



# Bányászati és ipari hulladékok innovatív hasznosítása az ÉKM régióban

Dr. Szabó Roland<sup>1</sup>, Ambrus Mária<sup>2</sup>, Papné Halyag Nóra<sup>3</sup>, Dr.  
Kristály Ferenc<sup>4</sup>, Prof. Dr. Mucsi Gábor<sup>5</sup>

tudományos munkatárs<sup>1</sup>, PhD hallgató<sup>2</sup>, tanszéki mérnök<sup>3</sup>, tudományos  
főmunkatárs<sup>4</sup>, egyetemi tanár<sup>5</sup>

Miskolci Egyetem

**"Tudománnyal a Régióért,,  
A MAB Régiós Bizottság I. tudományos konferenciája  
2021. április 12.**

# RING projekt rövid bemutatása

- Teljes név: Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című EFOP-3.6.2-16-2017-00010 azonosító számú projekt
- Szakmai vezető: Dr. habil. Faitli József (Miskolci Egyetem)
- Kutatói sejtek
  - Szennyvizek és szennyvíziszapok hasznosítása, alacsony CO<sub>2</sub> kibocsátási technológiák. Kutatói sejt vezetője: Dr. Rákhely Gábor (Szegedi Tudományegyetem)
  - A települési szilárd hulladék (TSZH), mint másodlagos nyersanyagforrás. Kutatói sejt vezetője: Dr. Kiss Tibor (Pécsi Tudományegyetem)
  - Lignocellulózok hasznosítása. Kutatói sejt vezetője: Dr. habil. Czupy Imre (Soproni Egyetem)
  - WEEE - elektronikai és elektromos eszközök hulladékából értékes anyagok kinyerése. Kutatói sejt vezetője: Dr. Nagy Sándor (Miskolci Egyetem)
  - Nagytömegű ipari és bányászati hulladékok és melléktermékek innovatív hasznosítása (Szilikát sejt). Kutatói sejt vezetője: Prof. Dr. Mucsi Gábor (Miskolci Egyetem)

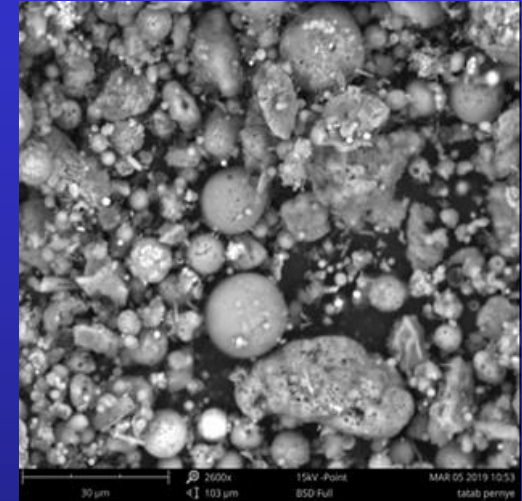
# Szilikát sejt kutatási célja:

- **Az ásványi eredetű elsődleges és másodlagos nyersanyagok előkészítési folyamatainak fejlesztése** annak érdekében, hogy magasabb hozzáadott értéket képviselő termékként jelenjenek meg a piacon.
- **Alapanyagok mechanikai aktiválása** fokozott reakcióképesség elérése céljából.
- **Geopolimerek gyártása** különféle alkalmazásokra (hőszigetelő rendszerek, beton, tűzálló anyagok).
- **Az ipari hulladékfeldolgozás és -hasznosítás jogi körülményeinek vizsgálata** az Európai Unióban, valamint hazai szinten.

# Ipari és bányászati hulladékok

Elsősorban szilikát tartalmú hulladékok:

- Bányászati meddő (érc- és szénbányászat),
- **erőműi hulladékok** (salak, pernye),
- kohászati salakok,
- hulladékégetési melléktermékek (salak és pernye),
- **vörösiszap.**



1. ábra Erőműi pernye



2. ábra Salak

# Ipari és bányászati hulladékok

Hazánkban lerakott ipari ásványi melléktermékek (nyersanyag vagyon):

Bányameddő: ~ 1000 millió m<sup>3</sup>

Erőműi salak és pernye: ~ 200 millió m<sup>3</sup>

Kohászati salak: ~ 10 millió m<sup>3</sup>

Vörösiszap: ~ 50 millió m<sup>3</sup>



3. ábra Pernyehányó, Visonta

Dr. Szabó Roland



4. ábra Vörösiszap tározó



5. ábra Szénbányászati meddőhányó,  
Lyukóbánya

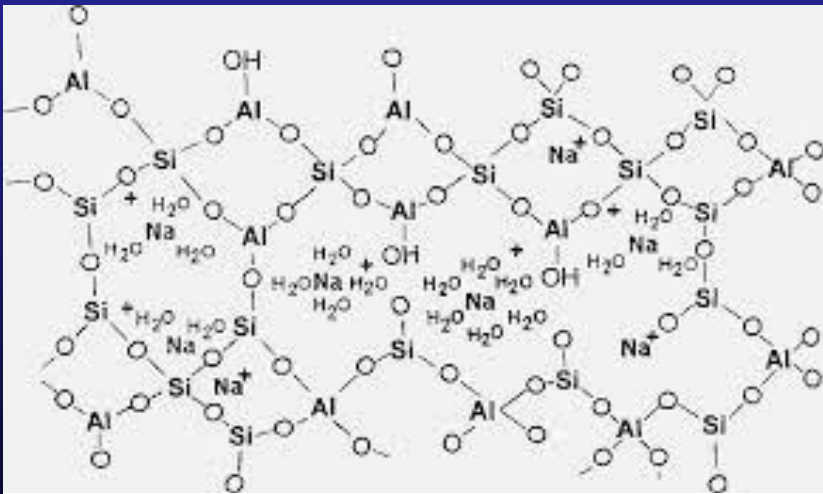
# Hasznosítási lehetőségek

- Cement- és betonipar (nyersanyag és kiegészítő anyag),
- útépitési felhasználás,
- tömedékelés,
- kritikus elemek kinyerése (germánium, gallium és egyéb ritkaföldfémek),
- pernyéből kinyert szenoszfer (töltőanyagként),
- geopolimer, geopolimer hab gyártás.



# Másodnyersanyagok geopolimerként történő hasznosítása

- **Geopolimer:** Újfajta, mesterségesen előállított kőzet, amelyet aluminoszilikát tartalmú anyagok főként lúgos (NaOH, KOH), esetleg savas (pl. foszforsav) közegben való oldásával állítják elő.
- A geopolimer pasztából különböző habosítási eljárásokkal porózus geopolimerek, úgynevezett **geopolimer habok** állíthatók elő.



6. ábra Geopolimerek lehetséges szerkezete  
(Davidovits 1994)



7. ábra Geopolimer hab

# Geopolimerek tulajdonságai, alkalmazási területei

## Tulajdonságai:

- Rendkívül jó mechanikai tulajdonságú,
- tűz- és hőálló,
- formába önthető,
- kötésük során szinte alig változtatja térfogatát,
- szobahőmérséklet körüli hőmérsékleteken köt és kötési ideje tág határokon belül változtatható (Duxson et al. 2007).



8. ábra Geopolimer térkő

## Alkalmazási területei:

- járólapok gyártása, tűzálló tárgyak előállítása, falazó és szigetelő téglák gyártása,
- önthető út- és járdarétegek kialakítása,
- hőszigetelésre alkalmas habosított geopolimer panelek gyártása,
- tűz- és hőálló bevonatok (pl. tűzálló fapanelek) készítése,
- csempék, homlokzati díszek, finomkerámiai termékek előállítása,
- napkollektorokban felhasználható szerkezeti anyagok gyártása (Komnitsas and Zaharaki 2007).

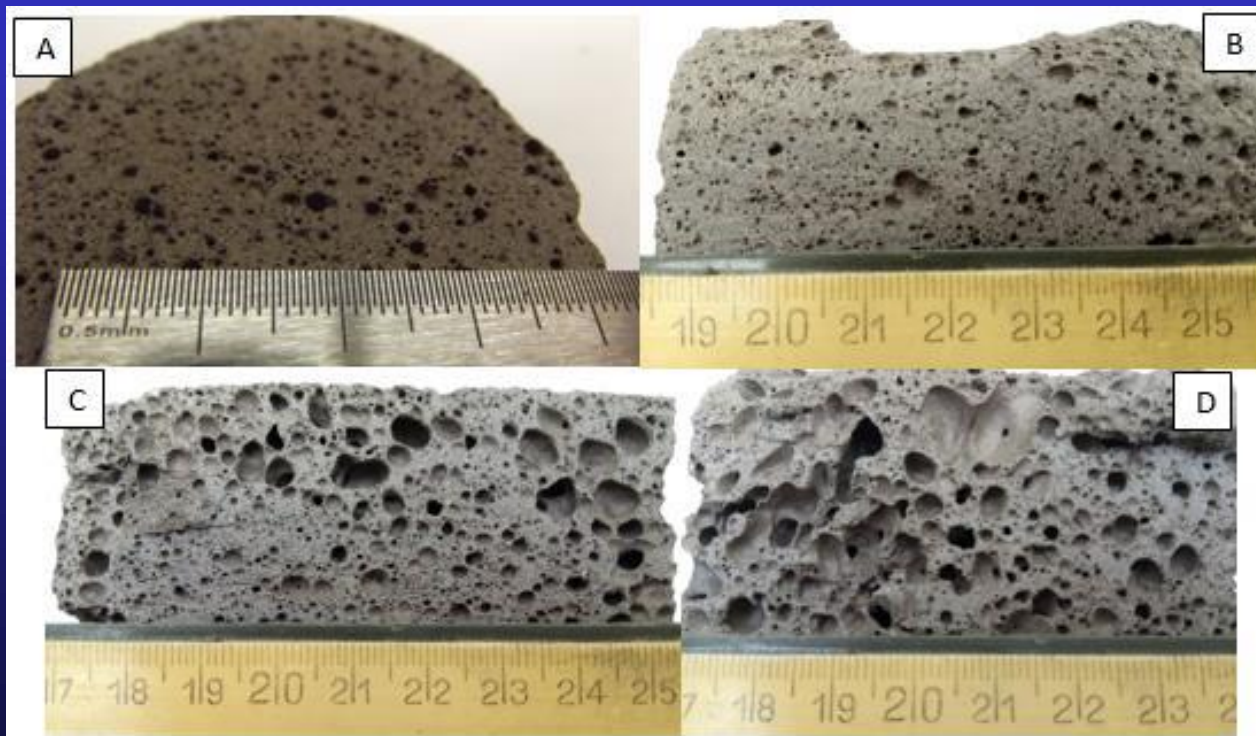


# Primer és szekunder nyersanyagok mechanikai aktiválása őrléssel

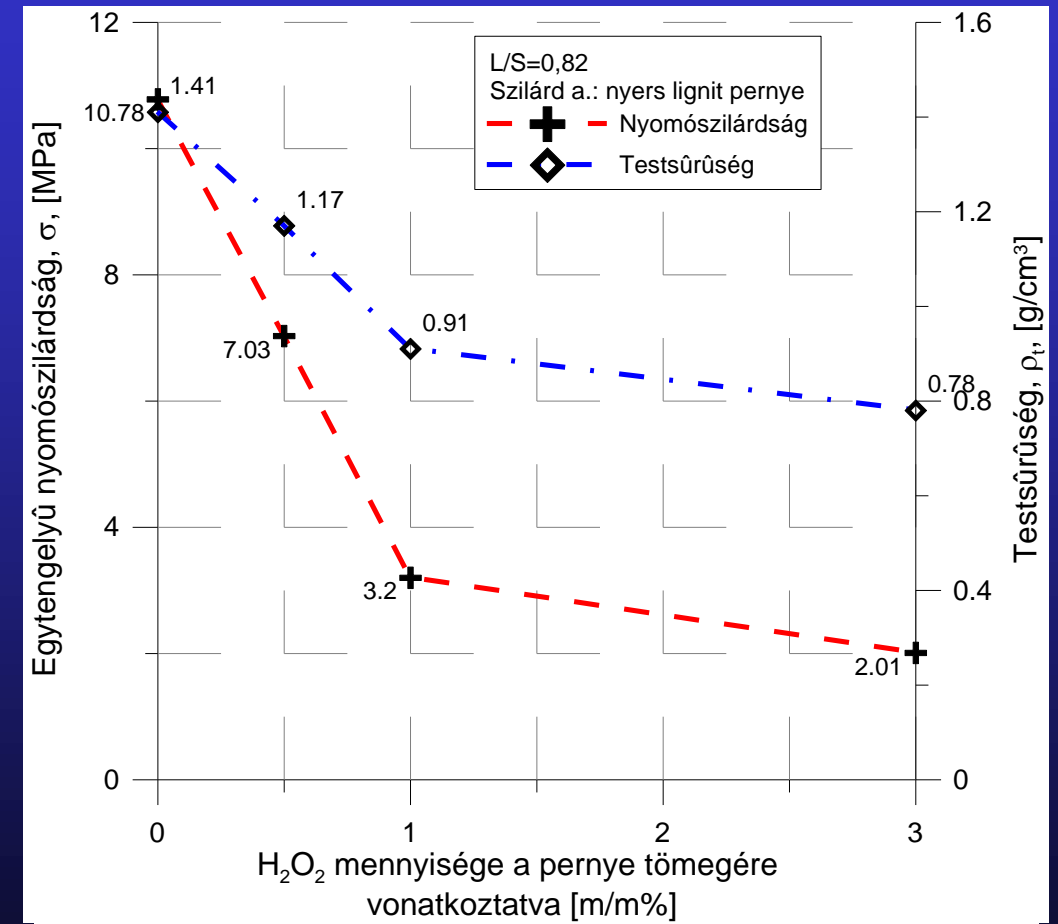
- **Probléma:** A primer (pl. kaolin) és szekunder nyersanyagok (pernye, salak) alacsony reaktivitása.
- **Megoldás:** Alapanyag mechanikai , kémiai vagy termikus aktiválása
- A mechanikai aktiválás lehetőséget nyújt a reaktivitás módosítására a nyersanyagok fizikai-kémiai tulajdonságainak változtatása révén, megváltoztatva az anyag kristályszerkezetét (amorfizáció), felületi tulajdonságait anélkül, hogy megváltoztatnánk az anyag kémiai összetételét.
- Legfontosabb mechanikai aktiválási formák:
  - Mechanikai diszpergálás
  - Felületaktiválás
  - Mechanokémiai (szerkezeti) aktiválás

# Geopolimer hab fejlesztésre irányuló vizsgálatok eredményei

- Habosítószer adagolás hatása



9. ábra Geopolimer habmintákról készült képek eltérő habosító szer tartalom esetén



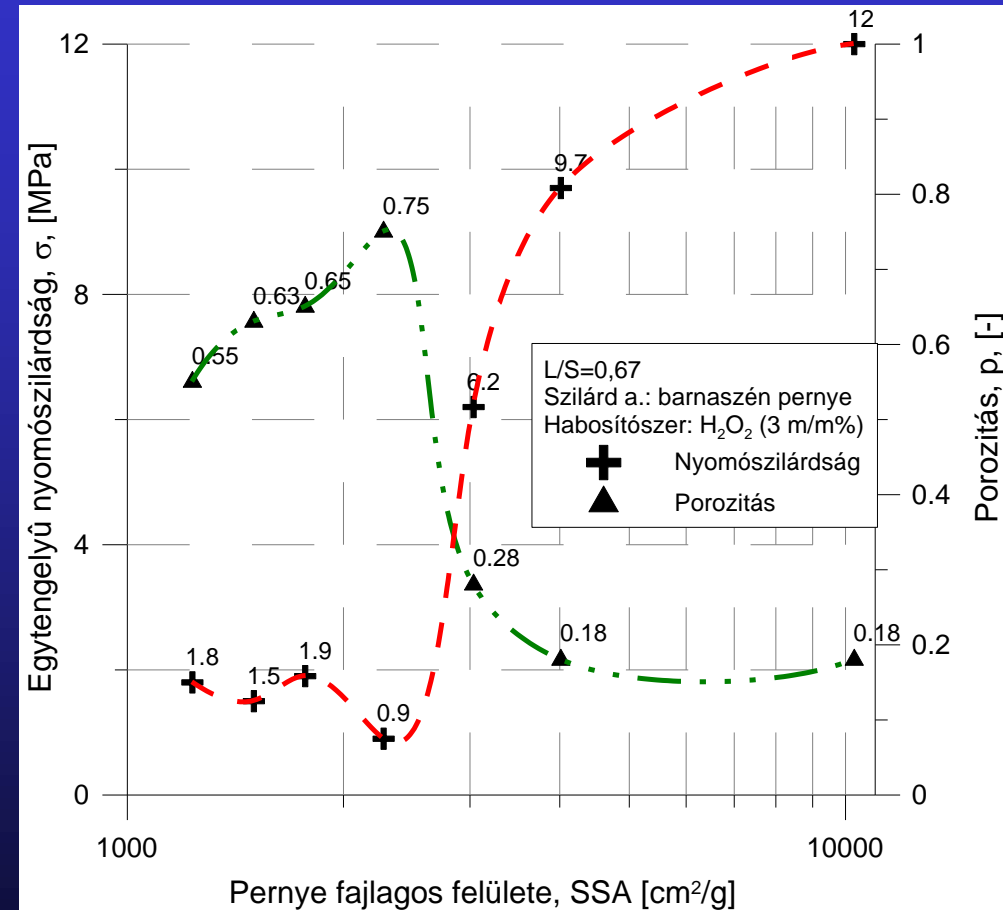
10. ábra A H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> adagolás hatása a geopolimer habok nyomószilárdságára és testsűrűségére

# Geopolimer hab fejlesztésre irányuló vizsgálatok eredményei

- Alapanyag (pernye) őrlési finomságának hatása



11. ábra Geopolimer habmintákról készült képek különböző pernyefinomság esetén



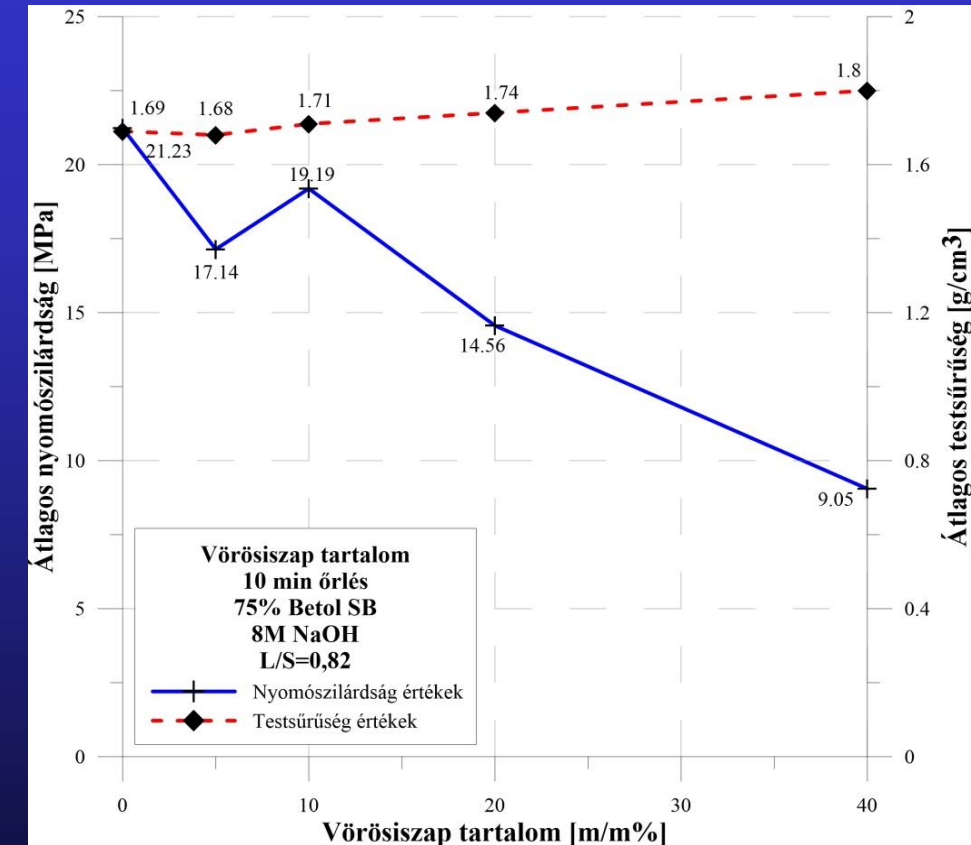
12. ábra Pernyefinomság hatása a geopolimer hab nyomószilárdságára és porozítására

# Vörösiszap tartalmú geopolimerek fejlesztése

- Hozzáadott vörösiszap mennyiségének hatása



13. ábra Pernye-vörösiszap alapú próbatestek 0, 5, 10, 20 és 40 m/m% vörösiszap tartalommal



14. ábra A vörösiszap tartalom hatása a geopolimerek nyomószilárdságára és testsűrűségére



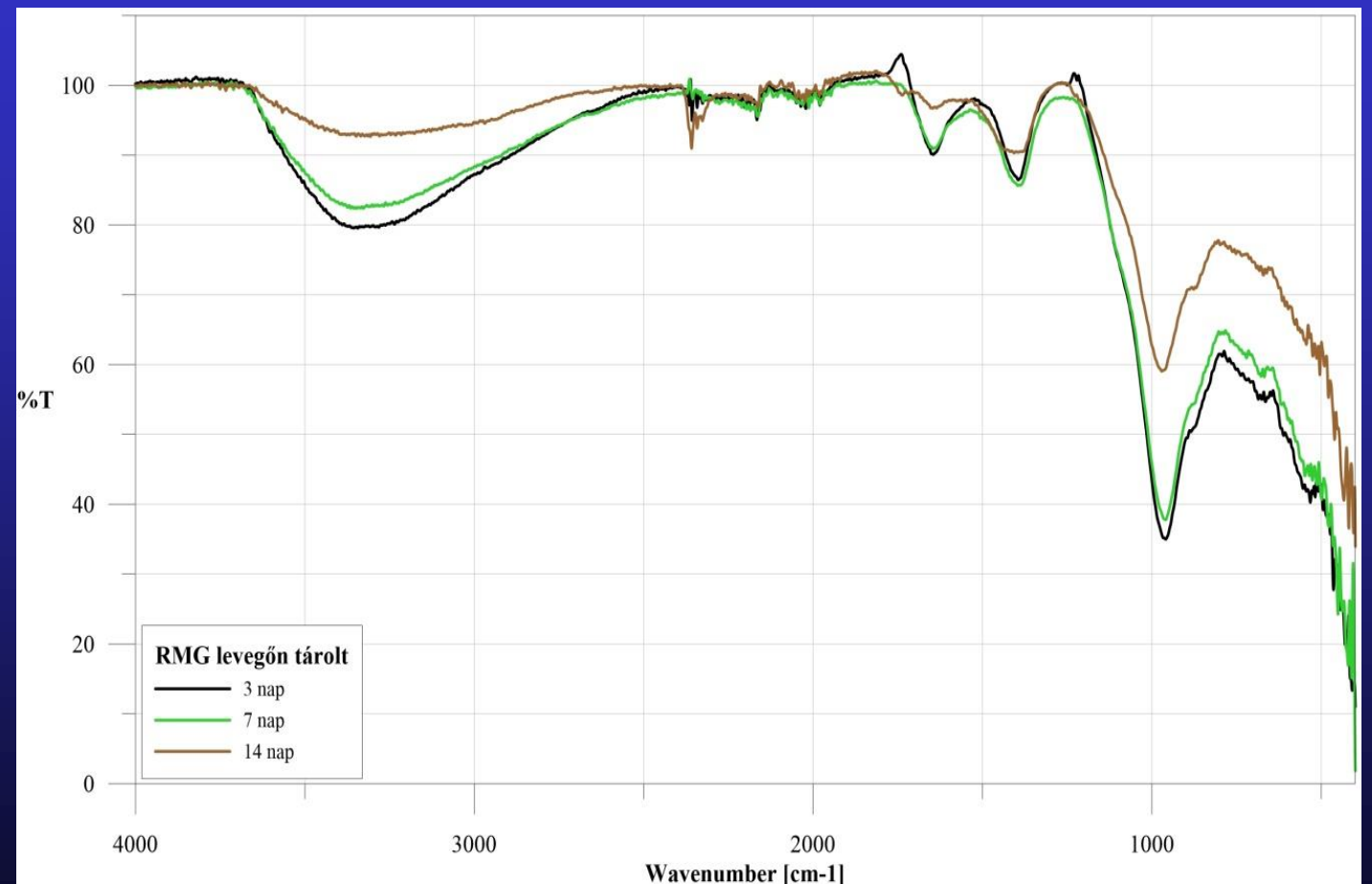
# Vörösiszap tartalmú geopolimerek fejlesztése

- Időtállósági vizsgálatok



15. ábra Időtállósági vizsgálatra készült próbatestek 3 napos (felső) és 14 napos (alsó) korban

Dr. Szabó Roland

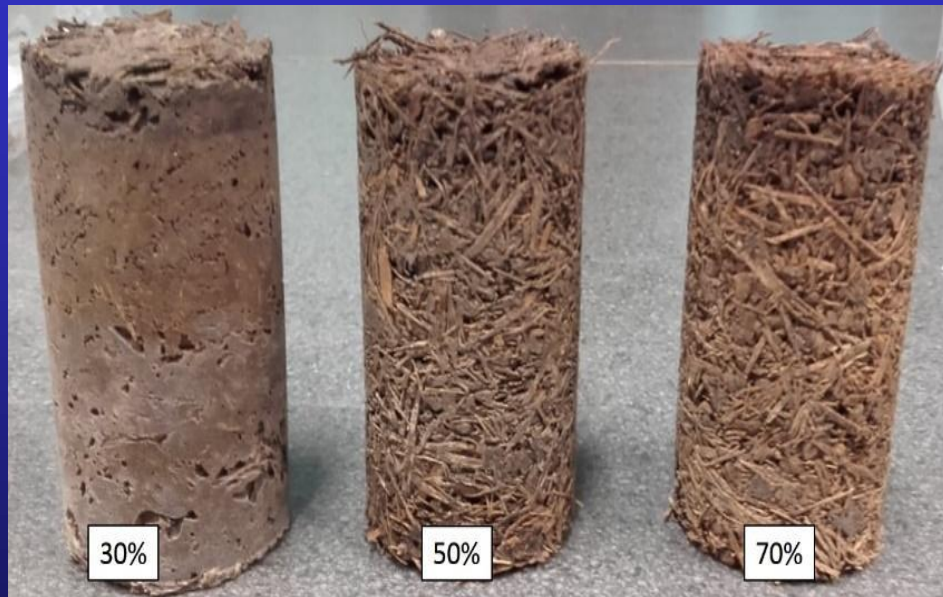


16. ábra A levegőn tárolt vörösiszap tartalmú geopolimerek FT-IR spektrumai

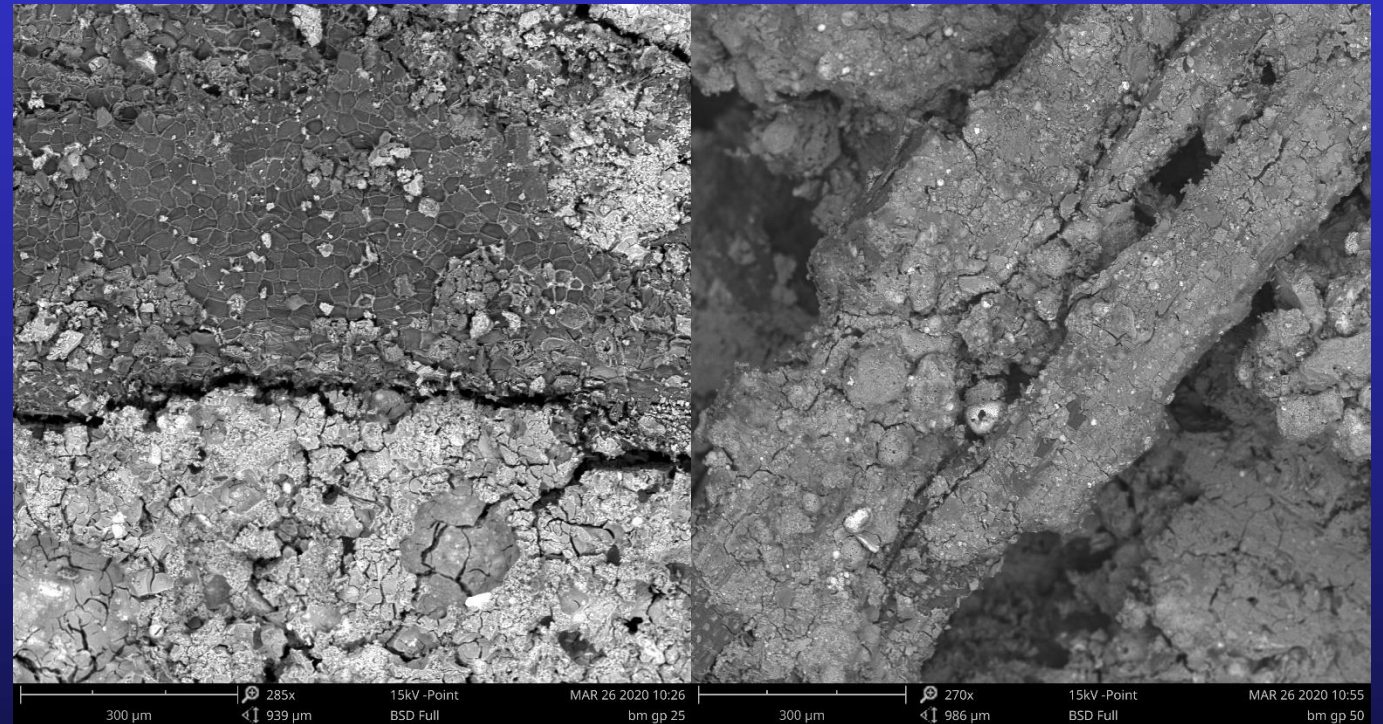
Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárás technikai Intézet

# Geopolimer kompozit előállítása

- Kompatibilitási vizsgálatok



17. ábra Fás biomassza tartalmú geopolimer kompozitok



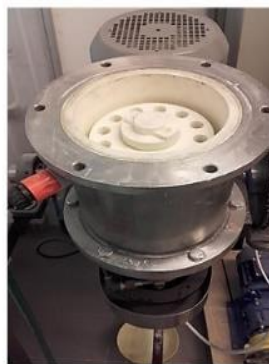
18. ábra Fás biomassza tartalmú geopolimer kompozitok SEM felvételei



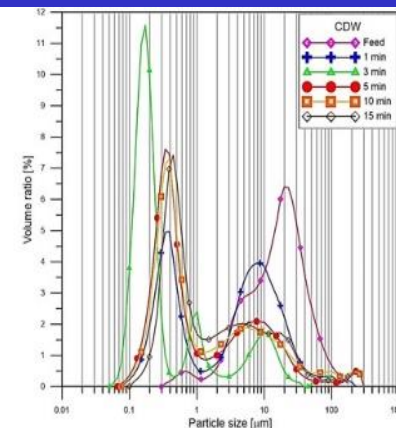
# Építési és bontási hulladékok felhasználása cementkiegészítő anyagként



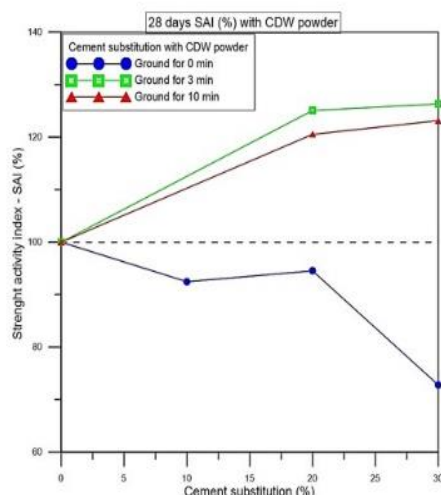
Construction and Demolition Waste (CDW)



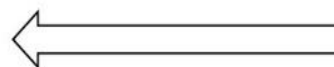
Mechanical activation in stirred media mill



CDW powder (10, 20, 30 wt.%)  
+  
Portland cement  
+  
water



The results of mechanical activation  
On compressive strength



# Összefoglalás

A RING projekt keretében végzett kutatások alapján az alábbi megállapítások tehetők:

- Az őrléssel megvalósított mechanikai aktiválásnak kulcsszerepe volt egy reaktívabb alapanyag előállítása céljából a geopolimerek számára.
- Megfelelő mechanikai stabilitású geopolimer kompozitok állítható elő különféle nyersanyagok pl. pernye, vörösiszap és biomassza felhasználásával.
- Geopolimer habok pórusszerkezete, ezáltal nyomószilárdsága és sűrűsége az alapanyag őrlésével szabályozható.
- A betonhulladék reaktivitása mechanikai aktiválással hatékonyan fokozható, amely elősegíti a cementkiegészítő anyagként történő hasznosítását.

# Köszönetnyilvánítás

Az előadásban ismertetett kutatómunka a „Fenntartható Nyersanyag-gazdálkodási Tematikus Hálózat – RING 2017” című, EFOP-3.6.2-16-2017-00010 jelű projekt részeként a Szechenyi2020 program keretében az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Külön köszönet illeti **Dr. Debreczeni Ákost** - a Bányászati és Geotechnikai Intézet egyetemi docensét - a szilárdságvizsgálatok elvégzésében nyújtott segítségéért, valamint **Dr. Móricz Ferenc** tanársegédet az Ásványtani – Földtani Intézetben végzett XRF vizsgálatokban való közreműködéséért.

# Hivatkozásjegyzék

Davidovits, J. (1994). Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *Journal of Material Education*, 16 (2,3), pp. 91-138.

Duxson, P., Provis, J. L., Lukey, G. C., and van Deventer, J. S. J., (2007). The role of inorganic polymer technology in the development of 'Green concrete'. *Cement and Concrete Research*, 37, pp. 1590–1597.

Komnitsas, K., & Zaharaki, D. (2007). Geopolymerisation: A review and prospects for the mineral industry. *Mineral Engineering*, 20, pp. 1261-1277.

**Köszönöm a megtisztelő figyelmüket!**