

Homokos kavics réteg kiváltása stabilizált talajjal, ásványi adalékkal

Replacement of a gravel layer with stabilized soil and mineral additives

drd. FÜLÖP Balázs-Csaba¹, dr. prof. KÖLLŐ Gábor², dr. KRISTÁLY Ferenc³

1 S.C. Inreco Remix S.r.l., Str. Mureseni, Nr. 50, Marosvásárhely, Maros megye, www.inreco.ro

2 Kolozsvári Műszaki Egyetem (UTC-N), Építőmérnöki kar, str. Memorandumui,
nr. 28, Kolozsvár, Kolozs megye, www.utcluj.ro

2 Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Egyetem út 1, www.uni-miskolc.hu/

Abstract

Recycling, reusing is becoming an increasingly important issue today. We engineers are responsible to our society for choosing the most suitable technology. The executed works greatly influences the environment and thereby the future of our own and our children. After the economical crisis, the designers and engineers started to think more and more ECO= Economic & Ecologic. Comparison the soil stabilization with changing the bad soil with a better one or with a gravel layer the conclusion is: less execution time, less material transported, less energy consumed and less impact on the environment

Kivonat

Napjainkban egyre nagyobb szerepet kap az újra felhasználás, újrahasznosítás. Mi mérnökök, felelősséggel tartozunk a közösségünknek, azáltal, hogy a legmegfelelőbb technológiákat választjuk. Az elvégzett munkálatok nagyban befolyásolják környezetünket, ezáltal a mi és gyerekeink jövőjét is. A gazdasági válság után úgy az építésszek, mint a mérnökök egyre jobban kezdtek ECO= Economic & Ecologic (Gazdaságos & Környezetbarát) módon gondolkodni. Összehasonlítva a talaj stabilizációt a gyenge talaj jobb minőségűre vagy homokos-kavicsra cserélésével a következőket vonhatjuk le: kevesebb kivitelezési idő, kevesebb szállítás, kevesebb felhasznált energia és kevesebb hatás a környezetre

Kulcsszavak: talajkezelés, talajstabilizáció, zeolit, zöldcement

1. TALAJOK MECHANIKAI PARAMÉTEREINEK NÖVELÉSE

Az érvényben lévő földmunkára vonatkozó európai szabvány szerint, egy anyag (esetünkben talaj) kötőanyaggal való kezelése az a folyamat amely során az anyagot összekeverjük mésszel vagy hidraulikus kötőanyaggal és szükség esetén hozzáadott vízzel. A beavatkozás lényege a gyenge minőségű anyagok (talajok) mechanikai tulajdonságának a javítása földmunkákba való beépítés esetén.

A talaj kezelésnek az elvárt eredmények típusainak és időtartamának függvényében két típusát különböztethetjük meg:

1.1. Hidrát reakciók által

Ilyen esetben a hozzáadott kötőanyag feladata a talaj mechanikai tulajdonságainak a javítása, szemcseközi kötések és aggregátumok kialakításával. Ez a fajta stabilitás általában rövid távon marad fent, a kötés kémiaiilag degradálódik és lebomlik. A hozzáadott kötőanyag sem minőségben, sem mennyiségben nem elegendő tartós komponensek kialakítására, jelentős és maradandó minőségbeli különbségek biztosítására. A technológiának ezen változatától elvárható rövid távú javulások: fizikailag kötött víztartalom és ezáltal a képlékenység, fagy- és vízerzékenység csökkenése, valamint a tömöríthetőség javulása.



1. ábra

*Tömörség mérés talaj javítás után:
Aeroport Transilvania Târgu Mureș / Hala NTN Sibiu*

1.2. Stabilizáló anyagokkal

A stabilizálás akkor jön létre, amikor a talaj és kötőanyag homogén keverékéből (szükség esetén hozzáadott vízzel), megfelelően tömörítve, egy minőségileg messzemenően magasabb mechanikai jellemzőkkel bíró anyagot kapunk. Ezen jellemzők hosszú időtartamra megmaradnak, az így létrejött anyag stabil marad még víz vagy fagy hatására is. Ilyen esetben a hidrát reakciókat kiegészítjük reaktív felületű és szerkezetű anyagok bevitelével, mint bontási hulladék [1], klinkerörlemény [2] vagy zeolitot [3] hordozó termékek.



2. ábra

Helyszíni CBR vizsgálat stabilizált talajon: Aeroport Transilvania Târgu Mureș

KRITIKUS TERÜLETEK, POZITÍV HATÁSOK:**2.1. Magas víztartalom**

Amennyiben a talajok víztartalma meghaladja a tömörödéshez szükséges optimális szintet (W_{opt}), annak mechanikai tulajdonságai negatívan változnak, nem tömörödnek. Szmektit dús esetben annyira megnőhet víztartalmuk, hogy elérik a telítettségi szintet (W_{sat}), így beszivárgás nem történik (3 ábra). Ezekben az esetekben, ha megtörtént a vízelvezetés, akkor az újabb optimális víztartalom beállása a száraz, csapadékmentes időszaktól és annak hőmérsékletétől függ. Ezen folyamat felgyorsítására bevált gyakorlat a talajok meszes kezelése, szárítása. A CaO és víz közötti heves exoterm reakció hője kétszeres hatással víztelenít, egyrészt kristályos formába köti $Ca(OH)_2$ szerkezetébe, másrészt párologtatja a vizet. A $Ca(OH)_2$ idővel átalakul $CaCO_3$ valamely formájába, amely cementáló hatású, de vízfelszabadulással jár. Ezt a hatást ki lehet zárni, ha hidrát reakciókra képes szilikátos adalékot viszünk be, mint a betonmátrix szilikátjai vagy a klinkerásványok (pl. wollastonit, gehlenit). Ezek által a mészhidrát \rightarrow karbonát lépcső kiválható, a stabilizálást szilikátos mátrix hozza létre. A folyamat tovább optimálható, ha vízmegkötő kristályos anyagok is részt vesznek a reakciókban, ilyen ásványok tipikusan a zeolitok, akár természetes akár szintetikus forrásból.



3. ábra

Talaj javítás: Zollner, Szatmárnémeti

2.2. Talaj fizikai javítása

Azon talajok melyeknek agyagtartalma, főleg a szmektit és szabálytalanul közberétegzett illit-szmektit nagyon magas az alacsony homoktartalom mellett, rendszerint érzékenyek a víz hatásaira: magas víztartalomnál kitágulnak és alacsony víztartalom esetén összehúzódnak (PUCM) (3 ábra). Ez a jelenség nagy veszéllyel bír minden építkezésre, hisz a folytonos szintváltozás meggyengítheti az alapokat és az egész rendszerben károkat okozhat. Az ilyen típusú talajokra való alapozást szabványok írják elő. Ezen nagy táulások csökkenését (UL) a CaO-os talajkezeléssel érhetjük el, így a magasabb plasztikus indexű talajokból ($I_p > 12$) egy könnyebben kezelhető talajt hozunk létre, amelynek vízérzékenysége jelentősen csökken. A magas mészigény csökkenthető szemcsés adalékok bevitelével, amelyek fizikailag nem változnak a stabilizáló reakciók során, azaz a szemcseméretüket megtartják. A homokfrakció méretére gyártott zeolit például javítja plasztikus indexet (I_p) valamint köti a szabad vizet megakadályozva az agyagos rendszer térfogat változását (UL).

2.3. Teherbírás növelése

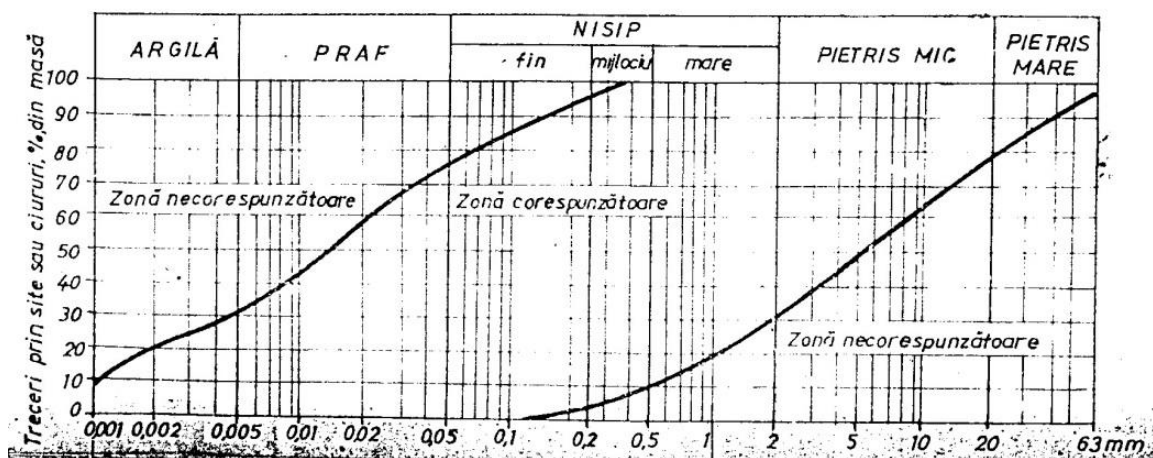
Minden építmény valamilyen szinten az alatta levő földmunkára támaszkodik. Annak minősége és teherbírása kihat az egész építmény szerkezetére. Az itt felhasználható talajtípusokat szabvány rangsorolja és a gyenge talajokat (4d, 4e, 4f) csak stabilizálva engedi földtöltésben felhasználni. Legelterjedtebb felhasználási terület az olyan építkezések, amelyek nagy földmunkával rendelkeznek, mint például autópályák (4 ábra) és nagyobb gyárak. A megfelelő hidraulikus kötőanyag tartalma (mész, cement és keverékek) próbaszakasszal állapítható meg, nyomon követve a földmunka teherbírásának és tömörségének növekedését [10].



4. ábra

Talajstabilizálás: A10-es autópálya Lot4

Az érvényben levő szabványok, úgy a rugalmas, mint a merev pályaszerkezetnél, az út alapozásban csak a szemcsés anyagokat (homokos kavics, stabilizált homokos kavics, kő, zúzott kő) és mechanikailag stabilizált talajt enged használni. A hidraulikus kötőanyaggal stabilizált talajt, a földmunka felső rétegén kialakított javító rétegnek (strat de formă) lehet alkalmazni. Előállítását és minőségi követelményeit a CKT-vel közös szabvány írja elő. Ezen szabványok nem kezelik külön a talaj és homokos kavics stabilizációját, így az elvárásokat sem sikerül elhatárolni.



5. ábra

Stabilizálható szemcsés anyagok, STAS 10473-1, tabel 2

Továbbá minőségbeli kritériumokat csak a beépítendő réteg függvényében határoznak meg, ennek fő követelménye a 7 és 28 napos törési eredmények (R_{c7} , R_{c28}):

Nr. crt.	Denumirea stratului și al lucrării	Rezistența la compresiune la vîrsta de 7 și 28 zile, N/mm^2		Stabilitatea la apă, %, max.			Pierdere de masă, %, max	
		R_{c7}	R_{c28}	Scăderea rezistenței la compresiune ΔR_{ci}	Umflare volumică U_i	Absorbție de apă A_i	Saturare, P_{su}	Îngheț-dezgeț P_{td}
1	Strat de bază pentru sisteme rutiere nerigide, platforme și locuri de parcare	1,5...2,2	2,2...5,0	20	2	5	7	7
2	Strat de fundație pentru sisteme rutiere nerigide sau rigide; consolidarea benzilor de incadare și a acostamentelor	1,2...1,8	1,8...3,0	25	5	10	10	10
3	Strat de formă	0,8...1,2	1,2...2,0	—	—	—	—	—

6. ábra

Minőségbeli kritériumok, STAS 10473-1, tabel 3

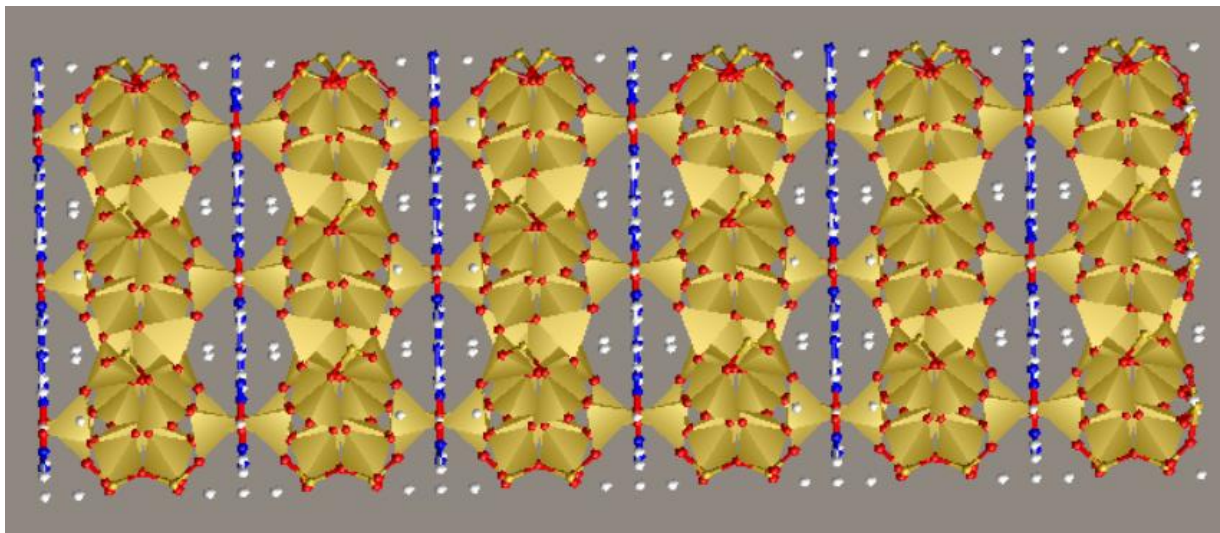
3. LABORVIZSGÁLATOK FONTOSÁGA

3.1. Talajtípus és kötőanyag optimalása

Több szabvány is előírja a talajok stabilizációját, annak fontosságát és alkalmazási területeit. A felhasználandó hidraulikus kötőanyagokat tekintve két csoportot különböztethetünk meg:

- Meszes kezelés: magas agyagtartalmú, nagy plasztikus indexel és térfogat növekedésre hajlamos talajoknál (PUCM) alkalmazandó.
- Cementes stabilizálás: alacsony agyagtartalmú talajok esetében használható.

Annak érdekében, hogy bármilyen típusú talajt stabilizálni tudjunk, a talaj összetételének függvényében használhatunk mész-cement keverékeket. Ezen kötőanyagok lehetnek például a Doroport, Dorosol, Viacalco, Soilfix, Roadmix és mindegyik alkalmazható valamely típusú talajra a mész-cement arányainak függvényében. Amennyiben a különböző kötőanyagok összetétele hasonló arányokban tartalmaz meszet és cementet, hasonló eredményeket fognak produkálni. A zeolit azért is alkalmas ezekbe a receptekbe, mert a kristályok felületén (7 ábra) nagyszámú szilícium, alumínium és oxigén érhető el, vagy tehető aktívvá például a mészhidrát hatásával. A kristályrács felépítése révén pedig alkamas vízmolekulák és oldott ionok reverzibilis forgalmazására, a stabilizálni kívánt közeg szilárd szemcséi és stabilizáló anyag közötti kötéseket alakítva ki, miközben a víztartalmat az adott fiziko-kémiai körülmények szerint tartja egyensúlyban.



7. ábra

Zeolit kristályrács modellje, (piros O, fehér H₂O, sárga Si, kék Na)

3.2. Optimális kötőanyag felhasználás

A recept készítésének folyamatát és a szükséges anyagmennyiségeket előíró szabványok az adatokat nagyon általánosan adják meg: cement 3-10% és mész 2-4%. Amennyiben ellenőrzött körülmények között mérjük le az Rc7 és Rc28 változását több, egymást követő százalékban adagolt hidraulikus kötőanyag esetén, megtalálhatjuk azt a megfelelő mennyiséget, amelynél a számunkra tökéletes eredményeket kapjuk. A szükséges kötőanyag mennyiség ugyanazon Rc7 és Rc28 eléréséhez legnagyobb részt a talaj összetételétől (8 és 9 ábra) függ. Ezekbe a laboratóriumi, és akár a félipari kísérletekbe is be lehet építeni az adalékok hatásának a vizsgálatát, akár a szemcsés és reaktív anyagokat is, mint a zeolit vagy azt hordozó anyag.

Tip material Argila +2,5% Dorosol C30

Nr. crt.	Indicativ proba	Data		Varsta de incercare	Dozaj liant %	Greutate cilindru	Volum	Caract. optime de compactare		Rc 7 N/mm ²	Medie N/mm ²
		conf.	incercarii					pd g/cm ³	W opt %		
1	PS -35-1	16.04.2019	23.04.2019	7	2,5	301,4	150,4	1,848	15,3	2,100	2,118
2	PS -35-2	16.04.2019	23.04.2019	7	2,5	300,9	150,2	1,848	15,3	2,141	
3	PS- 35-3	16.04.2019	23.04.2019	7	2,5	301,9	150,2	1,848	15,3	2,113	

8. ábra

7 napos törési eredmények (Rc7), WDP Ștefăneștii de Jos;
Talajtípus: Agyag 57%, Iszap 41%, Homok 2%

Tip material: Pamant + 3,4 % Dorosol C 30

Nr. crt.	Indicativ proba	Data		Varsta de incercare	Dozaj liant %	Greutate cilindru g	Volum cilindru cm ³	Caract. de compactare		Rc N/mm ²	Medie N/mm ²
		conf.	incercarii					pd g/cm ³	W opt %		
1	01-P-VPS-1	05.04.2019	12.04.2019	7 zile	3,4	280,6	151,1	1,770	17,32	1,43	1,42
2	01-P-VPS-2	05.04.2019	12.04.2019	7 zile	3,4	279,8	150,5	1,770	17,32	1,38	
3	01-P-VPS-3	05.04.2019	12.04.2019	7 zile	3,4	281,6	151,5	1,770	17,32	1,45	

9. ábra

7 napos törési eredmények (Rc7), DC Giula;
Talajtípus: Agyag 44,7%, Iszap 42,3%, Homok 13%

4. JÖVŐBELI FELHASZNÁLÁS

Annak ellenére, hogy létezik helyi szabványunk stabilizált talajon való útalap készítésére, az érvényben lévő tervezési és minőségellenőrzési szabványok nem támogatják az útalapban való felhasználást, azonban elfogadják a mechanikailag stabilizált talajt vagy a hidraulikus kötőanyaggal stabilizált homokos kavicsot. Ugyanakkor a legelterjedtebb, alapozásban használt, építőanyag a homokos kavics (balast, nisip cu pietriș), ami minden építkezésen többlet ásást, szállítást és töltési munkát igényel. Ez a folyamat úgy gazdaságilag, mint ökológiailag kifejti hatását az építkezésre és környezetre.



10. ábra
Homokos kavics útalap, E60

Többéves gyakorlat bizonyítja [5], hogy a stabilizált talaj úgy a laboratóriumi körülmények között mért mechanikai jellemzőiben, mint a terepen elvárt teherbírásában hasonló vagy jobb eredményeket képes teremteni az elfogadott építőanyagokhoz viszonyítva.

5. GAZDASÁGI ÉS KÖRNYEZETI MEGFONTOLÁSOK

Egy korábbi tanulmányban kimutatott kalkuláció a stabilizáció műszaki felsőbbrendűsége mellett a költséghatékonyságát is alátámasztja a homokos kavicsokhoz viszonyítva [5]. A következő évtizedekben az EU, EGT és általánosan világszerte az energia- és költséghatékony, karbonsemleges és környezetbarát megoldások alkalmazása szigorú elvárás lesz. Ennek fényében a gépmunkát, energiaintenzív gyártást és CO₂ kibocsátást csökkenteni kell, jelen esetben például a CaO és/vagy Ca(OH)₂ fogyasztást és az útalap építést. Az adalékanyagok használata ebben segíthet, a zöld átmenet irányelvei szerint a bontási hulladék, mint újrahasznosított anyag lehet egy opció. De ökolábnyom szempontjából még jobb hatása lehet a bányászott anyagok, mint zeolit(ok) alkalmazása.

A kivitelezésekből származó [5] költségeket kielemezve egyértelműen kijelenthetjük, hogy költséghatékonyabb stabilizált talajból a töltés építés. A bemutatott számításoknak nem annyira a piaci értéke, mint inkább az egymáshoz való arányossága, ami a fontos tényező:

- 25,32%-al költséghatékonyabb a talaj stabilizáció és homokos kavics réteg kombináció a két rétegben épített homokos kavics töltésnél
- 30,36%-al költséghatékonyabb a két rétegben stabilizált talaj a két rétegben épített homokos kavics töltésnél

Ezeket az arányokat, a nemzetközi gyakorlatra és megfigyelésekre alapozva, tovább lehet javítani, a hidrát reakciók és szilikátkötések adott helyszínre optimálása révén akár kétszámjegyű mértékig is.

SZAKIRODALOM

- [1] Ujile, M.C. and Abbey, S.J., 2022. The use of fine portions from construction and demolition waste for expansive soil stabilization: A review. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 16(7), pp.803-816.
- [2] Devendra, S. and Prathap Kumar, M.T., 2020. Geotechnical Properties of Cement Kiln Dust and Underground Cement Clinker-Admixed Black Cotton Soil. *Jordan Journal of Civil Engineering*, 14(2).
- [3] Chenarboni, H.A., Lajevardi, S.H., MolaAbasi, H. and Zeighami, E., 2021. The effect of zeolite and cement stabilization on the mechanical behavior of expansive soils. *Construction and Building Materials*, 272, p.121630.
- [4] „STAS 9850-89 - Verificarea Compactării Terasamentelor,” Institutul Român de Standardizare.
- [5] Fülöp B.-Cs., Köllő G., Kristály F. 2024 Homokos kavics réteg kiváltása stabilizált talajjal – magasabb teherbírás kisebb áron. *Építményeink – Erdély 2024 (április 18-19) Kiadványfüzet*. 12 o. *in-press*