

Ipari hulladékok építőipari hasznosításának lehetőségei

Mucsi Gábor

Miskolci Egyetem NyKE Intézet
ejtmucsi@uni-miskolc.hu

Rácz Ádám

Miskolci Egyetem NyKE Intézet
ejtracz@uni-miskolc.hu

Molnár Zoltán

Miskolci Egyetem NyKE Intézet
ejtmolnar@uni-miskolc.hu

Szabó Roland

Miskolci Egyetem NyKE Intézet
ejtszabor@uni-miskolc.hu

Összefoglalás

Az elsődleges nyersanyagok mennyiségének folyamatos csökkenése és azok árának emelkedése arra ösztönzi a szakembereket, hogy a nagy tömegben rendelkezésre álló másodlagos nyersanyagforrásokat kutassák. Másodlagos nyersanyagforrásnak tekinthető anyagok a széntüzelésű erőművekben keletkező szállópernye és salak vagy a kohászatból származó kohósalak. Ezek az anyagok jó fizikai és kémiai tulajdonságoknak köszönhetően alkalmasak cementgyártási, útépitési, és építőipari felhasználásra. Azonban ezen anyagok nagymértékű újrahasznosítása jelenleg egyáltalán nem megoldott, gyakran a tárolásuk is nehézségekbe ütközik. A geopolimerek viszonylag egyszerű, energiahatékony, környezetbarát előállításuknak és kiváló mechanikai tulajdonságaiknak köszönhetően alternatív alapanyagot jelentenek a magas- és mélyépítőipar számos területén. A geopolimer készítéséhez nyersanyagul szolgálhat - megfelelő mechanikai előkészítés után- többek között az említett kohászati salak és pernye. A Miskolci Egyetemen folytatott kutatások során pernye és konverter salakot használtunk fel geopolimer beton előállítására. A pernye lúggal alkotott keveréke képezte a geopolimer típusú kötőanyagot, melynek kifejlesztése során vizsgáltuk a keverékben lévő aktiváló oldat mennyiségének és a pernye őrlési finomságának hatását egyaránt. Az elkészített mintatesteket nyomószilárdság és testsűrűség alapján minősítettük, valamint vizsgáltuk a geopolimer betonban aggregátumként alkalmazott konverter salak és andezit fizikai tulajdonságai közül a fagyállóságot, vízfelvételt és szemcseméret eloszlást is. A vizsgálatok azt mutatták, hogy a kohászati konverter salak jól használható, mint geopolimer beton töltőanyag, ezzel megteremtve a pernye és a salak szinergikus hasznosítását.

Kulcsszavak: pernye, kohászati salak, geopolimer beton, szinergikus hasznosítás

1 BEVEZETÉS

A bányászat, a kohászat és az építőipar hatalmas mennyiségben termel hulladékokat, ill. melléktermékeket. Ezek az anyagok kémiai összetételüket tekintve az alumino-szilikátok közé sorolhatók (Csőke 2014).

Magyarországon igen nagy mennyiségben keletkezik szénerőművi pernye, melynek fő tömege a Mátrai Erőműben történő lignit elégetéséből származik. A napjainkban keletkező kohászati salakok az ISD Dunaferr Zrt. nyersvasgyártási és acélgyártási technológiáinak melléktermékei. Magyarországon

fellelhető vaskohászati salakok mennyisége kb. 15-20 millió m³, míg a szénerőműi pernye mennyisége 200 millió m³-re tehető.

A kohászati salakoknak számtalan felhasználási lehetőségei ismertek. Hazánkban a kohászati salak jelentős része kerül értékesítésre, felhasználásra. Kiválóan alkalmazhatók cementgyártás területén, vízepítésben (védművek, gátak nem meder oldali részének építésében), rekultivációra szoruló területek tereprendezési betöltési céljaira, építőiparban (blokkgyártás, betonadalék), hőszigetelő anyag gyártására valamint az útépítésben (Hevesiné et al. 2009, Csöke 2014).

A hazai gyakorlatban az elmúlt évtizedekben a pernye hasznosítására a következő eljárások terjedtek el:

- cemenipari felhasználás
- útépítési alapanyagként történő hasznosítás
- bányauregek tömedékelése
- építőipari felhasználás (Angyal 2009).

A pernye és a kohászati salak közül főként a nagyobb mennyiségben keletkező illetve deponált formában található pernye megfelelő szintű hasznosítása nem megoldott hazánkban. Ennek érdekében kutatások folynak a salak és a pernye minél magasabb fokú hasznosíthatóságára, ezáltal a lerakásra kerülő mennyiségüknek csökkentésére.

Az utóbbi években világszerte jelentős kutatások indultak újfajta, környezetbarát építőanyagok kifejlesztésére. A geopolimerek újfajta, szervesen polimer szerkezetű anyagok, melyek agyagásványok (alumino-szilikát-oxidok) és alkáli-szilikátok lúgos közegben végbemenő reakciójával állíthatók elő (Davidovits 2011, Davidovits 1994, Mucsi et al. 2012).

A geopolimerek különleges tulajdonságokkal rendelkeznek: rendkívül jó mechanikai tulajdonságúak, tűz- és hőállóak, kötésük során szinte alig változtatják térfogatukat, formába önthetőek, szobahőmérséklet körüli hőmérsékleteken kötnek és kötési idejük tág határokon belül változtatható (Mucsi et al. 2012, D. Panias et al. 2007, Barbosa et al. 1999, Barbosa & MacKenzie 2003).

Kiválóan alkalmazhatók tűzálló kerámiák, hőálló anyagok, kompozitok készítésére, illetve veszélyes hulladékok immobilizálásának mátrixaként.

Geopolimer beton gyártható széntüzelésű erőművekből származó alacsony Ca-tartalmú pernye (F-típusú pernye) valamint építőipari melléktermékek, kohosalak és különböző – a betontechnológiában alkalmazott – adalékanyagok felhasználásával (Hardjito & Rangan 2005).

Jelen tanulmány célja, hogy konkrét példákon keresztül röviden bemutassa az erőműi pernye hasznosítási lehetőségeit, nevezetesen hidraulikus kötőanyag és geopolimer vonatkozásában.

2 ELŐZMÉNYEK

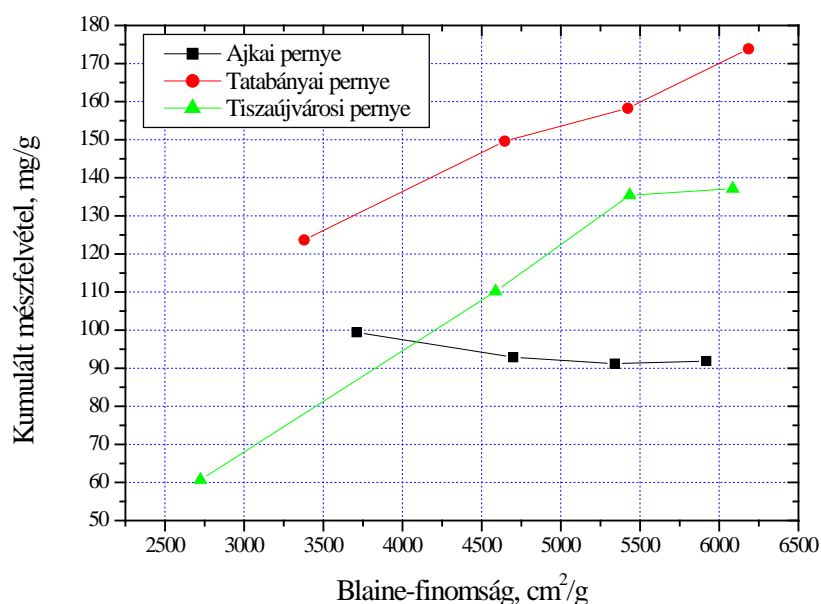
Pernyehasznosítás területén kiemelt terület a cement-, és betonipar, valamint az útépítési hasznosítás. Ezzel összefüggésben több kutatómunka is megvalósult a Miskolci Egyetemen. Ezek fontosabb eredményeit mutatjuk be az alábbiakban.

A kutatások során több hazai pernyehányó anyagát is (Tiszaújváros, Ajka, Pécs, Tatabánya, Berente, Visonta) vizsgálatokba vontunk. Megvizsgáltuk a minták oxidos kémiai összetételét. A felhasználás szempontjából legfontosabb oxidok - Al₂O₃, CaO, SiO₂ és Fe₂O₃ - összetételéből megállapítható volt, hogy a minták minőségi jellemzői sem vertikálisan, sem pedig horizontálisan nem mutattak nagy szórást.

A hazai pernyekészletek mennyiségi és minőségi jellemzőinek felmérése a témaművelés első fázisának fontos feladatát képezte. Az országos körű kataszterkészítés minden egyes hazai pernyehányó vonatkozásában a következő adatok felvételére terjedt ki: a tulajdonos, a helyszín azonosítható módon történő leírása, a területi kiterjedés és a tárolt (becsült) mennyiség. Mindemellert az ipari melléktermék katasztert készítő Közlekedéstudományi Intézet Kht. szakértői javaslatot készítettek az anyag útépítési felhasználására, az ehhez szükséges laboratóriumi vizsgálatokra és a pernyehányóból történő elszállításának lehetőségeire vonatkozólag is.

A kutatások további célját a hazai pernyék minőségéhez igazodó gyártási technológia minőség szabályozásának tudományos megalapozása képezte. Meghatároztuk a pernye minták eljárás technikai tulajdonságait, úgymint szemcseméret eloszlás, valódi- és halmazsűrűség, Blaine- és BET-féle fajlagos felület. Ezen kívül megállapítottuk az egyes nyersanyagok fajlagos őrlési energiaigényét (12...16 kWh/t), és feltártuk az őrlési finomság és őrlési munka közötti függvénykapcsolatot. Ezekon túlmenően elvégeztük a pernyeminták nedvességtartalom, izzítási veszteség és ásványos összetétel vizsgálatát.

Köztudott, hogy az őrléssel vagy más néven mechanikai aktiválással növelhetjük a puccolános tulajdonságokkal rendelkező anyagok reaktivitását. Az őrlés puccolános aktivitásra gyakorolt hatását alapvetően kétféle módon határozhatjuk meg. Az egyik módszert a MSZ EN 196. sz. szabvány szerint kell végrehajtani, ahol szilárdsági vizsgálatok eredményei alapján nyerjük az ún. aktivitási indexet. A másikat pedig a CK HSZ 4706-2 sz. „Cementkiegészítő anyagok. Természetes puccolános anyagok (trasszok).” c. módszert követve kell elvégezni, ahol mérjük az egységnyi tömegű pernye által felvett mészmennyiséget. Ez utóbbira mutat példát az 1. ábra.



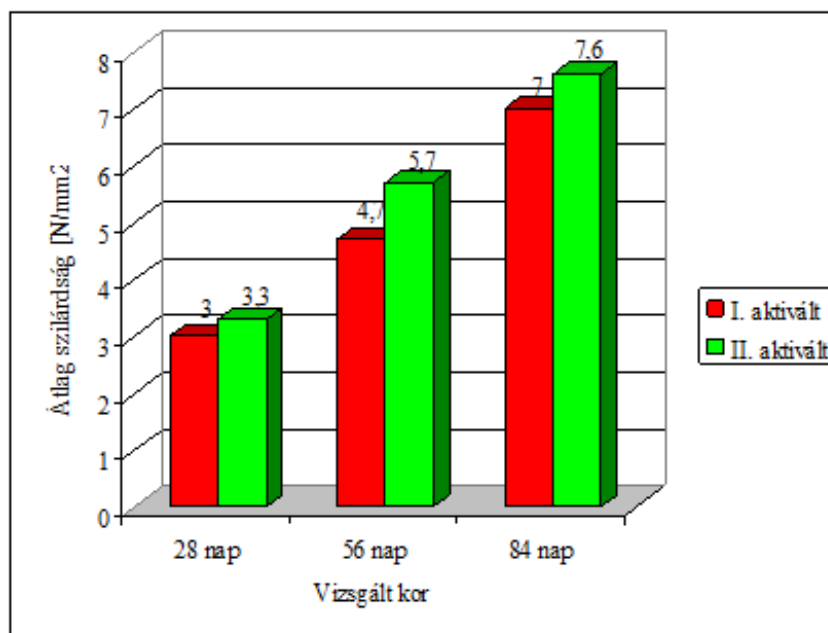
1. ábra. Pernye őrlemény finomsága és puccolános aktivitása közötti kapcsolat

A kísérletek alapján megállapítottuk, hogy a mechanikai aktiválás (őrlés) jelentős hatást gyakorolt a tatabányai és tiszaujvárosi pernyék hidraulikus aktivitására (savanyú pernyetípusok), azaz ezen minták összes mészfelvevő képessége (60 nap alatt) 40,6 %-kal, valamint 125,9 %-kal növekedett.

A bázikus ajkai pernye, amely eredetileg 38,96 % - os CaO tartalommal rendelkezett, mészfelvétele csekély mértékben változott (7,56 %-kal lecsökkent) az őrlési finomság növekedésével.

Egy további mérési sorozatban különböző kötőanyag adagolások mellett végeztünk az útpályaszerkezetek méretezéséhez használt nyomószilárdság (hengersizilárdság) vizsgálatokat az MSZ-EN 12390-3:2002 szabvány szerint, illetve ehhez kapcsolódva fagyállóság, és hasítószilárdság vizsgálatokat. Minden esetben aktiválatlan, I. aktiváltsági fokú (t= 20 min őrlési idő) és II. aktiváltsági fokú (t= 30 min őrlési idő) pernye-őrleményből készítettünk különböző pernye-CaO-keverékeket, majd e kötőanyagokkal készített beton próbatestek szilárdságát a jellemző korokban megmértük. A legkedvezőbb eredményeket a 170 kg/m³-es kötőanyag adagolás mellett értük el. A pontos adatokat a 2. ábrán láthatjuk. Ebben az esetben az őrlés 10...20 %-os szilárdságjavulást eredményezett.

A négy különböző vizsgálatba vont pernye (ajkai - bázikus, tatabányai, pécsi és tiszaujvárosi - savanyú) anyagtulajdonsága, szilárdsága és puccolános aktivitásának ismeretében megállapítottuk, hogy a további kísérleteket a tiszaujvárosi pernyehányóról származó pernyemintával célszerű lefolytatni.



2. ábra. Tiszaujvárosi pernye kötőanyagú próbatestek törési eredményei
(I.aktivált: $t=20$ min; II.aktivált: $t=30$ min örlési idő)

A félüzemi szinten legyártott 4,4 tonna tiszaujvárosi pernye-CaO kötőanyagból 30 m hosszúságú próba útszakaszt építettünk 170 kg/m^3 -es kötőanyag adagolással a nagyminta szilárdsági vizsgálatok elvégzése céljából. Ezáltal valós körülmények között tudtuk vizsgálni az elkészült úttest tulajdonságainak változását tényleges időjárási körülmények között. A beépítésre helyszíni keveréssel, megfelelően előkészített tükrön került sor. Minden rétegen mértük a teherbírást és a tömörséget, valamint a pernye kötőanyagú keverékből készült alapréteg tetején periódikusan méréseket végeztünk, nyomon követve a pernye kötőanyagra jellemző utószilárdulást. Az építésen készült képeket a 3. ábrán láthatjuk.



3. ábra. Kísérleti útszakasz építése (Csóke, Mucsi, Sík, 2008)

A helyszíni beépítés során mintát vettünk a keverékből, és azt laboratóriumi körülmények között szabványos tömörítő munkával, Proctor dögölővel tömörítettük. Mindezek mellett a tervezett kötőanyag adagolásnak megfelelően, laboratóriumi körülmények között is előállítottuk a keveréket.

Az eredmények alapján 63 napos korban mind a helyszíni, mind pedig a laboratóriumi keverék teljesíti a CB1 szilárdsági osztály követelményeit ($3,7 \text{ N/mm}^2$), a laboratóriumi minták pedig a CB2 osztály kritériumait is ($5,5 \text{ N/mm}^2$) kielégítik. Megállapítottuk, hogy az így előállított kötőanyag kis- és közepes forgalmú utak (védőréteg, helyszíni stabilizáció, javítóréteg bizonyos esetekben útpályaszerkezeti alapréteg) építésére alkalmas.

3 ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

A továbbiakban egy közelmúltban elvégzett kísérletsorozat eredményeit mutatjuk be, amely az erőműi pernye újszerű hasznosítására irányult.

A geopolimerbeton kötőanyagaként a lignit tüzelésű Mátrai Erőműből származó pernyét és aktiváló oldatot (NaOH oldat és vízüveg keverékét) használtunk. A geopolimer beton adalékanyagaként andezit (Colas Északkő Kft, Tállya) és kohászati konverter salak (ISD Dunaferr Zrt, Dunaújváros) szolgált. Az andezit esetében 0/4 mm szemcseosztályú frakciót, míg a kohászati salak esetében 5/12 és 12/20 mm szemcseosztályú frakciókat használtunk.

A vizsgálatokhoz használt pernye mechanikai aktiválása golyósmalomban történt különböző ideig (5; 10; 20; 30; 60 perc) tartó őrléssel.

Az elkészített próbatetek egytengelyű nyomószilárdságát a Controls SERCOMP 7 (Modell 50 C7022) berendezéssel mértük.

4 KÍSÉRLETEK

A kísérletek során először egy megfelelő, a beton kötőanyagául szolgáló keverék kifejlesztését végeztük el. Ebben az esetben vizsgáltuk a keverékben lévő aktiváló oldat/pernye arányát valamint a pernye mechanikai aktiválásának hatását. A mechanikai aktiválás golyósmalomban történt a pernye különböző ideig (5; 10; 20; 30; 60 percig) történő őrlésével.

A kísérletek során a pernye és a 6 M/l koncentrációjú NaOH oldat felhasználásával kapott keveréket hengeres formákba ($\varnothing 35 \text{ mm}$) öntöttük, melyeket előtte formaleválasztó olajjal kikentünk a későbbiekben könnyebb eltávolíthatóság érdekében. A betöltést követően 3 percig vibrációs úton tömörítettük, majd 24 órán keresztül pihentettük a próbatesteket. A formából való kivételt követően 6 órán keresztül $90 \text{ }^\circ\text{C}$ -on hőkezeltük a mintadarabokat. Öt próbtetet készítettünk, amelyeken 7 napos korban egytengelyű nyomószilárdság vizsgálatot végeztünk.

A kötőanyag kifejlesztése után a geopolimerbeton gyártáshoz szükséges pernyét folyamatos üzemű golyósmalomban mechanikailag aktiváltuk. Ezt követően az őrlt pernyét összekevertük az aggregátummal (0/4 mm-es frakciójú andezit és 5/20 mm szemcseosztály frakciójú salak keveréke). Az aggregátumoknak előzetesen meghatároztuk a fizikai és kémiai tulajdonságait. A szárazanyag bekeverése után a keverékhez hozzáadtuk az aktiváló oldatot (8 M/l koncentrációjú NaOH oldat és vízüveg keveréke). A kapott masszát formába ($\varnothing 100 \text{ mm}$) öntöttük, vibrációs úton tömörítettük, 24 órán át pihentettük, majd hőkezeltük ($30 \text{ }^\circ\text{C}$ -on) és 7 napos korban egytengelyű nyomószilárdság-vizsgálatot végeztünk.

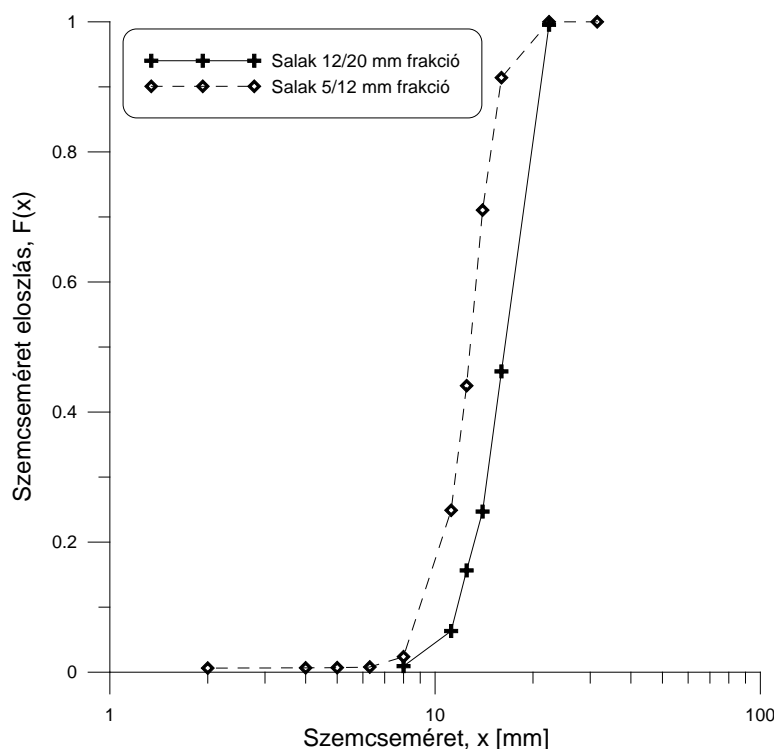
5 EREDMÉNYEK

5.1 Aggregátumok fizikai és kémiai tulajdonságai

A salak és az andezit fizikai tulajdonságainak meghatározásának célja az volt, hogy alkalmazhatóak-e beton adalékanyagként.

A referencia andezit minta a COLAS Északkő Kft. Tállyai telephelyéről érkezett 0-22,4 mm szemcseosztályú frakciókban. A konverter kohósalak a Dunaújvárosi ISD Dunaferr ZRt-től származik, 5 –12 mm és 12 – 20 mm névleges szemcseosztályú frakciók formájában.

Az andezit termék az MSZ EN 13040 szabvány szerint minősített termék, szemcseméret eloszlásuk ennek megfelelő volt. A kohósalak frakciók szemcseméret eloszlását az 4. ábrán tüntettük fel.



4. ábra. Salak termékek szemcseméret eloszlása

A 4. ábrán látható szemcseméret eloszlásfüggvény alapján a névleges 5/12 mm termék az MSZ EN 12620 szabvány alapján minősítve 4/16 mm durva kőanyag halmaznak megfelelő $G_{C85/20}$ minősítéssel azonos geometriai tulajdonságokkal írható le. A 12/20mm névleges frakció a 11/22 mm termék eloszlásával mutatja a legjobb egyezést azonban az eloszlásfüggvénye a határgörbék közül kismértékben kilóg a D szemcseméretnél (eltérés < 1%). Ezek alapján megállapítható, hogy kismértékű osztályozással szabványos szemcseméret frakciók előállíthatóak a mintákból.

Az adalékanyagokon elvégzett fagyállósági vizsgálatokat az MSZ EN 12620 szabványban megjelölt közvetlen 10 ciklusos fagyasztási vizsgálattal párhuzamosan a konverter kohósalak minta és az andezit referencia mintán végeztük el. Összehasonlító vizsgálatként az adalékanyag minták vízfelvételeit piknométeres módszerrel és $MgSO_4$ kristályosítási eljárással is elvégeztük. A kapott eredményeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat. Andezit és konverter kohósalak minta fagyállósági vizsgálatának eredményei

MSZ EN 12620 szabvány szerinti minősítés	Andezit minta	Salak minta
Vízfelvétel, [%]	0,83	1,61
$MgSO_4$ kristályosítás, MS	5,05 (MS_{18})	6,26 (MS_{18})
Fagyasztás, F	0,22 (F_1)	0,13 (F_1)

A minták vízfelvétele azért célszerű vizsgálni, mivel ha azok 1% alatti értéket mutatnak, akkor a vizsgált minta alapvetően fagyállónak tekinthető. Az 1%-nál nagyobb vízfelvételi érték azonban nem jelenti automatikusan azt, hogy a vizsgált minta ne lenne fagyálló. Mindkét vizsgált minta esetén a

vízfelvétel nem volt jelentős, az andezit minta esetében 1% alatti, salak minta esetében valamivel 1% feletti értéket kaptunk. A salak minta nagyobb vízfelvevő képessége porózusabb szerkezetének köszönhető.

Mind az $MgSO_4$ kristályosítási vizsgálat, mind a 10 ciklusos fagyasztási vizsgálat az andezit és a konverter kohósalak esetében jó időjárás és fagyállósági tulajdonságokat hozott. Magyarországon útépitési célra MS_{18} érték alatt a kőanyag az útpálya szerkezetekbe beépíthető, az F_1 érték pedig kiváló fagyűrő képességekre utal. Ennek megfelelően mindkét minta alapvetően fagyállóknak tekinthető.

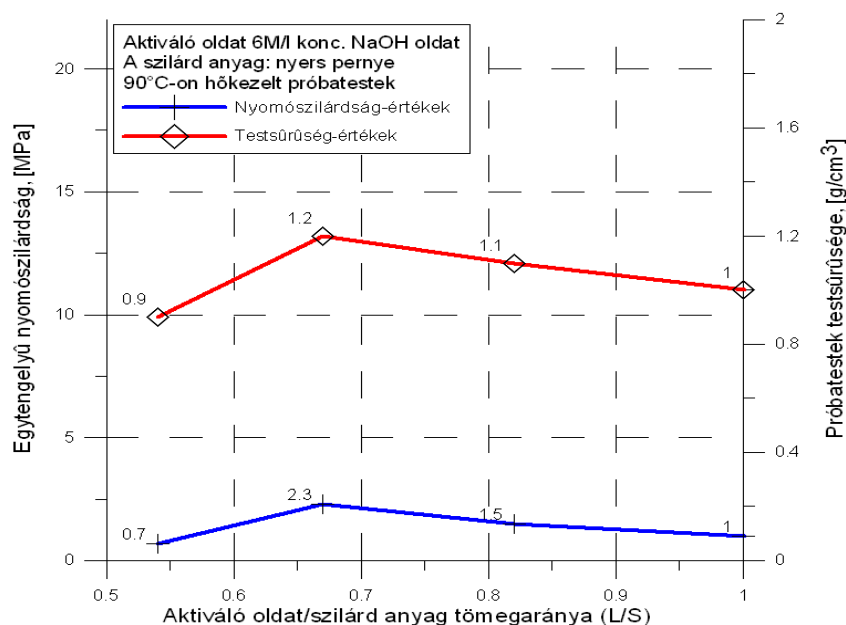
Megjegyzendő, hogy az Útügyi Műszaki Előírásokban az MS érték az irányadó, 18-as értéknél kisebb értékkel rendelkező kötőanyag az útpályába beépíthető.

5.2 Kötőanyag fejlesztésre irányuló vizsgálatok

A vizsgálatok során egy olyan kötőanyag kifejlesztésére törekedtünk, mely alkalmazható a geopolimer betonok készítése során.

5.2.1 Kötőanyag L/S arányának vizsgálata

A kötőanyag vizsgálata során vizsgáltuk, hogy mi az optimális aktiváló oldat/ pernye tömegarány (L/S arány), amelynél a kötőanyag a legjobb tulajdonságokkal rendelkezik mind testsűrűség mind egytengelyű nyomószilárdság értékeket figyelembe véve (5. ábra).

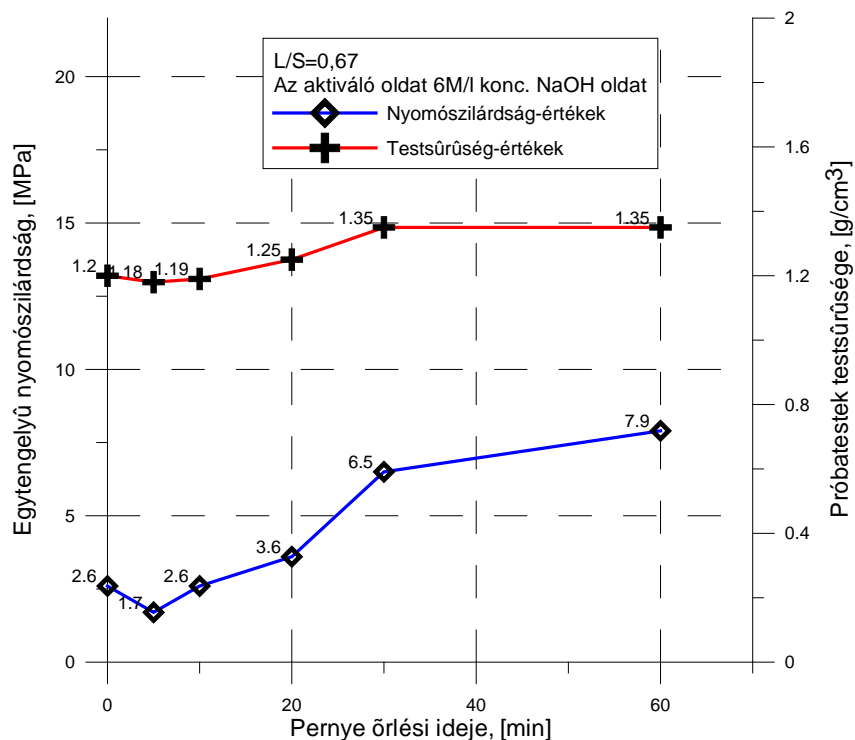


5. ábra. Az aktiváló oldat keverékben való mennyisége és a próbatestek nyomószilárdsága és testsűrűsége közötti összefüggés

Az 5. ábra alapján megállapítható, hogy a legjobb nyomószilárdságú (2,3 MPa) és testsűrűség értékű (1,2 g/cm³) próbatesteket az L/S=0,67 érték esetében kaptunk. Ebben az esetben a keverék 40 m/m%-ban tartalmazott aktiváló oldatot és 60 m/m% -ban nyers pernyét. Nagyobb aktiváló oldat mennyiség esetén a próbatestek nyomószilárdsága és testsűrűsége is csökkent.

5.2.2 Az őrlés hatásának vizsgálata

A mechanikailag aktivált pernye felhasználásával készült geopolimerek 60m/m%-ban tartalmazták az őrlött pernyét és 40 m/m%-ban az aktiváló oldatot (6 M/l koncentrációjú NaOH oldatot). A mintatestek testsűrűségét és az egytengelyű nyomószilárdság-értékét 7 napos vizsgálati korban határoztuk meg. Ezeket az értékeket a 3. ábra tartalmazza.



6. ábra. A pernye őrlési ideje és a próbatetek nyomószilárdság és testsűrűség értékei közötti összefüggés

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy nincs különbség a 30 illetve 60 percig őrlött pernyéből készült geopolimerek testsűrűsége között. Mindkét esetben $1,35 \text{ g/cm}^3$ értékűek voltak. Továbbá az is megfigyelhető, hogy a pernye őrlési idejének növelésével egyre jobb nyomószilárdságú geopolimerek állíthatók elő. Összességében azt lehet elmondani, hogy az őrlés kedvező hatással van a próbatetek testsűrűségére és nyomószilárdságára.

5.3 Geopolimer beton

Az általunk korábban végzett geopolimer betonvizsgálatok tapasztalatai alapján a betonban lévő adalékanyag/kötőanyag arányát 70/30 értékre választottuk, valamint a kötőanyagban lévő aktiváló oldat/pernye aránya: $L/S=0,82$ volt, azaz a keverék 45 m/m% -ban tartalmazott aktiváló oldatot és 55 m/m% -ban őrlött pernyét. Ebben az esetben a keverék jól bedolgozható volt, és megfelelően kitöltötte az aggregátumok közötti pórusokat. kevesebb aktiváló oldat mennyiség esetén a keverék rosszul bedolgozható volt. A próbateteknek 7 napos vizsgálati korban megmértük a nyomószilárdságát és meghatároztuk a testsűrűségüket (2. táblázat).

2. táblázat Geopolimer beton nyomószilárdság és testsűrűség értéke

Nyomószilárdság (MPa)	19,1
Testsűrűség (g/cm^3)	2,37

A táblázat alapján megfigyelhető, hogy jelentős nyomószilárdsággal rendelkező próbatest állítható elő a pernye és kohászati salak együttes felhasználásával.

A vizsgálatok alapján tehát megállapítható, hogy a kohászati salak használható geopolimer betonok adalékanyagaként, megteremtve ezzel annak a lehetőségét, hogy ezek az ipari hulladékok, mint építőanyagok szinergikusan hasznosíthatók legyenek.

6 KONKLÚZIÓ

A korábbi kutatások alapján látható, hogy a pernye őrlési finomsága jelentős hatást gyakorol annak puccolános aktivitására, és a pernye alapú termék szilárdságára. Geopolimer vonatkozásában az előzetes laboratóriumi kísérletek alapján az alábbi következtetések vonhatók le:

- Optimális nyomószilárdságú és testsűrűségű próbatestek állíthatók elő, ha a geopolimer paszta 40 m/m%-ban tartalmaz aktiváló oldatot és 60 m/m%-ban pernyét ($L/S=0,67$).
- A pernye őrlési finomságának növelésével egyre nagyobb nyomószilárdságú próbatestek állíthatók el.
- Az adalékanyagokon végzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy mind az andezit, mind a konverter kohósalak fagyállónak tekinthető.
- A lignittüzelésű erőművi pernye és a konverter kohósalak, mint ipari hulladékok sikeresen alkalmazhatók együttesen geopolimer beton készítésére, ezáltal megteremtve az építőipari célokra történő hasznosítását.
- A próbatestek nyomószilárdsága a közel 20 MPa nyomószilárdságot érte el.
- Továbbiakban tervezzük a kifejlesztett geopolimer beton hosszú távú időállósági vizsgálatát.

7 IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- Csőke B. 2014. Hulladékgazdálkodás, *Hulladékonline* elektronikus folyóirat
<http://hulladekonline.hu/Hullad%C3%A9kgazd%C3%A1llkod%C3%A1s> Letöltve: 2014. 02.12.
- Csőke B., Mucsi G., Sík Cs. 2008. Production and practical application of mechanically activated fly ash-based binding material. VIth International Conference on Mechanochemistry and Mechanical Alloying 1-4 December 2008, Jamshedpur, India
- Hevesiné Kővári É., Bocz A., Tóth A., Várady T., Pallósi J. 2009. Dunaferr salakok megfelelőségének tanúsítása. *ISD Dunaferr Műszaki gazdasági közlemények*, 3, 122-131.
- Angyal Zs. 2009. *Erőművi salakhányók környezetre gyakorolt hatásainak és hasznosításuk lehetőségeinek vizsgálata egy salgótarjáni mintaterület példáján*. Doktori (PhD) értekezés ELTE TKK Környezettudományi Centrum,
http://teo.elte.hu/minosites/ertekezes2009/angyal_zs.pdf Letöltve: 2014. 02. 05.
- Davidovits J. 2011. Geopolymer chemistry and application. *Institut Geopolimère 16 rue Galilée F-02100 Saint-Quentin France*, 283, 286.
- Davidovits J. 1994. Geopolymers: inorganic polymeric new materials. *J. Mater. Educ.* 16, 91-139.
- Mucsi G., Csőke B., Molnár Z. 2012. Alkáli aktivált pernyealapú kötőanyag vizsgálata. *Hulladékonline* 3(1)
[http://folyoirat.hulladekonline.hu/1.%20sz%C3%A1m.%20\(febru%C3%A1r\)2014.01.22](http://folyoirat.hulladekonline.hu/1.%20sz%C3%A1m.%20(febru%C3%A1r)2014.01.22).
- Panias, D. Giannopoulou, I. P. Perraki. T. 2007. Effect of synthesis parameters on the mechanical properties of fly ash-based geopolymers. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects* 301, 246-254.
- Barbosa, V. F. F. MacKenzie, K. J. D. Thaumaturgo, C. 1999. Synthesis and characterization of sodium polysialate inorganic polymer based on alumina and silica. Geopolymer '99 Second International Conference, Saint-Quentin, France, 65-78.
- Barbosa, V.F.F. MacKenzie K.J.D. 2003. Thermal behaviour of inorganic geopolymers and composites derived from sodium polysialate. *Mater. Res. Bull.*, 38, 319-331.
- Hardjito H, Rangan RV. 2005. Development and properties of low-calcium fly ash based geopolymer concrete. Research report GC1. Perth, Australia: Faculty of Engineering, Curtin University of Technology

