

ÖSSZEHASONLÍTÓ TANULMÁNY POLIETILÉN HULLADÉKANYAGGAL, ILLETVE CEMENTTEL MEGVALÓSÍTOTT TALAJSTABILIZÁCIÓRÓL

COMPARATIVE STUDY ON SOIL STABILIZATION WITH POLYETHYLENE WASTE MATERIALS AND CEMENT

Ilieş Nicoleta¹, Cîrcu Alexandru-Petru², Nagy Andor-Csongor³, Ciubotaru Vlad-Costel⁴, Kisfaludi-Bak Zsombor⁵

¹Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Szerkezetek Tanszék, nicoleta.ilies@dst.utcluj.ro

²Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezet-mechanikai Tanszék, alexandru.circu@mecon.utcluj.ro

³Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Szerkezetek Tanszék, andor.nagy@yahoo.com

⁴Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Szerkezetek Tanszék, ciubotaru.vladcostel@yahoo.com

⁵Kolozsvári Műszaki Egyetem, Építőmérnöki Kar, Tartószerkezet-mechanikai Tanszék, zsombor.kisfaludi@mecon.utcluj.ro

Abstract

In some cases, the production of solid waste is experiencing an uncontrolled and continuous increase, especially wastes from plastic products. Given that the process of transforming plastic waste into raw material involves high energy consumption, plastic can be used in geotechnics. This paper is based on comparing two solutions to improve the soil. The first solution is to improve the soil with plastic waste and the second solution is to improve the soil with cement. An instability phenomenon in slopes occurs in periods with heavy rainfall. For this reason the samples are immersed in water during the direct shear test. Ongoing tests, performed as a part of the research program have shown the effect of the polyethylene waste material and cement on soil cohesion and internal friction angle.

Keywords: waste material; soil stabilization; direct shear test; polyethylene

Összefoglalás

Esetenként a szilárd hulladék termelése folyamatos és megállíthatatlan folyamatnak tűnik, különösen a műanyagszármazékok kapcsán. A műanyag hulladékok nyersanyaggá alakítási folyamatában, habár nagy mennyiségű energiát használ fel, a keletkezett termék felhasználható a geotechnika területén. Ezen dolgozat két talajjavító megoldás eredményeinek összehasonlításán alapszik. Az első megoldásnál a talaj-polietilén, míg a másodiknál talaj-cement együttest vizsgáltuk. Erős esőzésekkor felléphet a lejtők stabilizációjának problémája, ezért a közvetlen nyírási kísérleteket vízzel telített talajpróbákon végeztük. A kutatás során végzett kísérletek kimutatják a polietilén hulladékanyag és a cement hatását a talaj kohéziójára és belső súrlódási szögére.

Kulcsszavak: talajstabilizáció, közvetlen nyírási kísérlet, hulladékanyag, polietilén

1. Bevezető

A talaj-cement nem más, mint talaj, víz és cement jól tömörített keveréke. Nagymértékben alkalmazzák utak, parkolóövezetek, gátak és töltések talajalapzatának javításánál. Első alkalommal a *United States Bureau of Reclamation* (USBR) alkalmazta a keveréket a *Bonny* gát lejtőcsuszamlás elleni védelmében egy kísérleti sávban. Tízévi megfigyelés után a megoldás eredményei jónak bizonyultak [4]. A kelet-coloradói *Bonny* gyűjtő 33 évi fagyási-olvadási ciklust, illetve számtalan szárazsági vagy nedvességi periódust szenvedett el. Az eredmények elég figyelemre méltóak, annak ellenére, hogy a keverési folyamat helyben, a terepen zajlott. Eróziós üregek jöttek létre a réteg alján, az alacsonyabb cementkoncentrárum és a kisebb mértékű tömörítés miatt [4]. Az oklahomai *Optima* gátnál a Mérnöki Testület mintákat vett a stabilizáló talaj-cement keverékéből egy év elteltével, és jó eredményeket közöltek a rétegek kapcsolódásáról. *Brown* és *Root* jó rétegapcsolódásról jelentettek egy hűtő tónál a dél-texasi atomerőműnél, ahol a száraz cement kötőanyag tulajdonságait használták fel [1]. A *Cheney* gát viselkedése megtalálható *Holtz* és *Hansen, Gray Davis* és *Jones* cikkeiben [2, 3]. Romániában árvíz elleni védőgátaknál alkalmaztak talaj-cement keveréket. Az *Olt* megyei *Icoana* település *Vedea* folyóján található ilyen árvízvédelmi munkát. Itt alkalmazták először a technológiát Romániában töltések építésénél, mivel a helyi földbirtokosok idegenkedtek a nagyobb területeket elfoglaló megoldásoktól. Ily módon a töltésépítés által elfoglalt föld területe feleződött, mivel a töltéskeresztszmetzet dőlési szöge nagymértékben emelkedhetett.

A műanyag hulladékok felhasználását talajstabilizációk esetén számos kutatási programban vizsgálták világszerte. Egy *W.R. Azzram* [5] által vezetett elemzés

egy olyan alkalmazását mutatja be a polimer stabilizációnak, amellyel új nanokompozit anyagot valósítanak meg, agyagos földdel. A polipropilén stabilizáló hatását a mikrostrukturákra és agyagtulajdonságokra különböző kísérletek során vizsgálták, ahol változó polimer mennyiségeket alkalmaztak. A vizsgálatok kimutatták, hogy a keletkezett nanokompozitok töltőanyagként viselkedtek, melyek csökkentették a kezelt agyag képlékenységi és tömöríthetőségi paramétereit. Az épített beékelődés betöltötte a pórusokat, így csökkentette a térfogati zsugorodást, és egy izotróp tömöríthető anyagot hozott létre kisebb kiterjedésű kiszáradási repedésekkel. A nanokompozit méretének növelésével szintén növekedett a húzó-, illetve nyírószilárdság. *Botero* egyik munkájában [6] ismertetett egy alternatív újrahasznosítási módot, műanyag hulladékokat (műanyagpalackok szálanyagként alkalmazva) felhasználva geotechnikai építkezéseknél. A kutatás során a PET szálakkal erősített iszapos talaj mechanikai viselkedését vizsgálták. Ehhez triaxiális laboratóriumi kísérleteket végeztek (UU) 0,0 – 1,0% közötti szálanyaggal a talaj száraz tömegéhez viszonyítva. Az eredmények azt mutatták, hogy a kezelt talaj nyírószilárdsága a felhasznált szálanyag arányával növekedett. Továbbá az eredmények kimutatták, hogy a kezelt talaj deformációs kapacitása is növekedett, számos geotechnikai probléma esetben pozitív tulajdonságnak számíthat. Összefoglalva: a kezelt talaj érdekes mechanikai tulajdonságokkal bír, így felhasználható olyan szerkezeteknél, ahol magas deformációs kapacitás szükséges, mint például személtlerakók, szennyvíztisztítók és gátak esetében ahol megakadályozhatja a különféle szivárgásokat.

Más kutatások összekötötték a cement-stabilizációt a műanyag származékokkal. *Correia* egyik cikkében [7] vizsgálta a kötőanyagok és százelemek mennyiségének hatását a kötőanyaggal stabilizált rövid

százelemekkel erősített vagy erősítetlen lágy talaj mechanikai tulajdonságaira. Az eredmények kimutatták, hogy a kötőanyag koncentrációjának emelése növeli a merevséget, a nyomó- és húzószilárdságot, de kisebb hatása van százelemekkel erősített talajon. Általában kis mennyiségű százelem hozzáadása a stabilizált lágy talajhoz csökkenti a merevséget, nyomószilárdságot és nyírószilárdságot, és képlékenyebbé változtatja a törékeny viselkedést. A [8] dolgozatban *Chen* polipropilén szálakkal erősített cement-agyag-keverék szilárdsági vizsgálatát mutatja be. Az újrahaznosított polimer textil szövet tömörített útburkolatoknál volt felhasználva. A szálerősítések hatékonysági vizsgálatának érdekében laboratóriumi kísérleteket végeztek szálakkal erősített cementel vegyített *Shanghai* agyagon. A kísérletek során kétféle százelemet alkalmaztak. Az első egyszálal polipropilén szál, második pedig polimer textilanyagból származó szálköteg volt. A kísérleteket korlátlan nyomószilárdsági kísérleti berendezéssel végezték. Az eredmények kimutatták, hogy a száladalék lényegesen növelheti a cementel kezelt *Shanghai* agyag szilárdságát és képlékenységet. Mindkét százelem esetén a szilárdsági csúcsot 0,5%-os mennyiségnél érték el. Habár a polipropilén szálak esetén az eredmények jobbák, a különbségek 5% alattiak. Ezek alapján a polimer textilanyagból származó százelem is felhasználható, s ez egy nagy lépést jelenthet a hasonló anyagok újrahasznosításában.

Jelen dolgozat a korábbi, *Ilieş* által vezetett kutatások [11, 12, 13] folytatása, melyek a mechanikai paraméterek változását vizsgálták talajstabilizációk esetén, edometrikus és közvetlen nyírási berendezésekkel. Az eredmények alapján az agyagos talaj polietilénnel való keverése hasznosnak bizonyult a kompaktálási tulajdonságok tekintetében, mivel csökkentek a talajdeformációk, továbbá a keverék merev-

sége is növekedett. Meglepő módon kisebb százaléku polietilén hulladékanyag használata jobb eredményekkel járt, mint magasabb értékek esetén.

Jelen dolgozatban az alábbi jelöléseket alkalmaztuk:

- c kohézió,
- c_{rez} maradó kohézió,
- φ legnagyobb belső súrlódási szög,
- φ_{rez} maradó belső súrlódási szög.

2. Anyagok és módszerek

Az elvégzett kísérletek fő célja a nyírási paraméterek változásának vizsgálata cement- vagy polietilén adalék esetén 2, 4, 6 és 8%-os mennyiségekben. A kezdeti paraméterek meghatározása érdekében szűrővizsgálatokat végeztünk. Az eredmények kimutatták, hogy a talaj iszapos agyag. A minták származási helye egy Kolozsvár melléki telep, 1 méter mélységből.

1. táblázat. Talajszemcse-méreték

Talajtípus	Átmérő [mm]	Százalék
Agyag	Cl: $d < 0.002$	24.35
Iszap	FSi: $0.002 < d < 0.0063$	14.87
	MSi: $0.0063 < d < 0.02$	34.16
	CSi: $0.02 < d < 0.063$	14.23
Homok	FSa: $0.063 < d < 0.2$	12.39

A minta fizikai tulajdonságai a **2. táblázatban** találhatóak. A duzzadási-zsugorodási potenciált figyelembe véve a talaj egy aktív agyag.

Az optimális víztartalom meghatározása érdekében végeztünk egy Proctor vizsgálatot. Az eredményezett görbe alapján az optimális víztartalom 19%.

A talajminta kohéziója és belső súrlódási szöge meghatározható a közvetlen nyírási kísérlet segítségével. A kísérletsorozat három mintát igényel, egy adott nyírási felületet, de három különböző függőleges nyo-

másértéket. Az eredményeket feltüntetve a koordináta-rendszerben három pontot kapunk, amelyeket összekötve, a Coulomb-egyenesen keresztül meghatározhatjuk a kohéziót és a belső súrlódási szöget. Az első minták az eredeti vízzel telített talajminták. A kísérlet az **1. ábrán** figyelhető meg.



1. ábra. Közvetlen nyírási kísérlet vízzel telített mintával.

2. táblázat. Fizikai tulajdonságok

Tulajdonság	Átlagérték
Víztartalom, w	17,48%
Térfogatsúly, γ_s	26,68 kN/m ³
Száraz térfogatsúly, γ_d	17,17 kN/m ³
Nedves térfogatsúly, γ	20,17 kN/m ³
Porozitás, n	35,51%
Hézagtenyező, e	0,55
Sodrasi határ, w_p	17,38%
Folyási határ, w_l	42,81%
Plasztikus index, I_p	25,42%
Konzisztencia index, I_c	1,00

A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 74,48$ kPa, $\varphi = 13,35^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 21,57$ kPa, $\varphi_{rez} = 9,75^\circ$.

A második rend kísérlet 2%-os cementtalaj keveréken zajlott. A minták az elnyírt felülettel a **2. ábrán** láthatók.



2. ábra. Közvetlen nyírási kísérlet mintái

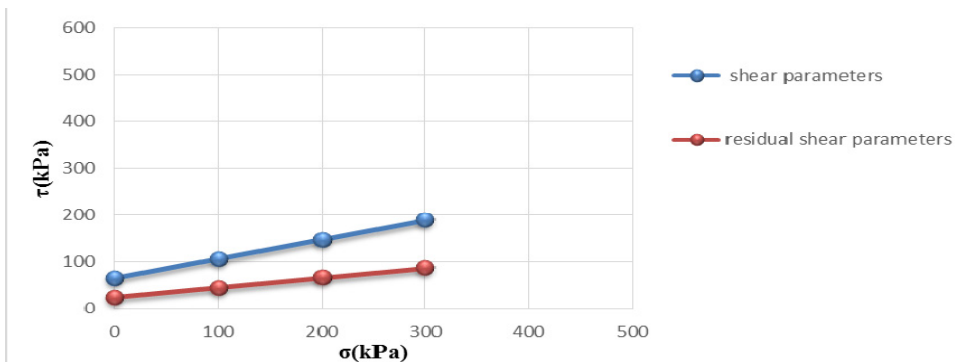
A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 66,44$ kPa, $\varphi = 22,29^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 24,97$ kPa, $\varphi_{rez} = 11,83^\circ$, a-mint a **3. ábrán** is megfigyelhető. Kis mennyiségű cement hozzáadásával nőtt a belső súrlódási szög, és csökkent a kohézió. A kék vonal jelenti a Coulomb-egyenes az első szakaszban, míg a piros a maradó nyírási értékeket jelzi. Körök jelképezik a 100, 200, illetve 300 kPa-os függőleges nyomásokra a nyírási paramétereket.

A harmadik kísérletnél a cementtartalom 4%-os. A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 47,77$ kPa, $\varphi = 35,01^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 12,63$ kPa, $\varphi_{rez} = 34,14^\circ$, ahogy a **4. ábrán** is megfigyelhető. A cementtartalom növelésével a kohézió továbbra is csökken, míg a belső súrlódási szög nő.

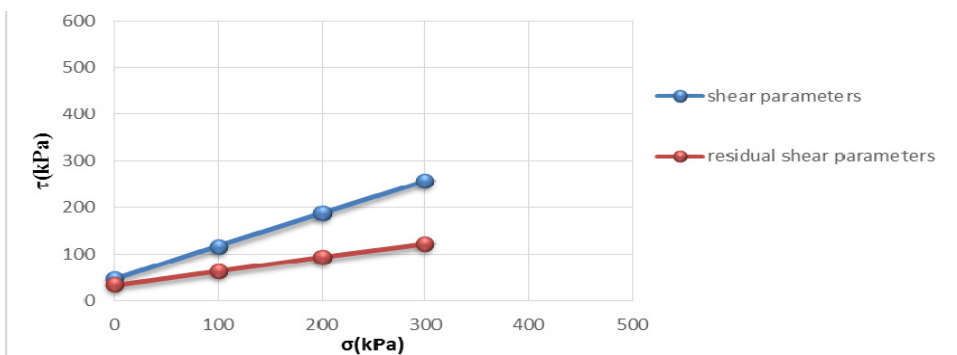
A cementtartalom további növelésével már 6%-os értéken történt a negyedik vizsgálat. A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 80,62$ kPa, $\varphi = 30,66^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 12,57$ kPa, $\varphi_{rez} = 20,48^\circ$, ahogy az **5. ábrán** is megfigyelhető. A negyedik vizsgálat a kezdeti kohézió és a belső súrlódási szög értékénél is nagyobbakat eredményez.

Az utolsó, 8% cementel kevert talaj vizsgálatával ellenőrizhető, hogy a nyírási paraméterek változása követi-e az eddig megfigyelteteket. A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 108,76$ kPa,

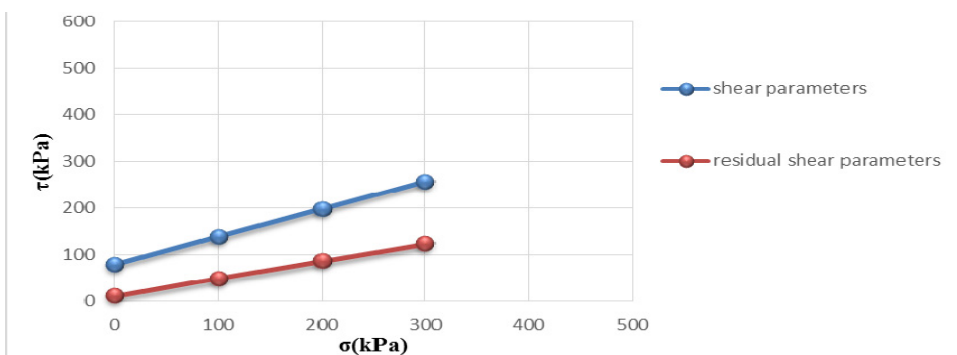
$\varphi = 27,90^\circ$, a maradó értékek pedig vizsgálatnál a kohézió továbbra is nőtt, míg $c_{rez} = 9,28$ kPa, $\varphi_{rez} = 24,75^\circ$, ahogy a a belső súrlódási szög csökkenni kezdett.
6. ábrán is megfigyelhető. Ezen utolsó



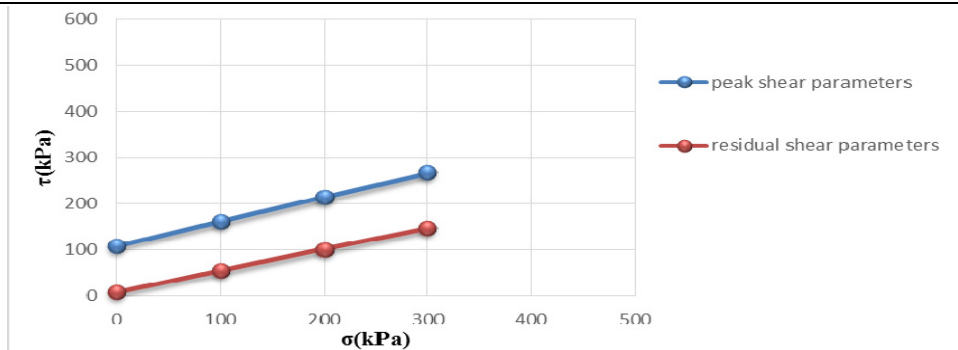
3. ábra. Coulomb-egyenes 2%-os cement-talaj esetén.



4. ábra. Coulomb-egyenes 4%-os cement-talaj esetén.



5. ábra. Coulomb-egyenes 6%-os cement-talaj esetén.



6. ábra. Coulomb-egyenes 8%-os cement-talaj esetén

A kutatás következő lépésében polietilénzármazékkal kevert talajmintákat vizsgáltunk hasonló 2, 4, 6 és 8% mennyiségekben adagolva. A talajstabilizációhoz polietilén szemcsék voltak alkalmazva egy helyi újrahasznosítóból. A polietilén-talaj keverék összeállítása optimális víztartalomnál történt (19%), és a közvetlen nyírási kísérletek a cement-talaj nyírási vizsgálatához hasonló körülmények között mentek végbe.

Az első kísérlet 2%-os polietiléntartalmú mintákon történt. A kísérlet utáni minták megfigyelhetők a 8. ábrán.

3. táblázat. A polietilén hulladékanyag granulometrikus elemzése

Eredeti tömeg [g]: 500		
Rosta mérete	Fenntartott anyag tömege [g]	Tömeg százalék [%]
4 mm	215	43
2 mm	175	35
1 mm	85	17
0,5 mm	17,5	3,5
0,25 mm	7,5	1,5

A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 19,60$ kPa, $\varphi = 24,47^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 1,12$ kPa, $\varphi_{rez} = 14,19^\circ$, ahogy a 12. ábrán is megfigyelhető.

Tehát polietilén kismértékű adagolása esetén az eredeti értékekhez képest a belső súrlódási szög nőtt.



7. ábra. Talaj-műanyag minta



8. ábra. 2%-os polietilén-talaj keverék mintája és annak nyírási felülete

A második kísérletnél a polietilén-arányt megnöveltük 4%-osra. Ezen mintákat a **10. ábrán** mutatjuk. A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 31,41$ kPa, $\varphi = 21,53^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 18,13$ kPa, $\varphi_{rez} = 9,62^\circ$, ahogy a **13. ábrán** is megfigyelhető. A polietilén-szemek arányának növelésével egyidejűleg nőtt a belső súrlódási szög értéke is, mivel több szem került a nyírási felületre így növelve a nyírási szilárdságot.

A polietilén arányát tovább növeltük 8%-ra, amint a **10. ábrán** is látható.



9. ábra. 4%-os polietilén-talaj keverék mintája és nyírási felülete



10. ábra. 6%-os polietilén-talaj keverék mintája és nyírási felülete

A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 5,97$ kPa, $\varphi = 27,79^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 0,00$ kPa, $\varphi_{rez} = 19,94^\circ$, ahogy a **14. ábrán** is megfigyelhető. A további polietilénarány növelése befolyásolta a belső súrlódási szög mellett a kohéziót is. Habár a kísérletek során a minták vízzel telítettek voltak, a maradó kohéziós érték 0 kPa.

Az utolsó kísérlet során a 8%-os polietilénnel rendelkező mintákat vizsgáltuk a kirajzolódó tendencia ellenőrzésére. A 8%-os polietilén-talaj minták a **11.a.** és **b.** képeken mutatjuk.



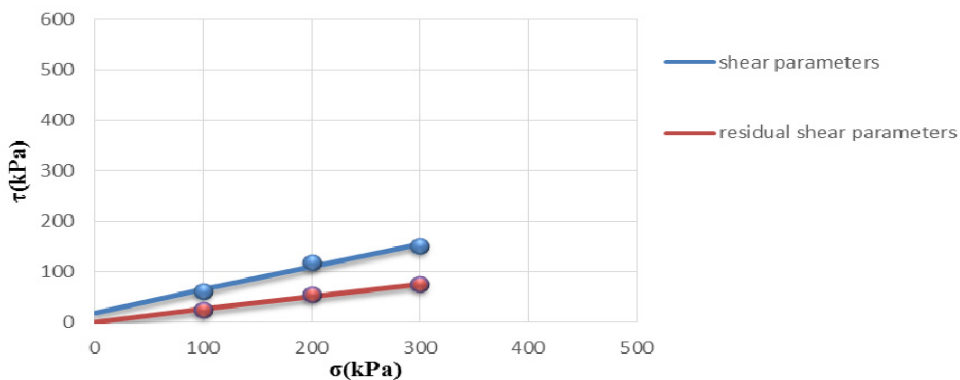
11.a. ábra. 8%-os polietilén-talaj keverék mintája és nyírási felülete



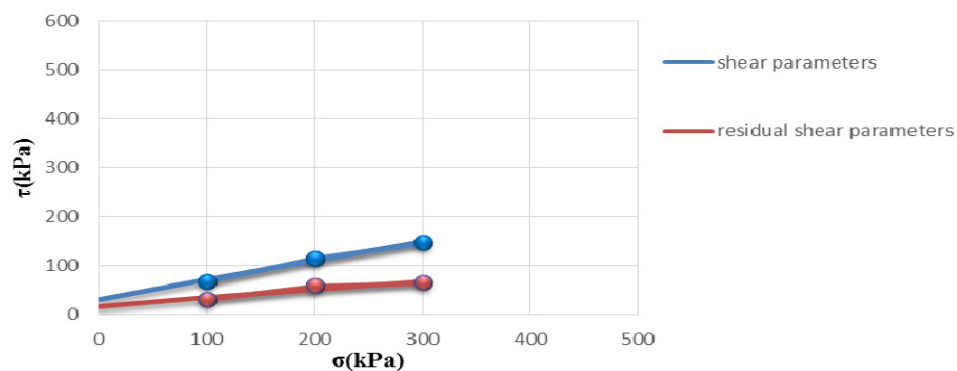
11.b. ábra. 8%-os polietilén-talaj keverék nyírási felülete

A kohézió és a belső súrlódási szög értékei: $c = 10,57$ kPa, $\varphi = 28,26^\circ$, a maradó értékek pedig $c_{rez} = 7,90$ kPa, $\varphi_{rez} = 17,64^\circ$, ahogy a **15. ábrán** is megfigyelhető. Habár kis növekedés észlelhető a kohéziós értékben a 6%-os mintához

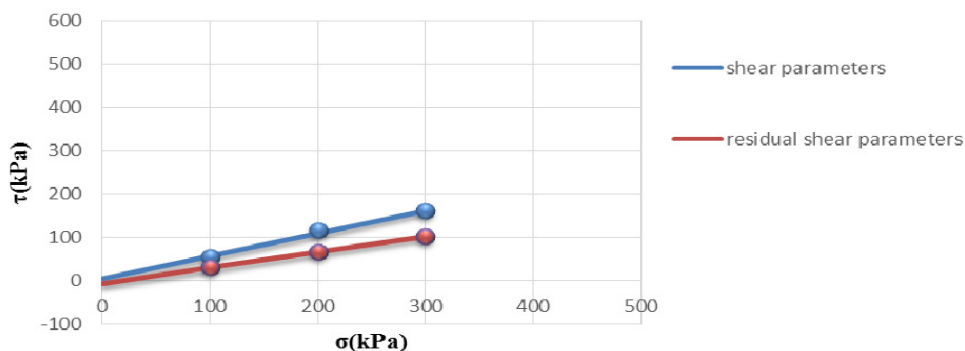
képezt, az eredmények mégis alacsonyabb értékűek, mint a 4%-os mintában.



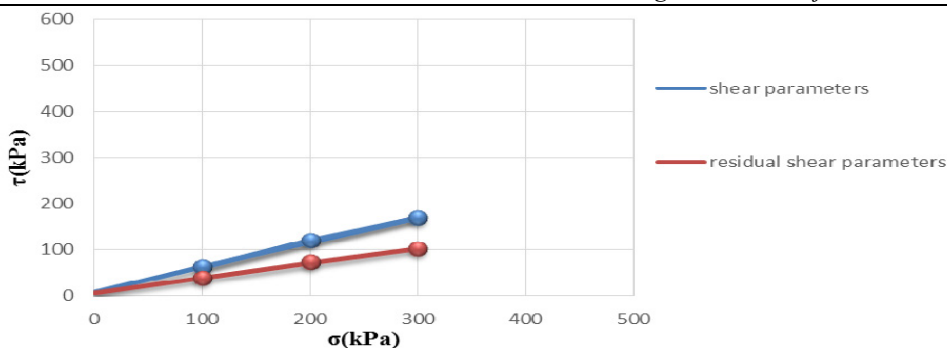
12. ábra. Coulomb-egyenes 2%-os polietilén-talaj esetén.



13. ábra. Coulomb-egyenes 4%-os polietilén-talaj esetén.



14. ábra. Coulomb-egyenes 6%-os polietilén-talaj esetén.



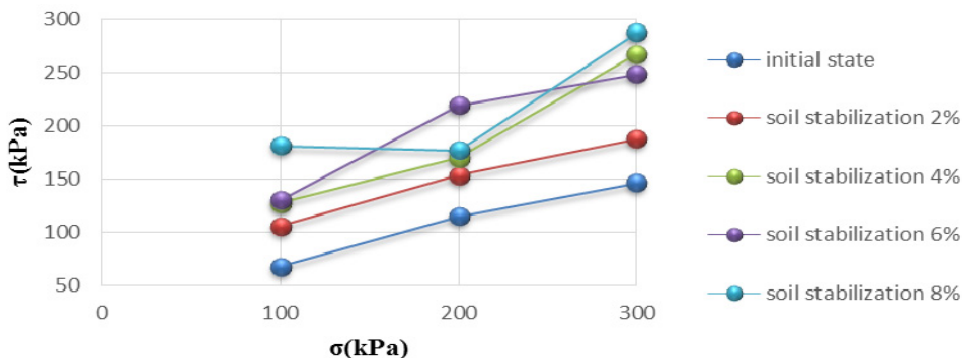
15. ábra. Coulomb-egyenes 8%-os polietilén-talaj esetén.

3. Eredmények és értékelések

A közvetlen nyírási kísérlet eredményeit összevetve megfigyelhetjük, hogy cement adagolásával a kohézió növekedett. A cement arányának növelésével a belső súrlódási szög értéke is növekedett már a 2%-os adagolási értéktől kezdődően. A 2 és 4%-os értékek növekedése után a 6%-os minták értékei már csökkenő tendenciát mutatnak, amit a 8%-os minták igazolnak, habár a kezdeti eredményhez képest így is kétszereznek az értékek. A legkiegyensúlyozottabb értékek 6%-os cementadagolás esetén je-

lentkeztek. A közvetlen nyírási kísérlet eredményei a **4. táblázat**ba vannak foglalva.

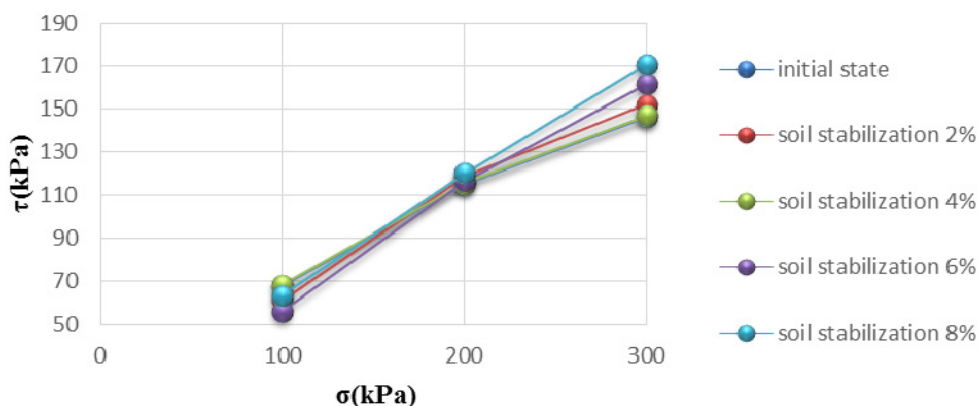
A talaj-polietilén keverékek eredményeinek összevetése a **17. ábrán** található. Megállapítható, hogy a polietilén adagolása növelte mind a kohézió, mind pedig a belső súrlódási szög értékeit. A 4%-os keverék kohéziós értéke a legmagasabb, míg a 8%-al rendelkező minták belső súrlódási szöge bizonyult a legnagyobbak az összes polietilén-talaj minta közül. Ezen eredményeket az **5. táblázat** tartalmazza.



16. ábra. Coulomb-egyenesek a cement-talaj mintáknál.

4. táblázat. Közvetlen nyírési kísérlet eredményei (talaj-cement minták)

σ [kPa]	τ max [kPa]				
	Természetes minta	2%-os cement	4%-os cement	6%-os cement	8%-os cement
100	67,58	105,14	126,94	129,75	180,81
200	115,22	153	169,58	219,53	176,67
300	146,33	187,11	267,03	248,33	287,06
Maradó értékek					
100	41,19	40,33	68,94	51,08	62,58
200	53,08	78,03	83,97	84,94	87,06
300	78,67	82,22	128,67	125,78	154,78



17. ábra. Coulomb-egyenesek a polietilén-talaj mintáknál.

5. táblázat. Közvetlen nyírési kísérlet eredményei (polietilén-talaj minták)

σ [kPa]	τ max [kPa]				
	Természetes minta	2%-os polietilén	4%-os polietilén	6%-os polietilén	8%-os polietilén
100	67,58	61,17	68,14	56,08	63,25
200	115,22	118,47	115,78	116,58	120,58
300	146,33	152,17	147,06	161,50	170,78
Maradó értékek					
100	41,19	24,56	31,69	30,36	38,72
200	53,08	55,42	58,83	67,94	73,47
300	78,67	75,14	65,61	102,92	102,33

4. Következtetések

A polietilén anyagok használata talaj-stabilizációhoz környezetbarát meg-

oldásnak tekinthető. A polietilénszemek gyártási folyamata kisebb ökológiai lábnyommal bír, mint a cementé vagy más kötőanyagé. Figyelemre méltók a 4%-os

polietilén adagolású minták eredményei. Összehasonlítva ezen 4 %-os polietilén-minták eredményeit a megfelelő cement-adagolású minták eredményeivel megállapítható, hogy a kohézió 52%-kal kisebb, míg a belső súrlódási szög 63%-kal a polietilén-talaj esetén. Annak ellenére, hogy a cement-talaj minták eredményei magasabb értékűek, előállításuk folyamatának szénkibocsátása nagyobb, így kevésbé környezetbarátok.

Köszönetnyilvánítás

A műanyag származékokkal történő talajstabilizációs kutatási program a Kolozsvári Műszaki Egyetem által kezdeményezett *Internal Research Grant CI 7/1.2/2015: Soil stabilization with plastic waste materials in order to improve physical and mechanical characteristics* keretében valósult meg.

Külön köszönet illeti ing. *Ilieş Dorut – S.C. Diren Exim S.R.L.*, a polietilénszármazékok biztosításáért. A cement-talaj típusú stabilizációkkal részletesebben *Cîrcu, Ciubotaru* és *Crăciunescu* foglalkoztak mesteri tézisükben [14].

Szakirodalmi hivatkozások

- [1] Dinchak W.B., *Soil-cement: it's not just for highways anymore*. Concrete Construction January, 1984.
- [2] Holtz, Hansen, *The use of compacted soil-cement in water control structures*. 12th Congress of Large Dams, Mexico City, Mexico, 1976.
- [3] Davis G., Jones, *The Use of soil-cement for slope protection*. Eleventh Congress of Large Dams, Madrid 1973.
- [4] U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, *Design Standards No. 13- Embankment Dams Chapter-17: Soil-Cement Slope Protection Final: Phase 4*, 2013.
- [5] Azzam W.R., *Behavior of modified clay microstructure using polymer nanocomposites technique*. Alexandria Engineering

- Journal, Faculty of Geoen지니어ing, 12(2013) 143-150.
- [6] Botero E., Ossa A., Sherwell G., Ovando-Shelley E., *Stress-strain behavior of a silty soil reinforced with polyethylene terephthalate (PET)*. 43 (2015) 363-369.
- [7] Correia A.A.S., Oliveira P.J.V., Custodio D.G., *Effect of polypropylene fibres on the compressive and tensile strength of a soft soil, artificially stabilized with binders*. Geotextiles and Geomembranes, 43(2015), pp. 97-106.
- [8] Chen M., Shen S.L., Arulrajah A., Wu H.N., Hou D.W., Xu Y.S., *Laboratory evaluation on the effectiveness of polypropylene fibers on the strength of fiber-reinforced and cement-stabilized Shanghai soft clay*. Geotextiles and Geomembranes, 43 (2015), pp. 515-523.
- [9] Vyas S., Phougat N., Sharma P., Ratnam M., *Stabilization of Dispersive Soil by Blending Polymers*, International Journal of Earth Sciences and Engineering, 04(2011), pp. 52-54.
- [10] Cristelo N, Cunha V.M.C.F., Dias M., Gomes A.T., Miranda T., Araújo N., *Influence of discrete fibre reinforcement on the uniaxial compression response and seismic wave velocity of a cement-stabilized sandy-clay*. Geotextiles and Geomembranes, 43(2015), pp. 1-13.
- [11] Ilies N.M., Farcaş V.S., Gherman M.C., Chiorean V.F., Popa D., *Soils efficient improvement solutions with waste materials and binders*. Journal of Environmental Protection and Ecology, Vol. 16, Issue: 4, 2015, pp. 1397-1406 (ISSN: 1311-5065).
- [12] Ilies N.M., Farcaş V.S., Mureşan O.C., Gherman M.C., Chiorean V.F., Nagy A.Cs., *Îmbunătăţirea pământurilor argiloase cu deşeuri din polietilenă*. A XIII-a Conferinţă Naţională de Geotehnică şi Fundaţii – Cluj-Napoca, 07-10 septembrie 2016, pag. 249-258 (ISSN–L 1844 – 850X, Print: ISSN 1844-850X, CD-Rom: ISSN 2285 – 5831).
- [13] Ilies N.M., Farcaş V.S., Mureşan O.C., Gherman M.C., Chiorean V.F., *Soil improvement with polyethylene waste materials in order to improve mechanical parameters*. 16th International Multidiscipli-

- nary Scientific Geoconference & Expo SGEM, 2016, Albena, Bulgaria.
- [14] Cîrcu Al.P., Ciubotaru V.C., Crăciunescu B., *The soil improvement with hydraulic binders experimented to the levees*. MSc Thesis in geotechnical engineering, T.U. of Cluj-Napoca, Romania, 2016.
- [15] Ilieş N.M., Cîrcu Al.P., Nagy A.Cs., Ciubotaru V.C., Kisfaludi-Bak Zs., *Comparative study on soil stabilization with polyethylene waste materials and binders*. INTER-ENG 2016.