lépésben a hulladékot 16 mm-nél kisebb és annál nagyobb „szemcseátmérőjű” frakciókra bontottuk szét szítással. A 16 mm-nél kisebb szemcseátmérőjű anyagokat a nemzetközi gyakorlat „talaj jellegű” alkotórészként nevezi el [5]. A hulladék e csoportját a szokásos talajmechanikai módszerekkel tudjuk vizsgálni, azaz meghatározzuk a víztartalmát, szervesanyag tartalmát és szemeloszlási görbéjét. A vizsgált minták szervesanyag tartalmát és víztartalmát az 1. táblázat mutatja.

A hulladékminták víztartalmának ismerete kiemelten fontos a geotechnikai elemzések alkalmával. A minták víztartalma a hulladék degradációja során jellemzően növekszik. A hulladék lerakását követően annak víztartalma azonnal nőni kezd, mivel egyes alkotórészek –mint a papír vagy a textil– adszorpciós úton vizet kötnek meg. A hulladék víztartalmát annak kora, az időjárás alakulása, hirtelen csapadékosabb időszakok és az évszakok változása is jelentősen befolyásolja. Mindazonáltal megállapítható, hogy a hulladék víztartalma a felszín közelében a legkisebb, majd a mélységgel folyamatosan növekszik.

A hulladék szervesanyag tartalmának változása jelentősen befolyásolja annak mechanikai tulajdonságait. A hulladék szervesanyag tartalma a degradáció folyamán csökken, azaz mélyebben kisebb szervesanyag tartalmat tapasztalunk, mint a felszín közeli, frissen lerakott hulladék rétegekben, amelyek még az első bomlási szakaszban vannak. A degradáció folyamán leghamarabb a szerves

alkotók bomlanak le, a hulladék vázszerkezete megváltozik, tömörsége megnő. Jelen kutatásban is a szervesanyag tartalom csökkenését tapasztaltuk a bomlás előrehaladtával.

Minta neve (degradációs foka)	Víztartalom (%)	Szervesanyag tartalom (%)
A (1)	32,3	63,8
B (1)	35,7	56,4
C (1)	29,5	50,1
D (2)	45,6	42,5
E (2)	54,6	40,9
F (2)	57,8	37,5
G (3)	88,5	32,6
H (3)	84,2	35,9
I (3)	79,6	35,7
J (4)	106,7	29,4
K (4)	95,7	25,6
L (4)	103,8	27,2
M (5)	121,4	18,9
N (5)	115,6	23,6
O (5)	118,9	15,3

1. táblázat. A vizsgált hulladékminták víztartalmának és szervesanyag tartalmának alakulása az egyes degradációs fázisok esetén

Közvetlen nyírókísérlet ismertetése

Hulladékok nyírószilárdsági paramétereinek meghatározása igen bonyolult feladat a minta előkészítése, beépítése és mérete miatt, ezért a korábbi kutatásokban jellemzően 5-20 vizsgálati eredmény született az egyes szerzőktől, gyakran csak egyetlen feltárásból dolgozva. Jelen kutatási folyamatban 15 db nagy nyírókísérletet végeztünk 500 × 500 × 400 mm-es nyíróládában, a feltárt hulladék nyírószilárdsági paramétereinek meghatározására. Vizsgálataink során különböző összetételű mintákat készítettünk. A vizsgált minták beépítése az amerikai javaslatok alapján történt. Első ütemben a helyszíni viszonyoknak megfelelő hulladék összetétel elérése érdekében a 16 mm-nél kisebb és nagyobb alkotórészeket a fűrés során meghatározott tömegszázalékban kevertük össze, figyelembe véve az egyes anyag típusok arányát is. A minta beépítését a feltárást során meghatározott víztartalom mellett végeztük el. A nemzetközi gyakorlatnak megfelelően a maximális alkotórész

mérete nem haladhatta meg a mérőeszköz méretének 1/6-od részét, azaz a 8,3 cm-t. A hulladékot jellemzően 8 rétegben tömörítettük be.

Vizsgálataink során 50-100-150-200 kPa normálfeszültség mellett végeztük el a kísérleteket.

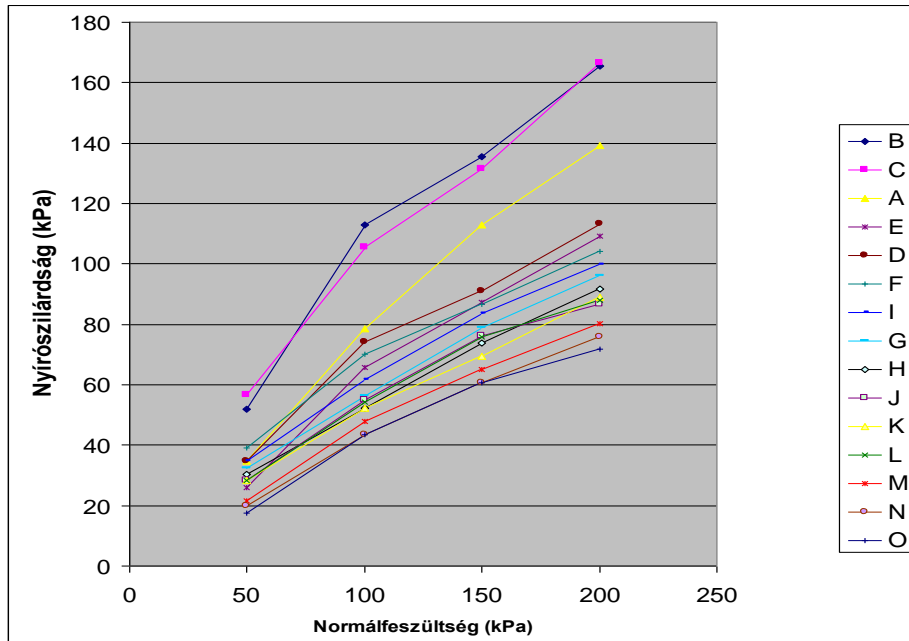


1. ábra. Közvetlen nyírókísérlet 500 x 500 x 400 mm-es nyíróládjában

Az egyes mérések alkalmával –a korlátozott alakváltozási lehetőségek miatt- a minták nem érték el a törési állapotot, ami a hulladék jellegéből fakad és a szakirodalmi adatok is hasonló tapasztalatokról számolnak be. Az eredményként kapott nyírószilárdság értékeket a normálfeszültségek függvényében a 2. ábra szemlélteti.

Mint látható, a degradáció előrehaladtával az adott normálfeszültségekhez tartozó nyírószilárdság értéke jelentősen, akár harmadára csökken, azaz a hulladéktest „teherbírása” a degradáció folyamán romlik. Minden vizsgált esetben meghatároztuk a minták belső súrlódási szögét (φ') és kohézióját (c'), amelyet a 2. táblázatban foglaltuk össze.

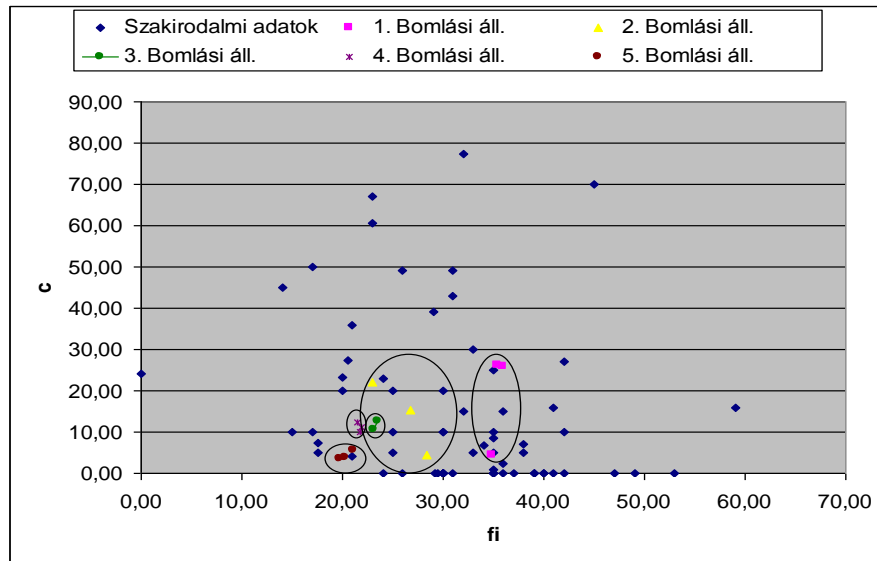
Az eredmények alapján látható, hogy a hulladék súrlódási szöge és kohéziója is csökkent a degradáció folyamán. Az általunk kapott értékpárokat a korábbi szakirodalmi adatokkal is összehasonlítottuk, amit a 3. ábra mutat.



2. ábra. A nyírószilárdság alakulása a normálfeszültségek függvényében

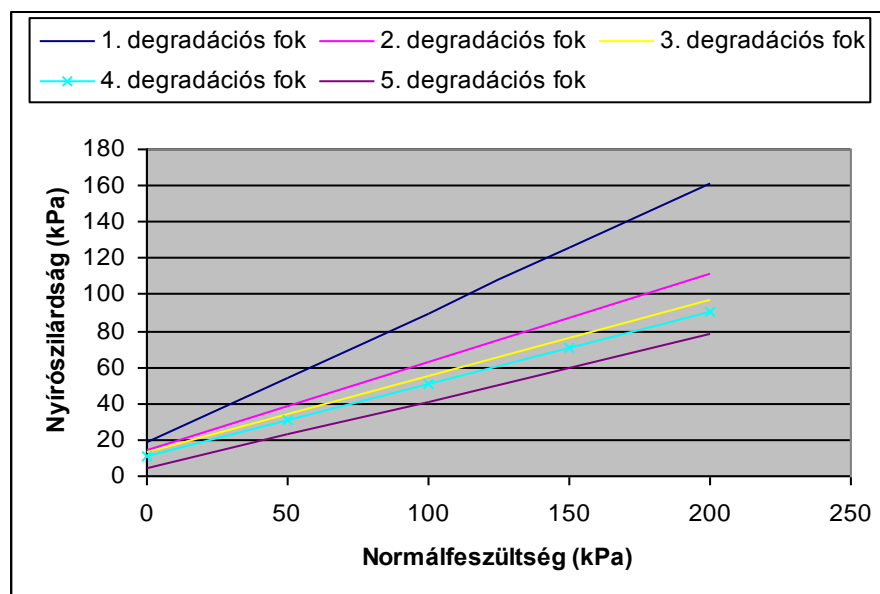
1. állapot	A	B	C
φ' (°)	34,86	35,99	35,42
c' (kPa)	4,31	25,74	26,15
2. állapot	D	E	F
φ' (°)	26,78	28,4	22,92
c' (kPa)	15,17	4,4	22,13
3. állapot	G	H	I
φ' (°)	23,08	22,35	23,46
c' (kPa)	12,68	10,59	15,67
4. állapot	J	K	L
φ' (°)	21,49	21,74	21,92
c' (kPa)	12,28	9,87	11,29
5. állapot	M	N	O
φ' (°)	21,09	20,32	19,77
c' (kPa)	5,47	3,69	3,44

2. táblázat. A belső súrlódási szög és a kohézió alakulása az egyes degradációs fázisokban



3. ábra. A belső súrlódási szög és a kohézió alakulása hulladékok esetén

Az eredmények alapján teherbírási görbéket határoztunk meg, amelyekkel a hulladék szilárdságának alakulása a degradáció folyamán jól modellezhető. A teherbírási görbéket a 4. ábra mutatja.



4. ábra. Hulladék nyírószilárdságának változása a normálfeszültségek függvényében

A teherbírási görbék segítségével a normálfeszültségek és a nyírószilárdságok ismeretében egy adott hulladékminta degradációs állapota jól becsülhető, ami a lerakó üzemeltetése, a lerakási terv és a depóniaágaz kinyerés szempontjából elengedhetetlen. A kapott teherbírási görbék lehetővé teszik a lerakók állékonyságvizsgálatainak elvégzését a teljes bomlási folyamat figyelembe vételével, ezáltal az éppen aktuális biztonság meghatározását szolgálják. Amennyiben szükséges (a jövőbeni biztonság kiszámításával) még az esetleges károsodás bekövetkezése előtt lehetőség nyílik biztonsági

intézkedések megtételére, akár a lerakási geometria megváltoztatásával, akár más mechanikai stabilizáció segítségével.

2. MEREDEKEBB RÉZSŰVEL KIALAKÍTOTT LERAKÓK ZÁRÓSZIGETELLÉSE

Meredekebb oldalfal esetén nemcsak a hulladéktest, hanem a zárószigetelő réteg állékonyságát is igazolnunk kell. A szigetelések állékonysága szempontjából kedvező, ha a rétegek között a súrlódási szög minél nagyobb [3]. A súrlódási szögek meghatározása történhet a műanyagok vizsgálatánál megszokott módon közvetlen nyírókísérlettel vagy pull-out (kihúzásos) teszttel. Jelen kutatásban közvetlen nyírókísérletek elvégzésére volt módunk.

Közvetlen nyírókísérlet ismertetése

A laboratóriumban elvégzett vizsgálataink során a kiválasztott zárószigetelő rendszerek azon tönkremeneteli felületét kerestük, amely mentén a legkisebb a megcsúszással szembeni biztonság. Közvetlen nyírókísérlettel az egymáson elmozduló rétegek közötti súrlódási szögek értékeit határoztuk meg. Vizsgálataink során különböző, a szigetelési rétegrendben egymásra kerülő rétegeket helyeztünk el a nyíródobozban. A vizsgálatokat 12-20-30 kPa normálfeszültség mellett végeztük el. A terhelések azért ilyen alacsony értékűek, mivel a záró-szigetelést csak a rekultivációs réteg és erre kerülő növényzet terheli. A következő ábrán a vizsgálatok során használt nyíródoboz látható.



5. ábra: Nyíródoboz

A laboratóriumi vizsgálatok során különböző rétegrendeket vizsgáltunk. A rétegrendeket a szigetelőrétegek alapján csoportosítottuk. Három különböző szigetelőréteget alkalmaztunk.

Kutatásunkban természetes alapanyagú, geomembrán és bentonitos szőnyeg szigetelő rendszereket vizsgáltunk geotextília, geodrén és kavics szivárgó alkalmazása mellett.

Eredmények értékelése

A vizsgálati eredmények közül, egy választott rétegrend adatait a 3. táblázat mutatja.

Geomembrán szigetelőréteg (érdes)			
	Alsó réteg	Felső réteg	Belső súrlódási szög [°]
1	<i>Kiegyenlítő réteg</i>	<i>Geomembrán</i>	37,2°
2	<i>Geomembrán</i>	<i>Szőtt geotextília</i>	21,9°
3	<i>Szőtt geotextília</i>	<i>Természetes anyagú szivárgó paplan</i>	26,8°
4	<i>Természetes anyagú szivárgó paplan</i>	<i>Szőtt geotextília</i>	26,8°
5	<i>Szőtt geotextília</i>	<i>Rekultivációs réteg</i>	31,8°

3. táblázat. Belső súrlódási szögek alakulása érdes geomembrán alkalmazásakor

Az eredményekből jól látható, hogy a fő problémát a sima geomembrán viselkedése okozza. Azon rétegrendekben, melyekben a szigetelőréteg sima felületű, a gyenge sík a geomembrán és a különböző textília vagy a geodrén között alakul ki. Az érdes felületű geomembrán sokkal kedvezőbb értékeket mutat. A sima geomembrán alkalmazása tehát zárószigetelő réteg esetén kedvezőtlen, de aljzatszigetelésben sík lerakók esetén kedvezően alkalmazhatjuk. Völgyben épített lerakók esetén az építés közbeni állékonyságvesztés lehetőségét mérlegelnünk kell. A további rétegrendekben a gyenge sík a szivárgó réteg, legyen az természetes anyagú szivárgó paplan vagy geodrén, és a geotextília között jön létre. Azokban a rétegrendekben, melyekben nem alkalmazunk geotextíliát, a veszélyes sík a szigetelőréteg és a szivárgó réteg találkozásánál jön létre. A laboratóriumi vizsgálatok eredményei alapján a meredeken kialakított oldalfalú (1:1, vagy 1:1,5) lerakók rekultivációja során szigetelőréteggént bentonit-szőnyeg vagy érdes felületű geomembrán, szivárgó réteggént pedig geodrén alkalmazását ajánljuk.

Meredek oldalfal esetén felmerül a kérdés, hogy hogyan váltható ki a rekultivációs réteg, és hogy szükséges-e [4], mivel a meredek rézsű kialakítás miatt a csapadék lefut a felszínen, kevés csapadék

jut a belsőbb rétegekre. Egy lehetséges alternatíva a geocella használata. A geocella alkalmas lehet a meredek felületen a humusz réteg megtartására, valamint a növényzet számára tartós megerősítést biztosít.

3. ÁLLÉKONYSÁGVIZSGÁLATOK

Hulladéktest állékonysága

A depóniatest vizsgálata során az általunk meghatározott belső súrlódási szög és kohézió értékeket használtuk. A pusztazámori lerakó vizsgálata során a biztonság értéke meghaladta a globális állékonyságra előírt értéket, 2,418-ra adódott. A továbbiakban megtartva a kétlépcsős rézsű kialakítást, változtattuk a meredekséget és meghatároztuk a hozzájuk tartozó biztonság értékét. Először a jelenlegi szabályozásnak megfelelő 1:3 rézsűhajlást vizsgáltuk, majd fokozatosan növeltük a meredekséget. A vizsgálatok eredményeit a 4. táblázat mutatja.

Állékonyságvizsgálat		
Meredekség	Hajlásszög	Biztonság
Eredeti	15,35°	2,418
1:3	18,43°	2,049
1:2	25,56°	1,524
1:1,7	30,47°	1,35
1:1,5	33,69°	1,262
1:1	45°	1,016

4. táblázat. Állékonysági biztonság alakulása eltérő rézsűszögek esetén

Az Eurocode által előírt 1,35-ös biztonság még az 1:1,7-es rézsűhajlás esetén is teljesül.

Zárószigetelő réteg állékonysági kérdései

A hulladéktest állékonyságnak ellenőrzése után a különböző megerősítések alkalmazása mellett, a laboratóriumi vizsgálatok alapján kiválasztott két meredek oldalfal esetén kedvezően alkalmazható zárószigetelő rétegrendek viselkedését vizsgáltuk. Első lépésben a meghatározott súrlódási értékek alapján kiválasztottuk a rétegrendekben a gyenge síkot. A 6-os rétegrend esetén a vizsgálatok alapján a csúszás az érdes felületű geomembrán és a geotextíliával borított geodrén találkozási felületén alakul ki. A másik rétegrend esetén a gyenge sík a geodrén és a rekultivációs réteg között jön létre. A szigetelőrétegek vizsgálatát is a kétdimenziós Plaxis programmal végeztük. A szigetelések esetén csak a leggyengébb réteget modelleztük, a többi réteget megoszló teherként vettük figyelembe. Az első esetben geomembránt modelleztük, a második esetben pedig a geodrén borító geotextíliát, mivel több vizsgált réteg esetén is a geotextília találkozásánál jött létre a legkisebb súrlódási ellenállás.

A Plaxis programban a felépített hulladéklerakó modell globális vizsgálatát tudtuk elvégezni. A zárószigetelés elhelyezésével a rézsű globális tönkremenetele nem változott jelentősen. A biztonsági értékeiben, valamint a csúszólapok kialakulásában nem mutatkoztak jelentős eltérések.

ÖSSZEFOGLALÁS

Az oldalfal meredekség növelésével jelentős mennyiségű többlet hulladék elhelyezését teszi lehetővé. Az **5. táblázat** megmutatja, hogy a szabványban előírt 1:3-es rézsűhajláshoz képest mekkora mennyiséggel növekszik a lerakó kapacitása, ha az oldalfalat a következő meredekségekkel alakítjuk ki.

Hulladékmennyiség növekedése	
Meredekség	Hulladék [m ³ /m]
1:2	480,5
1:1,7	624,65
1:1,5	720,75
1:1	961

5. táblázat: Hulladékmennyiség növekedése a meredekség függvényében

A hulladéktest bizonyos rézsűhajlás esetén már nem lesz állékony, ezért megerősítése szükséges. A valóságban a kialakított rézsűhajlások a hulladék ülepedésével csökkennek, ez látható a pusztazámori hulladéklerakó esetén is, hogy a valós rézsűhajlás a felmérés készítésekor kisebb volt, mint a szabvány által előírt 1.3.

A hulladéklerakó a lerakás idején még nagyobb szögben áll meg, majd a degradációval csökken a belső súrlódási szög értéke, viszont az ülepedés miatt csökken a rézsűhajlása. Ez alapján a meghatározott biztonságok szerint hosszútávon megfelelően kialakítható 1:1-es és 1:1,5-es rézsűhajlással a lerakó és a szükséges megerősítéssel a lerakó oldalfala is.

A laboratóriumi vizsgálatok alapján jól látható, hogy több alternatív zárószigetelő rétegrend alkalmazható kedvezően a természetes alapanyagú szigetelésen kívül. A természetes anyagú szigetelőréteget tartalmazó rétegrend súrlódással szembeni ellenállása kedvező, viszont a meredek oldalfalon a beépítésük, tömörítésük nehézségekbe ütközik.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Faur K. B. 2012: Hulladéklerakók magasítási lehetőségeinek ellenőrzése állékonyvizsgálattal, SZIE YMÉK 2012
2. Kavazanjian Jr. E. K. 2001: Mechanical properties of municipal solid waste. In: Proceedings of the Sardinia 2001, 8th International Waste Management and Landfilling Symposium, Sardinia, Italy, vol. 3, pp.: 415–424.
3. Szabó A. 2004: Hulladéklerakók zárószigetelési lehetőségei. Mélyépítés, 2004. január - március pp. 36-42.
4. Szabó I. 2010: Hulladéklerakók lezárása és rekultivációja II. Oktatási segédlet. Miskolci Egyetem, Hidrogeológiai –Mérnökgeológiai tanszék. pp. 41-42.
5. Zekkos, D. P., Bray, J. D., Reimer, M. F. 2006: Shear Modulus Reduction and material damping relations for municipal solid waste. Proceedings of the 8th U.S. National Conference on Earthquake Engineering, April 18-22, San Francisco, California, USA. Paper No.1324.

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"