

## Fenntarthatóság az útépitésben: útalap stabilizált talajból

### Sustainability in Road Construction: Road Base from Stabilized Soil

*Drd. FÜLÖP Balázs-Csaba<sup>1</sup>, Dr. KÖLLŐ Gábor<sup>2</sup>, Dr. KRISTÁLY Ferenc<sup>3</sup>, Dr. HODA Gavril<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> S.C. Inreco Remix S.R.L., Mureseni utca, 50 sz., Marosvásárhely, Maros megye,

[www.inreco.ro](http://www.inreco.ro)

<sup>2</sup> Kolozsvári Műszaki Egyetem (UTC-N), Observatorului utca, 72-74 sz., Kolozsvár, Kolozs megye,

[www.utcluj.ro](http://www.utcluj.ro)

<sup>3</sup> Miskolci Egyetem, 3515 Miskolc-Egyetemváros, Egyetem út 1,

[www.uni-miskolc.hu/](http://www.uni-miskolc.hu/)

#### Abstract

*Recycling and reusing are becoming increasingly important issues today. We engineers are responsible for our society choosing the most suitable technology. The work we do has a significant impact on the environment and, consequently, the future of our generation and our children. After the economic crisis, designers and engineers have started to think more in terms of ECO—Economic & Ecologic. Comparing soil stabilization by replacing poor soil with better soil or with a gravel layer, the conclusion is:*

- *Less execution time*
- *Less material transported*
- *Less energy consumed*
- *Less impact on the environment*

**Keywords:** soil treatment, soil stabilization, recycling, ECO, CO<sub>2</sub> footprint

#### Kivonat

*Napjainkban egyre nagyobb szerepet kap az újrahasznosítás. Mi mérnökök, felelősséggel tartozunk a közösségünknek, azáltal, hogy a legmegfelelőbb technológiákat válasszuk. Az elvégzett munkálatok nagyban befolyásolják környezetünket, ezáltal a mi és gyerekeink jövőjét is. A gazdasági válság után úgy az építészek, mint a mérnökök egyre jobban kezdtek ECO= Economic & Ecologic (Gazdaságos & Ökológikus) 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*
- *Kevesebb hatás a környezetre*

**Kulcsszavak:** talajkezelés, talajstabilizáció, újrahasznosítás, ECO, jövő, CO<sub>2</sub> lábnyom

## 1. ELŐZMÉNYEK

Minden út típusú építmény két fő összetevőből áll: földmű és útpálya szerkezet. A földmű magába foglal minden ásást és építő jellegű munkát, egészen a javító rétegeig. Minden rétegnek megvan a maga szerepe és fontossága, de nem befolyásolja az útpálya szerkezet tervezését teherbírás szempontjából, a javító réteget viszont számba veszik a fagyás-olvadás hatásának ellenőrzésében. [1]

Egy korábbi tanulmányban kimutatott kalkuláció a stabilizáció műszaki felsőbbrendűsége mellett a költséghatékonyságát is alátámasztja a homokos kavicshoz viszonyítva [2]. 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 CO<sub>2</sub>-kibocsátást

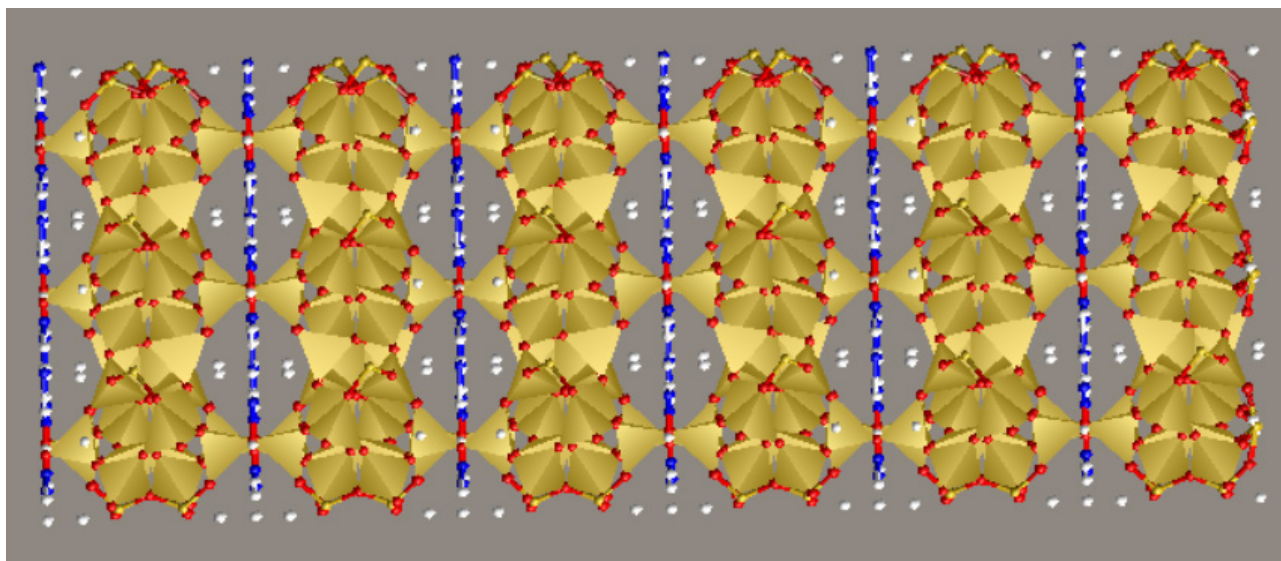
csökkenteni kell, jelen esetben például a CaO és/vagy Ca(OH)<sub>2</sub>-fogyasztást és az útalapépítést. A zöld átmenet irányelvei szerint a bontási hulladék, mint újrahasznosított anyag, lehet egy opció ezen elvárások megvalósítására. De ökolábnym szempontjából még jobb hatása lehet a hidraulikus kötőanyagok helyettesítése bányászott anyagokkal, mint például a zeolit(ok)al.

A kivitelezésekből származó [2] költségeket kielemezve, egyértelműen kijelenthetjük, hogy költség-hatékonyabb stabilizált talajból a töltésepítés a homokos kavicsához viszonyítva. A bemutatott számításoknak nem annyira a piaci értéke, mint inkább az egymáshoz való arányossága, ami a fontos tényező:

- 25,32%-kal költség-hatékonyabb a talaj stabilizáció és homokos kavicsréteg kombináció a két rétegben épített homokos kavics töltésnél
- 30,36%-kal költség-hatékonyabb a két rétegben stabilizált talaj a két rétegben épített homokos kavics töltésnél

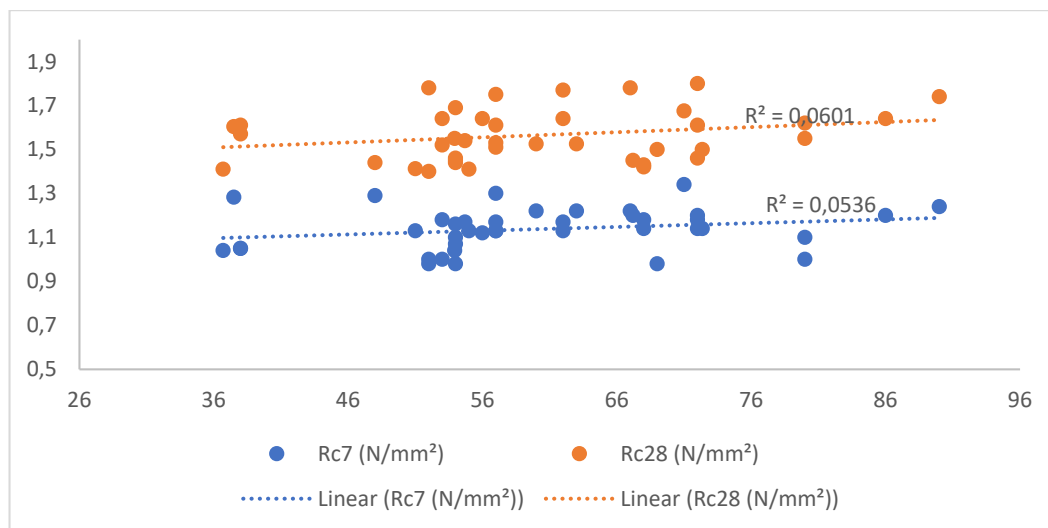
Ezeket az arányokat, a nemzetközi gyakorlatra és megfigyelésekre alapozva, tovább lehet javítani, a hidrát reakciók és szilikátkötések adott helyszínre optimálása révén akár kétszámjegyű mértékig is.

Annak érdekében, hogy bármilyen típusú talajt stabilizálni tudjunk, a talaj összetételének függvényében használhatunk mész-cement keverékeket. Ezen kötőanyagok lehetnek például a Doroport, Dorosol, Viacalco, Soilmix, 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 ezekre a receptekre, mert a kristályok felületén (1. ábra) nagyszámú szilícium, alumínium és oxigén érhető el, vagy tehető aktívvá például a méshidrát hatásával. A kristályrács felépítése révén pedig alkalmas vízmolekulák és oldott ionok reverzibilis forgalmazására, a stabilizálni kívánt közeg szilárd szemcséi és stabilizáló anyag közötti kötéseket alakítva ki, miközben a víztartalmat az adott fizikai-kémiai körülmények szerint tartja egyensúlyban.



1. ábra Zeolit kristályrács modellje  
(piros O, fehér H<sub>2</sub>O, sárga Si, kék Na)

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 a nyomószilárdságot 7 és 28 napos korban (RC<sub>7</sub> és RC<sub>28</sub>) majd vizsgáljuk annak változását több, egymást követő százalékos adagolt hidraulikus kötőanyag esetén, megtalálhatjuk azt a megfelelő mennyiséget, amelynél a számunkra tökéletes eredményeket kapjuk. A szükséges kötőanyag mennyiség ugyanazon 7 és 28 napos nyomószilárdság (RC<sub>7</sub> és RC<sub>28</sub>) eléréséhez legnagyobb részt a talaj összetételétől (2. ábra) függ. Ezekbe a laboratóriumi, és akár a félipari kísérletekbe is be lehet építeni az adalékok hatásának vizsgálatát, akár a szemcsés és reaktív anyagokat is, mint a zeolit vagy azt hordozó anyag.



2. ábra Az  $RC_7$  és  $RC_{28}$  ( $N/mm^2$  - függőleges) változása a hozzáadott kötőanyag függvényében ( $kg/m^3$  - vízszintes)

Ezeket az adatokat felhasználva képesek voltunk létrehozni több próbaszakaszt [3], ami alapján meghatározható volt egy képlet, ami megjósolja egy stabilizált talaj várható teherbírását 7 napra, valamint 28 napra a stabilizálás után:

$$E_{V2(7 \text{ nap után})} > E_{V2(\text{stabilizálás előtt})} + (H_{\text{stabilizált réteg}} \cdot R_{C7}) \quad (1)$$

$$E_{V2(28 \text{ nap után})} > E_{V2(7 \text{ nap után})} \cdot \frac{R_{C28}}{R_{C7}} \quad (2)$$

A számítást jelentősen befolyásolja a levegő hőmérséklete, valamint a talaj hidrológiája. Ezen képlet tökéletesítésére pár terepen elvégzett kísérlet után, az eredményeket felhasználva AI (mesterséges intelligencia) segítségével [4] viszonylag megbízható szintre fejleszthetjük.

Az útpálya szerkezetek esetén a különbséget a burkolattípusok adják, így megkülönböztetünk betonburkolatú utakat és aszfaltburkolatú utakat. Az útburkolat jellege meghatározza a teljes szerkezet jellegét is, így említést teszünk merev és hajlékony útpálya szerkezetekről. Mindkét szerkezet esetén a legalsó réteg, az útalap, adja meg annak stabilitását és direkt módon befolyásolja a teljes szerkezet teherbírását. [1]

Hasonló kutatásokban [5] javasolták már a stabilizált talaj beépítését útalapba. Ebben az esetben a maximális kötőanyag mennyiséget adták hozzá a talajhoz és kiemelkedő 300%-os CBR-t értek el. Ugyanakkor ez a nagy mennyiségű kötőanyagnak köszönhetően az így kapott anyag merev tartományba kerül és elveszíti rugalmasságát.

Saját kutatásunkat [6] arra alapoztuk, hogy a hozzáadott kötőanyagot a minimálisan szükséges mennyiségen tartjuk, hogy az így kapott stabilizált talaj a rugalmas állapotban maradjon, de hozza az elvárt eredményeket. Sikertelenül bebizonyítani a hidraulikus kötőanyaggal stabilizált talajnak úgy az útpályaszerkezetben való felhasználhatóságát, mint az alkalmazott útpályaszerkezet számolás lehetőségét. [1]

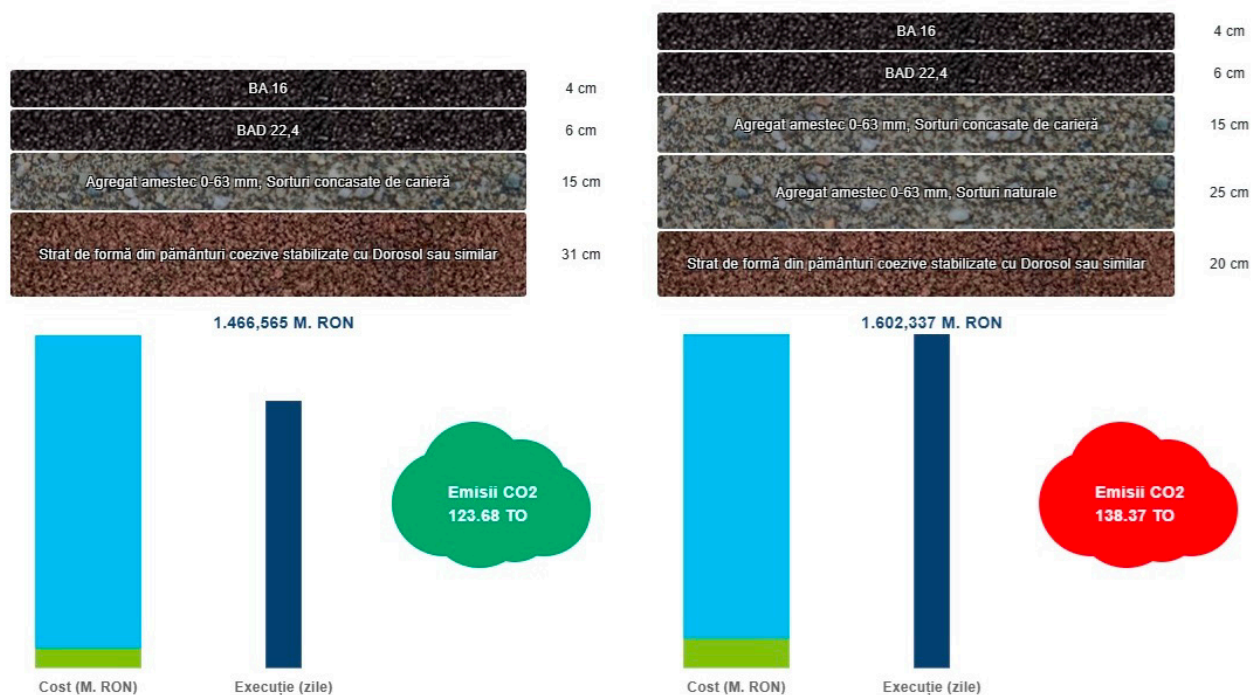
## 2. ESETTANULMÁNY: CO<sub>2</sub> LÁBNYOM KÜLÖNBBSÉG AZ ÚTPÁLYASZERKEZETEK KÖZÖTT

### 2.1. Előzmények

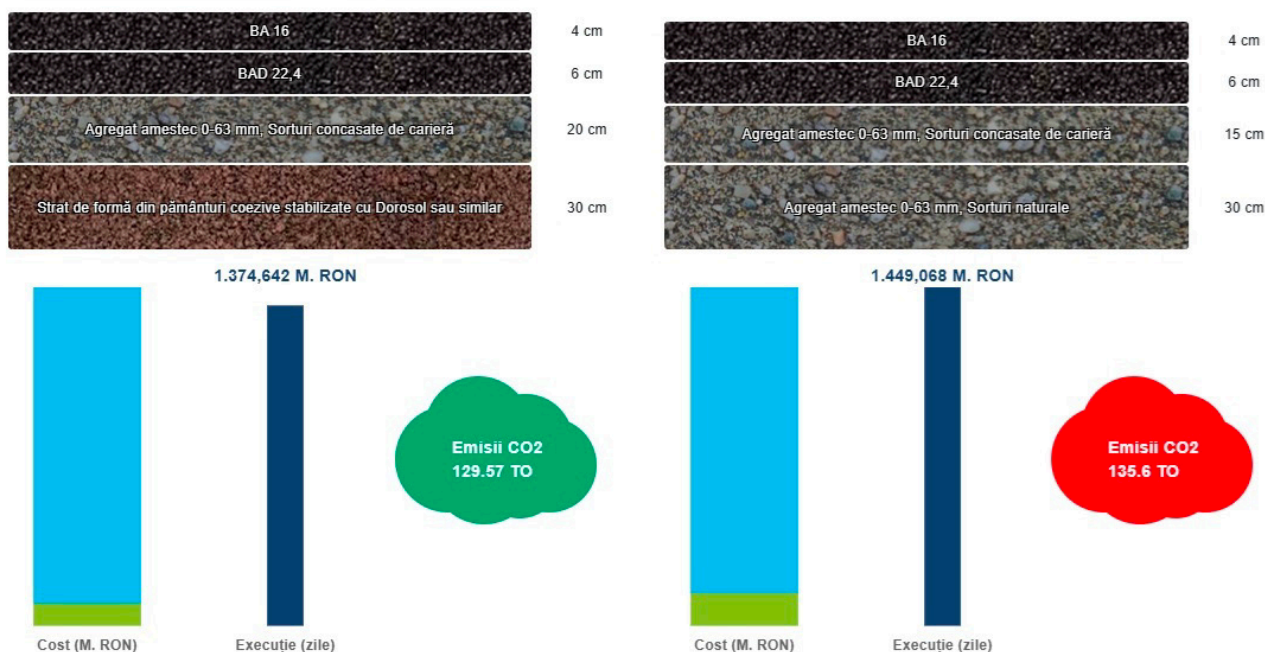
A munkaterületek Mezőpanit községi útjain, Maros megyében, valamint Kolozsgyula DC152 számú községi útján találhatóak. A szerkezet módosításának lépései, a munka kivitelezése és munkák minősítése korábban voltak bemutatva. [1] [6]

### 2.2. Elvárások, munkavégzés

Kutatások már bemutatták [7], hogy talajstabilizációval csökkenthető egyes munkálatok CO<sub>2</sub>-kibocsátása. Számításainkat a Holcim saját fejlesztésű RoDoP programjával végeztük. Ez a program lehetővé teszi a szerkezet számolását és ellenőrzését úgy, hogy terhelésre, mint fagyásra is számol. Továbbá meghatározható vele a projekt várható értéke és a CO<sub>2</sub>-kibocsátása.



3. ábra Mezőpanit községi útjain végzet esettanulmány eredményei: balra az módosított és kivitelezett útpálya szerkezet, valamint jobbra az eredeti terv



4. ábra Kolozsgyula községi útjain végzet esettanulmány eredményei: balra az módosított és kivitelezett útpálya szerkezet, valamint jobbra az eredeti terv

### 2.3. Eredmények

Mindkét esetben kimutatta a program, hogy a módosított útpálya szerkezet, amiben az útalap stabilizált talajból készült, költséghatékonyabb (a tanulmányozott útszakasz becsült kivitelezési értéke 1,6 millió RON-ról 1,46 millió RON-ra, valamint 1,45 millió RON-ról 1,38 millió RON-ra csökkent) és kivitelezési időben is

gyorsabb (a tanulmányozott útszakasz becsült kivitelezési idejét a program diagram formájában mutatja ki). Ami számunkra a legfontosabb, hogy a CO<sub>2</sub> kibocsátásban is jelentős különbség:

- Mezőpanit: 10,6% (138,37 tonnáról csökkent 123,68 tonnára)
- Kolozsgyula: 4,5% (135,6 tonnáról csökkent 129,57 tonnára)

### 3. KÖVETKEZTETÉS

Habár első ránézésre a kimutatott különbségek nem tűnnek nagyoknak, valójában a CO<sub>2</sub>-kibocsátás teljes projekt esetében ilyen mértékű százalékos csökkentése jelentős eredmény és szükségszerű. Továbbá fontos megjegyezni, hogy a számításokat csak az építési folyamat során végzik, és nem veszik figyelembe, hogy amennyiben stabilizált talajból készül az útalap, akkor jóval kevesebb ásási munkára van szükség, mint a hagyományos szerkezetek esetén. Ha ezeket az értékeket is kiszámolnánk, a különbség még nagyobb lenne.

### IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] Fülöp B.-Cs., Köllő G. - Építhetünk-e útalapot stabilizált talajból? Ha nem, akkor miért igen? ÉPKO 2023 (<https://ojs.emt.ro/EPKO/article/view/1295/1262>)
- [2] Fülöp B.-Cs., Köllő G., Kristály F. - Homokos kavicsréteg kiváltása stabilizált talajjal, ásványi adalékkal. ÉPKO 2024 (<https://ojs.emt.ro/EPKO/article/view/1642>)
- [3] Fülöp B.-Cs., Köllő G., Nagy A-Cs, Ilieş N-M, Hoda G., Moldovan D-V - Comparative Study of Conventional Systems versus Soil Stabilization from an Economic and Technical Perspective. Case Study Analysis from Oradea, Romania. INTER-ENG 2025
- [4] I-B Teodoru, Zakaria O-Y, M Aniculaesi, A Vasilica Dascalu, F Hörtkorn, A Amelio, I Lungu - Prediction of Unconfined Compressive Strength in Cement-Treated Soils: A Machine Learning Approach – MDPI (<https://www.mdpi.com/2076-3417/15/13/7022>)
- [5] F Kired, M Šešlija, T Milovic, A Starcev-Curcin, V Bulatovic, N Radovic - Stabilization of Different Soil Types Using a Hydraulic Binder – MDPI (<https://www.mdpi.com/2075-5309/13/8/2040>)
- [6] Fülöp B.-Cs., Köllő G., D Ungureanu, N Ţaranu, G Hoda, T-C Petrescu - Field application and laboratory validation of soil stabilization with hydraulic binders for road bases – Romanian Journal of Materials (<https://www.revista-romana-de-materiale.upb.ro/en/domenii-de-interes/lianti-si-betoane/2025/>)
- [7] K Piechowicz, S Szymanek, J Kowalski, M Lendo-Siwicka - Stabilization of Loose Soils as Part of Sustainable Development of Road Infrastructure– MDPI (<https://www.mdpi.com/2071-1050/16/9/3592>)