



MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI FÖLDTUDOMÁNYI KAR
NYERSANYAGELŐKÉSZÍTÉSI ÉS KÖRNYEZETI
ELJÁRÁSTECHNIKAI INTÉZET

**Üveghulladék alapú habkavics geopolimer kötőanyagba történő
befoglalása**

Encapsulation of glass waste based lightweight aggregate in geopolymer cement

TDK dolgozat

Készítette:

Balogh Tamás és Mészáros Richárd
Nyersanyagelőkészítési szakirányos BSc hallgatók

Konzulensek:

Dr. Mucsi Gábor egyetemi docens

Molnár Zoltán PhD hallgató

Miskolc, 2014

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	4
2. Szakirodalmi áttekintés	5
2.1 Pernye és pernyealapú geopolimerek	5
2.2 Üveghulladék és hasznosítása	7
2.3. Tanszéki előzmények	8
3. Mintaanyagok tulajdonságai, előkészítése	9
3.2. Kutatáshoz felhasznált berendezések, eszközök	9
3.2.1. Lézeres szemcseméret-eloszlás vizsgáló berendezés	9
3.2.2. Pofás törő.....	10
3.2.3. Hengeres törő	11
3.2.4. Golyósmalom	12
3.2.5. Statikus kemence	13
3.2.6. Optikai mikroszkóp	13
3.2.7. Nyomószilárdság vizsgáló berendezés	14
3.3 Alapanyagok és előkészítésük	15
3.3.1. Üvegor előkészítése.....	15
3.3.2. Pernye tulajdonságai, előkészítése	18
4. Laboratóriumi kísérletek	20
4.1. Habkavics előállítása	20
4.2. Geopolimer – habkavics kompozitanyag előállítása	23
5. Mérési eredmények	24
5.1. Habkavics előállítás.....	24
5.2. Habkavics mennyiségének hatása	25
5.3. Habkavics méretének hatása.....	27
5.4. Young modulus	27
5.5. Törésfelületek vizsgálata	28
6. Konklúzió	31
7. Összefoglalás.....	32
8. Irodalomjegyzék	33
9. Summary	35
10. Köszönetnyilvánítás	36

Eredetiségi nyilatkozat

"Alulírott Balogh Tamás és Mészáros Richárd, a Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Karának hallgatói büntetőjogi és fegyelmi felelősségünk tudatában kijelentjük és aláírásunkkal igazoljuk, hogy ezt a dolgozatot saját magunk készítettük, a benne leírt vizsgálatokat – ha ezt külön nem jeleztük – magunk végeztük el, és az ismertetett eredményeket magunk értük el. Adatokat, információkat csak az irodalomjegyzékben felsorolt forrásokból használtuk fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem."
Miskolc, 2014. november 4.

.....
hallgatók aláírása

A konzulens nyilatkozata

Konzulensi nyilatkozat

"Alulírott Dr. Mucsi Gábor, a Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetének egyetemi docense a TDK dolgozatot beadásra alkalmasnak ítélem."

Egyéb megjegyzések, ajánlás:
Miskolc, 2014. november 4.

.....
a konzulens aláírása

1. Bevezetés

Évente 200-250 ezer tonna üveghulladék keletkezik Magyarországon, melynek csak 5-15%-át hasznosítják újra, ezt leggyakrabban az üveg gyártásban és egyes betonok adalékanyagaként teszik. A szeparálás után a színes üveg lerakásra kerül. Erre a problémára megoldás lehet a habkavics előállítása. A habkavics magas üvegtartalmú anyag, aminél ha az üveget megfelelő szemcseméretűre őrölünk és összetételétől függően különböző mennyiségű gázképző anyaggal homogenizáljuk, egy kis halmazsűrűségű anyagot kapunk, amit kötőanyagba ágyazva (beton, gyanta) töltőanyagként lehet hasznosítani.

A világ energiatermelésének jelentős részét a szénalapú erőművek biztosítják mind a mai napig, és az ott keletkező pernye környezeti kockázatot jelent. Magyarországon évente 2-3 millió tonna pernye keletkezik évente, amit jelenleg lerakással ártalmatlanítanak és csak 20%-át hasznosítják. Ennek a csökkentésére lehet megoldás a másodnyersanyagként történő felhasználása, mint például hidraulikus kötőanyag, betonadalékok valamint a geopolimerek előállítása. A geopolimer egy szintetikus alumínium-szilikát kötőanyag, melynek tulajdonságai a betonhoz hasonlít, de több felhasználási területen is elképzelhető a jövőbeli hasznosításuk.

TDK dolgozatunkban korábbi habkavics előállításra és geopolimer kötőanyag kifejlesztésére irányuló intézeti kutatások eredményeit felhasználva kísérleteket hajtottunk végre, amelynek célja geopolimer-habkavics kompozit kifejlesztése. Laboratóriumi kísérleteink során őrölt üvegőrlemény, Na-bentonit és dolomit keverékének felhasználásával 2/4, 4/6, 6/8, 8/10 mm mérettartományú habkavicsot állítottunk elő a keverék porból pelletek előállításával, majd azok kemencében történő kiégetésével, a termékek osztályozásával. Az előállítás során változó paraméter a pelletek kiégetési hőmérséklete volt (800, 850, 900 °C). Célunk olyan habkavics előállítása, amely kis sűrűségű, zárt vagy nyitott pórusú és ezek a pórusok lehetőleg homogén méreteloszlással rendelkeznek. Ennek vizsgálatát a habkavicsok geometriai méreteinek mérésével, ill. optikai mikroszkóp segítségével végeztük. A megfelelő hőmérséklet kiválasztása után a habkavicsot egy korábbi kutatásban optimálisnak ítélt mechanikailag aktivált pernye és aktiváló oldat (NaOH oldat és vízüveg) keverékéből készített geopolimer kötőanyagba ágyaztuk. A változó paraméter itt a különböző méretfrakciójú habkavics adagolása és a geopolimer kötőanyag mennyisége volt. 7 napos vizsgálati korban mértük a testek egytengelyű nyomószilárdságát és testsűrűségét. A geopolimer kötőanyag és habkavics alkotta geopolimer kompozit szöveti szerkezetét optikai mikroszkóp segítségével vizsgáltuk.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1 Pernye és pernyealapú geopolimerek

Napjainkban egyre fontosabb az ipari hulladékok, mint másodnyersanyagok felhasználása. Ilyen másodnyersanyag a pernye és az üveghulladékok is. A pernye felhasználási módját tekintve elég sokszínű. Felhasználható cement illetve beton kiegészítőként, helyettesítő anyagként jó puccolános tulajdonsága révén, és útépitésben pl.: a töltések anyagához is használhatjuk jó teherbíró képessége miatt, valamint geopolimer alapanyagként is alkalmazható. Míg az üveghulladékot felhasználhatjuk újabb üvegek gyártására vagy üveghab illetve habkavics előállítására.

A köznap értelemben vett pernye az elégett fű- és szalmaféle növények szállongó hamva, míg az erőműi pernye a szén hamutartalmának finomszemcséjű része, amely a füstjáratokon, a füstgázokkal együtt távozik a kazánból, valamint azt valamilyen leválasztási eljárással eltávolítottuk a füstgázból [1-4].

A pernye világszerte nagy mennyiségben (kb. 500 millió tonna) keletkezik, de az energia igény növekedése miatt valószínűleg ez a szám tovább emelkedhet.[5] Magyarországon kb. 2-3 millió tonna pernye keletkezik évente [1].

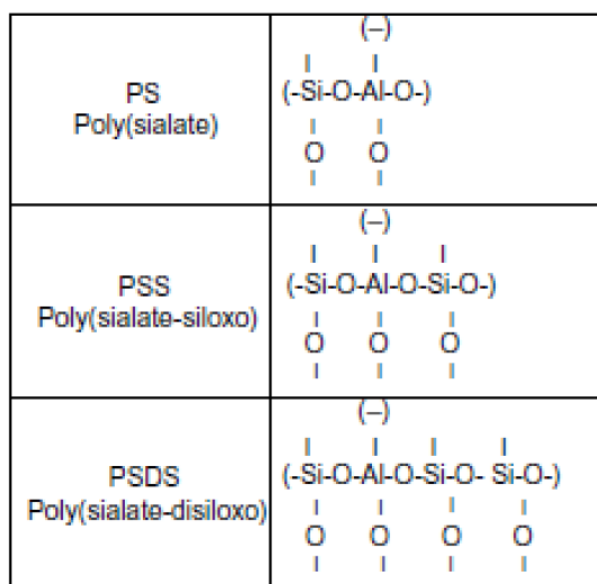
A pernye ásványtani tekintetben főként alumoszilikát-üvegből áll, amelybe különböző komponensek ágyazódnak be. Főbb alkotói: Kvarc, Mullit, Hematit illetve egyéb ásványok [2].

A pernyét leggyakrabban kémiai összetételük szerint osztályozzák így megkülönböztethetünk F, azaz savanyú illetve C, azaz bázikus pernyét. A savanyú pernyék SiO_2 tartalma 45-60% között változhat még CaO tartalmuk 15% alatti valamint az aktív mész tartalmának kevesebbnek kell lennie, mint 10%. A bázikus pernyéknek az SiO_2 tartalma 20-25% a CaO tartalma pedig 30-40% körül van [2-4]

Pernye reaktivitása függ a szemcsemérettől és a fajlagos felület nagyságától. A lerakott pernye aktivitása csökken, amely fokozható kémiai úton (NaOH , KOH oldat) alkalmazásával, és/vagy mechanikai úton különböző malmokban történő őrlésekkel. A szakirodalomban fellelhető vizsgálatok bizonyítják a mechanikai aktiválás pozitív hatását a geopolimer szilárdságára. [6-10]

A pernyéből előállított geopolimerek újfajta, szervesetlen és amorf szerkezetű mesterséges építőanyagok, melyek könnyedén előállíthatók ipari hulladékok, melléktermékek

felhasználásával szobahőmérsékleten. Előállításakor lúgos közegben (NaOH vagy KOH) az agyagásványok (alumino-szilikát-oxidok) és az alkáli-szilikátok gyors reakciója játszódik le, ahol a szilícium és alumínium oxidok kapcsolódnak egymáshoz, amelynek eredménye egy háromdimenziós polimer lánc, és egy gyűrűs szerkezet (1. ábra). A szialát (Szilícium-Oxo-Aluminát) háló SiO_4 és AlO_4 tetraéderek felváltva történő összekapcsolódásából jön létre azáltal, hogy minden oxigénatomot megosztanak. Pozitív ionok jelenlétére van szükség a szerkezeti üregekben/lyukakban, mint Na^+ , K^+ és Ca^{2+} , hogy az Al^{3+} okozta negatív töltéstöbbletet kiegyenlítsék. A poliszialátok lánc és gyűrű alakú polimerek, amelyekben a Si^{4+} és az Al^{3+} 4-es koordinációs számmal szerepel, ugyanis 4 irányban veszik körül őket oxigén atomok. A poliszialátok az alábbi képlettel jellemezhetők, ahol „z” 1,2,3; „M” egy egyértékű kation, mint K^+ vagy Na^+ és „n” a polikondenzációs fok.



1. ábra
Geopolimer láncok [4]

A SiO_4 és AlO_4 tetraéderek összekapcsolódása változatos egységeket hoz létre, amelyek síkbeli, majd térbeli hálózatot alkotnak, így alakítva ki a láncokat tartalmazó komplex geopolimer szerkezetet (struktúrát). Vagyis lényegében mesterségesen előállított kőzeteknek tekinthetők, mivel szerkezetük a zeolithez hasonló. Minden olyan anyag alkalmas geopolimerizációra, mely szilika és alumina hordozó fázisokat tartalmaz.

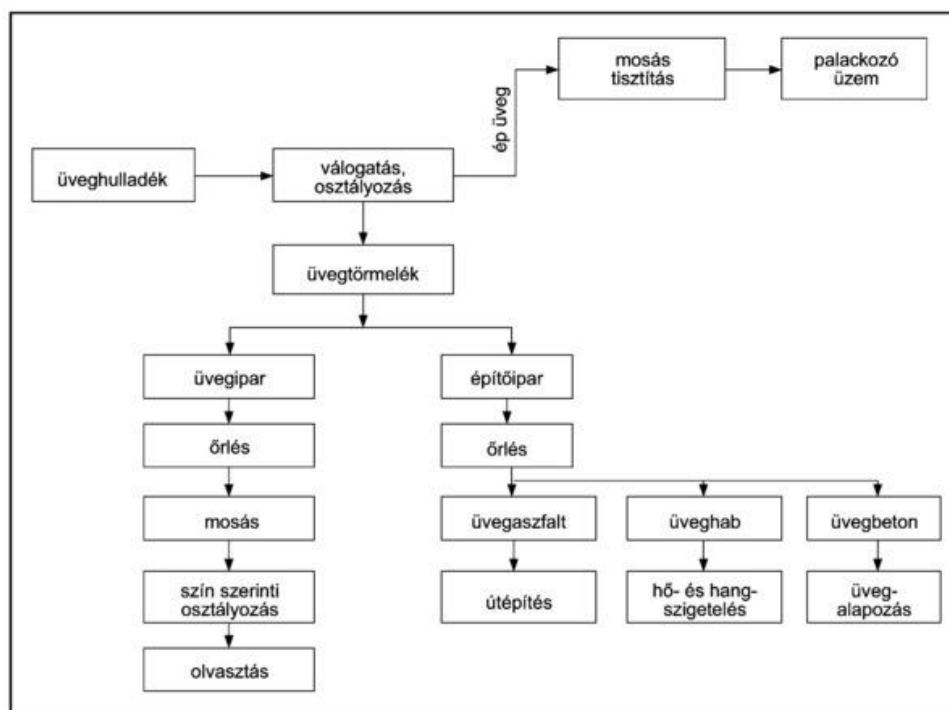
A geopolimerek számos előnnyel rendelkeznek a hagyományos építőanyagokkal szemben:

- rendkívül jó mechanikai tulajdonság
- tűz- és hőállóság, savakkal szembeni ellenállóság
- kötésük során szinte alig változtatják térfogatukat

- formába önthetőek
- az építőipartól a csúcstechnológiai alkalmazásokig nagyon sok területen helyettesíthetik a már ismert szerkezeti anyagokat
- előállításukhoz kevesebb energia szükséges
- előállításuk során alacsonyabb a CO₂ kibocsátás
- előállításuk másodnyersanyagokból történik

2.2 Üveghulladék és hasznosítása

Magyarországon évente megközelítőleg 133.000 tonna elsődlegesen csomagolásból származó üveghulladék visszagyűjtése történik. Ezen hulladékok gyűjtése két főbb területre különíthetők el, ezek az ipari jellegű illetve a lakossági intézményi jellegű hulladékok. Az ipari jellegű hulladék kb. 85%-át teszi ki a teljesnek ez kevés szennyeződést tartalmaz és az összegyűjtött üveg általában homogén. A lakossági üveghulladékok általában kevert anyagúak és színiük és átlagosan 20% szennyező anyagot tartalmaznak. Az üveghulladékok felhasználására, hasznosítására számos megoldás létezik napjainkban (2. ábra). Ilyen megoldás az üveg hulladékok visszaforgatása. Az ép üvegeket tisztítás után a palackozó üzemekben újra fel tudják használni, míg a törött üvegeket megfelelő előkészítés után beolvasztják új üvegek gyártása céljából. Ez egy viszonylag költséghatékony és energiatakarékos megoldás is egyben.



2. ábra
Üveghulladék felhasználási lehetőségei [12]

A TDK dolgozatunkban egy alternatív technológiát mutatunk be az ún. habkavics gyártását. A kísérleteink a Hoffmann László és társai által kifejlesztett technológián alapulnak [12], amely jó alternatívát mutat a felhalmozódó üveghulladékok felhasználására. A különböző típusú üveghulladékokból piacképes terméket tudnak előállítani, mely technológia kíméli a természeti erőforrásokat, és csökkenti a felhalmozódó, további felhasználásra alkalmatlannak ítélt anyagok mennyiségét. A habkavics kitűnő alapanyag szigetelő illetve burkoló elemek készítésére.

2.3. Tanszéki előzmények

Miskolci Egyetem Műszaki Földtudományi Kar, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézetén belül már korábban is folytak kutatások pernye alapú geopolimer és habkavics előállításának témájában is.

Molnár Zoltán hallgató dolgozatának célja a pernye, az üveghulladék és a perlit örlemény különböző arányú keveréke, valamint aktiválószer (NaOH) felhasználásával készített geopolimer próbatestek előállítási technológiájának laboratóriumi kipróbálása és a testek szilárdsági vizsgálata volt.

Kertész Márk hallgató Pernye őrlési körülményeinek hatása a geopolimer szilárdságára címmel készített dolgozatot, ahol vizsgálta a pernye mechanikai aktiválásának geopolimerek szilárdságára gyakorolt hatását valamint az őrlési hatékonyságot három malomtípust alkalmazva.

Grasalkovits Szandra hallgató szakdolgozatában szintén a geopolimer előállításával foglalkozott. Célja a geopolimer anyagok tulajdonságainak vizsgálata, valamint a kísérletei során felhasználni kívánt tisztaújívárosi pernye geopolimerként való alkalmazhatóságának lehetőségei.

Szenczi Ágnes hallgató TDK munkájában különböző őrlési finomságú pernyék és alkalikus aktiválószerke megfelelő arányú keverékét vizsgálta melyeket 90°C-on hő kezelt majd nyomóvizsgálatokat végzett. Valamint nyomon követte a geopolimerben végbemenő szerkezeti változásokat.

Ráczkevi Balázs hallgató TDK dolgozatot készített a témában melynek címe Pernye alapú geopolimer mechanikai és vízzáró tulajdonságainak optimalása. Az optimális aktiváló oldat/geopolimer keverék arány megtalálása után a nyers pernyét keverőmalomban 1, 3, 5, 7, 10 perces őrlésnek vetette alá. Az aktiváló oldat koncentrációjának optimalása 6, 8, 10 illetve 12 mol/l-es NaOH oldatok felhasználásával történt. A harmadik lépésben a vízüveg

adagolásának hatását vizsgálta a geopolimerek nyomószilárdságára valamint testsűrűségére. Ezek után próbatesteket készítet majd szivárgási tényező mérést végzett.

Kertész Márk szakdolgozatában a szinterezési kísérletek eredményeit a katódsugárcsőves üveghulladék alapú habüveg gyártása során vizsgálta. Melynek során zöld pelleteteket állított elő vegyes front és kónusz CRT üvegből hozzáadott dolomit és nátrium-bentonit segítségével, melyeket 2/4 mm; 4/6 mm; 6/8 mm-es frakciókra bontott. Ezeken a frakciókon szinterezési vizsgálatok alapján sűrűségcsökkenést mért különböző hőmérsékleten és tartózkodási időn a kiégetett pelletekre, majd a megfelelő mintákat Deval dobban vizsgálta. A felszabaduló gáz által kialakított pórusokat, méretüket, eloszlásukat, illetve a habkavics pórusszerkezetét elemezte.

3. Mintaanyagok tulajdonságai, előkészítése

3.2. Kutatáshoz felhasznált berendezések, eszközök

3.2.1. Lézeres szemcseméret-eloszlás vizsgáló berendezés

A készülék lézersugár-elhajlason alapuló spektrométer. A mérőcellában keringetett közeg által tartalmazta szemcsét érő fénysugár elhajlási szöge a szemcse méretével fordítottan arányos, erőssége pedig gyakoriságával hozható összefüggésbe. A fénysugarakat felfogó érzékelők tehát mind a szemcse méretének, mind gyakoriságának megfelelő jelet továbbítanak a készülék számítógépébe.



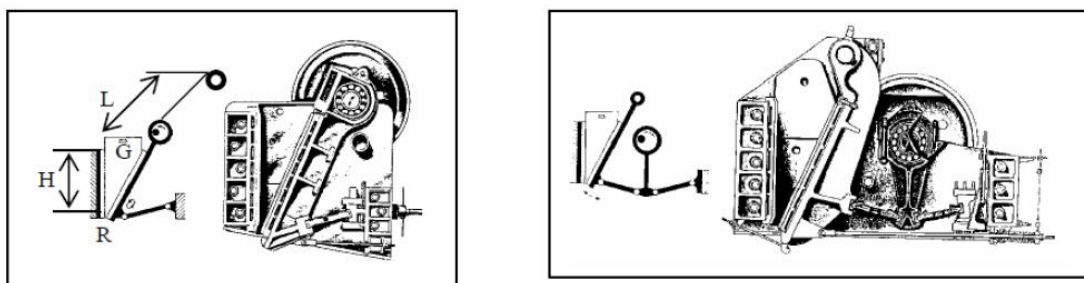
3. ábra
Horiba LA-950V2 lézeres szemcseméret-vizsgáló

Az 3. ábrán látható a Horiba gyártmányú lézersugaras szemcseméret-vizsgáló. A mérési adatokból a berendezés a szemcseméret-eloszlás számítását az úgynevezett Mie elmélet

szerint végzi, mely figyelembe veszi az anyag fénytörési indexét is. A berendezés a 10 nm-től 3 mm-ig terjedő tartományban képes teljesen automatizált mérések elvégzésére. A minta előkészítése során a megfelelő diszperzitás állapot eléréséhez 1 perces ultrahangfürdőt alkalmaztunk és 0,5 ml nátrium-pirofoszfát diszpergáló szert adagoltunk az anyaghoz.

3.2.2. Pofás törő

A pofástörőket általában a kemény, koptató, rideg anyagok durvatörésére alkalmazzák, de középaprításra szerkesztett gépek is léteznek. A törőteret két meredek, alul hegyesszöget bezáró törőfelület határolja: az egyik törőlap áll, a másik ehhez váltakozva közeledik-távolodik egy kiegyenlített tengely segítségével.



4. ábra
egy- és kétingás pofástörő [13]



5. ábra
Tanszéki pofás törő

A törőfelületek ék alakú bordázata miatt a nyomás mellett hajlító igénybevételek is fellépnek. A törők lehetnek egy, ill. kétingásak. Az egyingás típusú törőknél a mozgó törőlap felfüggesztése és hajtása egybeesik, a kétingás törőknél ketté osztott [13].

3.2.3. Hengeres törő

Az üveghulladék előkészítésének következő lépcsője a hengeres törőben történő aprítás volt, amihez a tanszéki sima hengerfelületű hengeres törőt használtuk (6. ábra). A hengeres törőkben két egymással szemben forgó henger között történik az aprítás. A hengerek felülete vagy sima (vagy finoman recézett) vagy tüskékkel, fogakkal, bütykökkel, vágóélekkel ellátott lehet. Az utóbbi típusok a középkevény és lágy anyagok durvatörésére, a recézett hengerek középkevény és lágy anyagok közép – és finomaprítására, a sima hengerek kemény és középkevény anyagok finomaprítására használhatók. A hengerek főleg nyomással, esetleg nyírással és ritkán – a gyorsjárású fogazott hengeres törők esetében – ütéssel is aprítanak [6].

Az általunk használt sima hengerpár elsősorban kemény és középkevény közetek száraz finomaprítására (6-1,5mm-re) használható. Két vízszintes tengelyű sima felületű henger azonos kerületi sebességgel forog egymás felé. A hengerek közötti rés változtatásával befolyásolható a törés eredménye [13].



6. ábra
Tanszéki hengeres törő

A kísérleteinkhez elő kellett készítenünk az alapanyagokat, amiket a megfelelő szakirodalmak és eljárások segítségével tettünk meg [14].

3.2.4. Golyósmalom

Az üveg előkészítésének utolsó lépése a finomra őrlés, melyet a tanszéki sima falú páncélzattal ellátott golyósmalommal történő száraz őrlés jelentette. Az üvegen kívül a pernye aktivációját is ezzel a készülékkel hajtottuk végre 60 percig tartó száraz őrlések során. A tanszéki golyósmalomba 35 kg acélgolyót és 3 dm³ őrlendő anyagot helyeztem, majd stopperóra segítségével mértem az őrlés idejét.

A golyósmalom a dobmalom családjába tartozik. Ezek a malomok kemény vagy lágy anyagok száraz vagy nedves őrlésére egyaránt alkalmas nagyteljesítményű őrlőgépek. Vízszintes tengelyvonala körül forgó hengeres, hengeres-kúpos acélköpenyű őrlőtérben szabadon mozgó őrlőtestek (acélgolyók, acélrudak, flintkövek, nagyobb kőzetdarabok) ütéssel – nyomással – dörzsöléssel aprítják-őrlik a feladott anyagot.



7. ábra
Tanszéki golyósmalom

A dobmalom belsejét rendszerint acélötvözetekből (pl. mangánacél) vagy kemény kőres öntésű öntöttvas páncélzattal bélelik ki. A páncélozás felépítése, felszíne igen sokféle lehet: sima, hullámos, átlapolt, lépcsős, cikcakkos, bordás, stb. A páncélozás módja az őrlőtestek mozgását és a szemcsékre ható erőket is befolyásolja. A sima páncélzaton jobban visszacsúsznak a golyók, ezért a dörzsölés munkája nagyobb szerepet kap. Finomőrlésre a sima falú páncélzattal ellátott malomok alkalmasabbak [13].

3.2.5. Statikus kemence

Az üvegpelletok kiégetéséhez egy Nabertherm L(T)3 laboratóriumi statikus kemencét használtunk (8. ábra), ami képes igen rövid idő alatt felfűteni a kívánt hőmérsékletre. Ugyanakkor az 1300 °C-os maximális hőmérséklet igen széles felhasználást biztosít. Könnyű, kettősfalú kerámia szigetelése kitűnő védelmet nyújt a magas hőmérséklet ellen, maximum 40 °C-ra emelkedik a szigetelés hőmérséklete tartós használat mellett is.



8. ábra

Nabertherm L(T) 3 kemence

Programozható, adott hőmérsékletre az általunk megadott időtartam alatt fűt fel, és szintén egy általunk megadott időtartamig megtartja azt a hőmérsékletet. Lehajtható ajtóval, és rozsdamentes borítással rendelkezik. A balesetek elkerülése végett egy biztonsági kapcsolóval is ellátták.

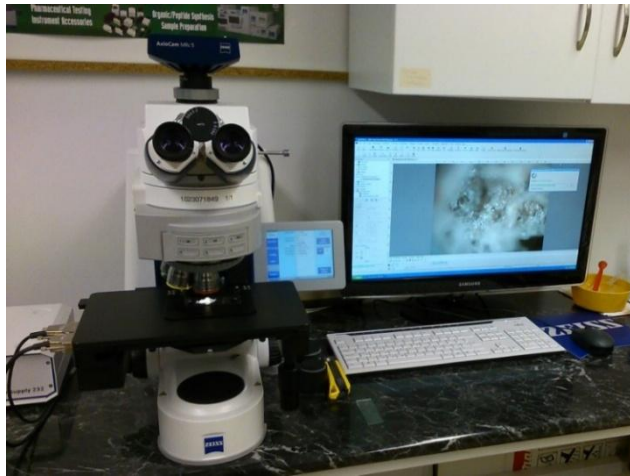
Műszaki paraméterei:

- szélessége: 380 mm
- magassága: 420 mm
- mélysége: 370 mm.

3.2.6. Optikai mikroszkóp

A kiégetett pelletok pórusainak és kompozit geopolimerek vizsgálatához egy Zeiss Axio Imager M2m típusú mikroszkópot használtunk. Az Axio Imager típusok gyártásánál a modern formára, ergonómiára, a funkcionalitásra és a műszaki teljesítőképességre nagy figyelmet fordítanak. Az Axio Imager M2m mikroszkóp egy motoros, HBO 100, állvánnyal van

felszerelve, illetve egy 5"-os TFT kijelzővel. Fizikai mérete: 390 mm X 721 mm X 505 mm. Többféle nagyítással rendelkezik, 5-szörösétől kezdve egészen a 100-szorosig.



9. ábra
Zeiss Axio Imager M2m mikroszkóp

A mikroszkóp tartozéka egy Zeiss AxioCam MRc5-ös nagy felbontású kamera, aminek segítségével a mikroszkópban látható képet számítógépre lehetett bevinni, majd a hozzá készült szoftver segítségével kielemezni. A szoftver képes akár pórusnagyság megállapítására is.

3.2.7. Nyomószilárdság vizsgáló berendezés

A kísérleteinket egy 1000 kN-os „100 t-ás” terhelőgép segítségével végeztük el (10. ábra). Ez a berendezés 1965-ből származik, Lipcsében gyártották az egykori NDK-ban (VEB Werkstoffprüfmaschinen, Leipzig). A berendezés húzó és nyomó igénybevételek létrehozására egyaránt alkalmas 1000 kN-ig. A választható mérési tartományok: 0-100 kN; 0-400 kN és 0-1000 kN, a terhelés létrehozása hidraulikusan történik.



10. ábra
Egytengelyű nyomószilárdság vizsgálata

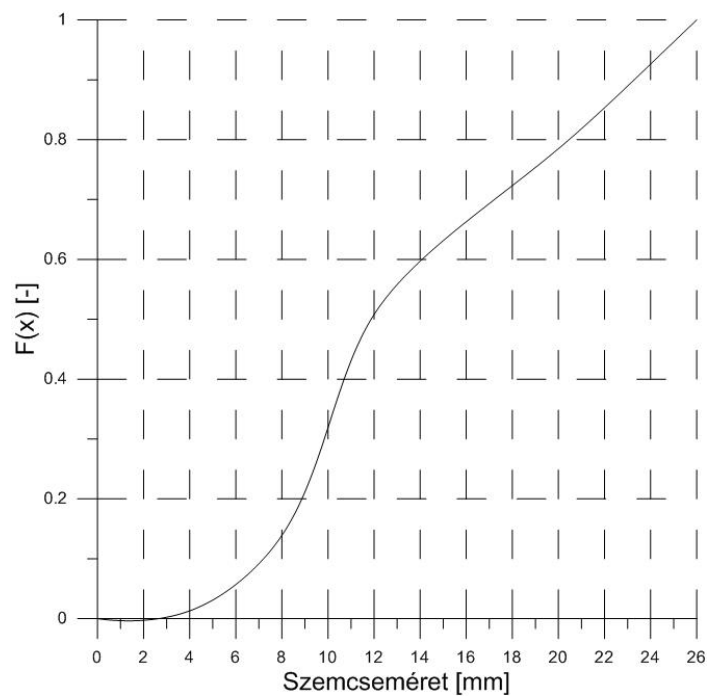
Az állandó sebességű terhelésnövekedés érdekében gyakorlatilag mindig automatikus üzemmódban (gépi mozgatás) használjuk. A mérések kiegészítéseként egy összenyomódás mérő modult is vásároltak hozzá, ami már számítógépes technika segítségével értékeli ki az adatokat, és ezred pontosságú.

3.3 Alapanyagok és előkészítésük

3.3.1. Üvegpor előkészítése

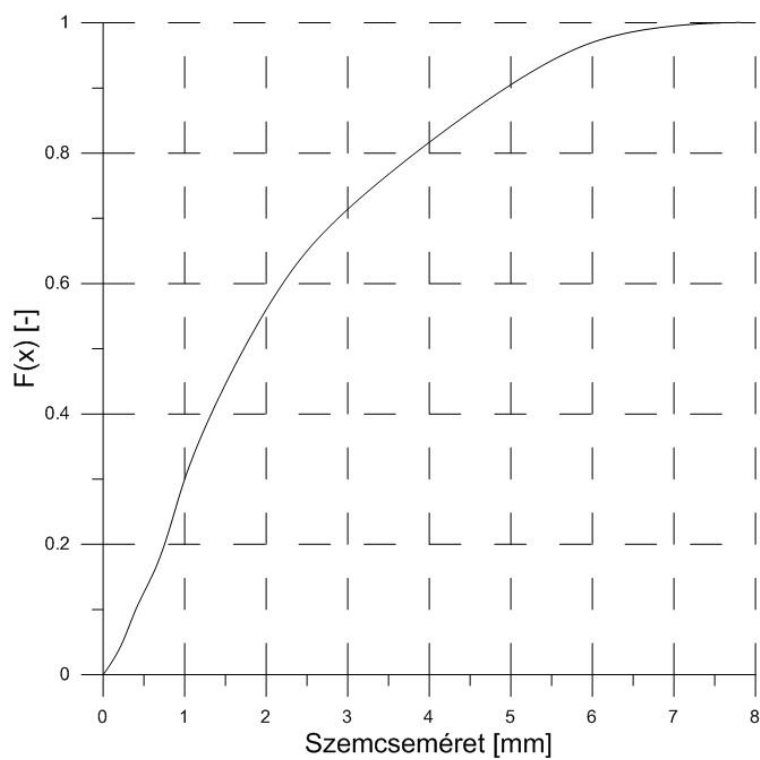
Az egyik legfontosabb az üvegpor előállítás a habkavics készítéséhez, amihez Kertész Márk szakdolgozat készítése során megmaradt anyagot használtunk. A vegyes üveghulladék kereskedelmi forgalomban kapható italok vissza nem váltható csomagolóanyaga.

Az üvegport korábbi vizsgálatok során az alábbi előkészítési eljárásoknak vetették alá. Az aprítást négy lépcsőben történt meg. Első lépésben a begyűjtött üveghulladékot kézi kalapács segítségével 80-120 mm-es darabokra törték, majd ezt a durva töretet egy 15 mm-es résnyílású pofástörőben leaprították. A töret szemcseméret eloszlását szitaelemzés során meghatározták (11. ábra).



11. ábra
pofástörő töretének szemcseeloszlása

A pofás törő töretét (11. ábra) ($x_{50} = 11,5$ mm; $x_{80} = 21$ mm) ezután egy 6 mm-es résméretű hengeres törőre adták fel, melynek szemcseméret eloszlása a 12. ábrán látható.



12. ábra
Hengeres törő töreteloszlása

A hengeres törővel elért medián 1,7 mm; $x_{80} = 3,8$ mm. Ahhoz, hogy a pelletáláshoz szükséges erők kialakuljanak, a 100 μm alatti tartomány az ideális. Majd ezek után golyósmalomban történt az őrlés 60 perces tartózkodási idővel, majd ezt bentonit és dolomit hozzákeverése után még 10 perces homogenizálás követte.

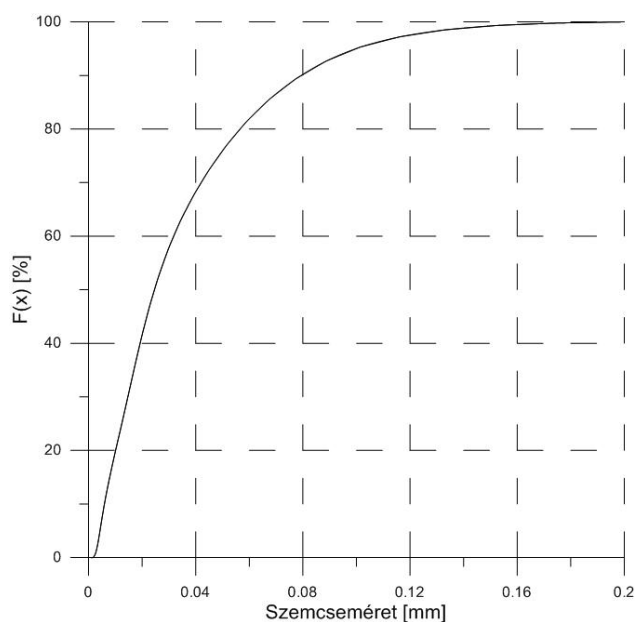
A finomőrlési kísérletek elvégzésére egy 305 mm belső átmérőjű sima páncélzatú golyósmalmot alkalmaztak acél őrlőtestekkel.

A malmot 80%-os kritikus fordulatszám-viszony mellett üzemeltették.

$$n_{krit} = \frac{42,3}{D}; \quad e = \frac{n}{n_{krit}} = 80 \%$$

$$D = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}; \quad n_{krit} = \frac{42,3}{0,3} = 77,229$$

$$n = 0,8 * 77,229 = 61,78$$



13. ábra
Üvegőrlemény szemcseméreteloszlása

A szemcseméret elemzéssel megállapítottuk, hogy az $x_{50} = 24,58 \mu\text{m}$; $x_{80} = 56,53 \mu\text{m}$; $\text{SSA} = 4093,5 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$. Ezen kívül még hozzákeverték bentonit- és dolomit port 2 m/m% arányban

3.3.2. Pernye tulajdonságai, előkészítése

A pernyét, főleg SiO_2 , Al_2O_3 alkotja. A kémiai és ásványos összetétel elsősorban attól függ, hogy milyen technológiájú erőműben és milyen szén kerül elégetésre, illetve a szén lelőhelyén milyen kísérő kőzetek fordulnak elő.

Befolyásoló paraméterek:

- szén előkészítésének technológiája
- égetés módja
- tüzeléstechnikai paramétere
- szilárd részecskéknek a füstgáz áramából történő leválasztásának módja [11-14; 16-21]

A geopolimer előállításához szükséges pernye a Tiszaújváros mellett található felhagyott pernyehányóról származik, ami a korábban üzemelő Tiszapalkonyai erőmű mellékterméke volt. Több helyről vettünk mintát, amit átlagosítottunk, majd szárítószekrényben $105\text{ }^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig szárítottuk melyből 4,92%-os nedvességtartalmat állapítottunk meg. A nagyméretű idegen anyagok (14. ábra) eltávolítása érdekében 2 mm-es szita segítségével szitálást végeztünk.



14. ábra
2 mm-es szitán fennmaradó idegen anyagok

Az így előkészített pernyét golyósmalmi őrlésnek vetettük alá. A pernye őrléséhez használt golyótöltet pórustérfogata 3000 cm^3 . A pernye halmazsűrűsége $0,77\text{ g/cm}^3$, szemcsesűrűsége pedig $1,6574\text{ g/cm}^3$. Az anyag töltési fokot 110 %-ra választottuk. A feladandó anyag tömege ez által 2535 g lett, az egyes őrléseknél kísérletek alapján 60 percre választottuk. A pernye oxidos összetételét (15. árba) az Ásvány és Kőzettani Tanszék Rigaku Supemini 200 típusú Röntgen Fluoreszcens spektrométerével mérték meg.

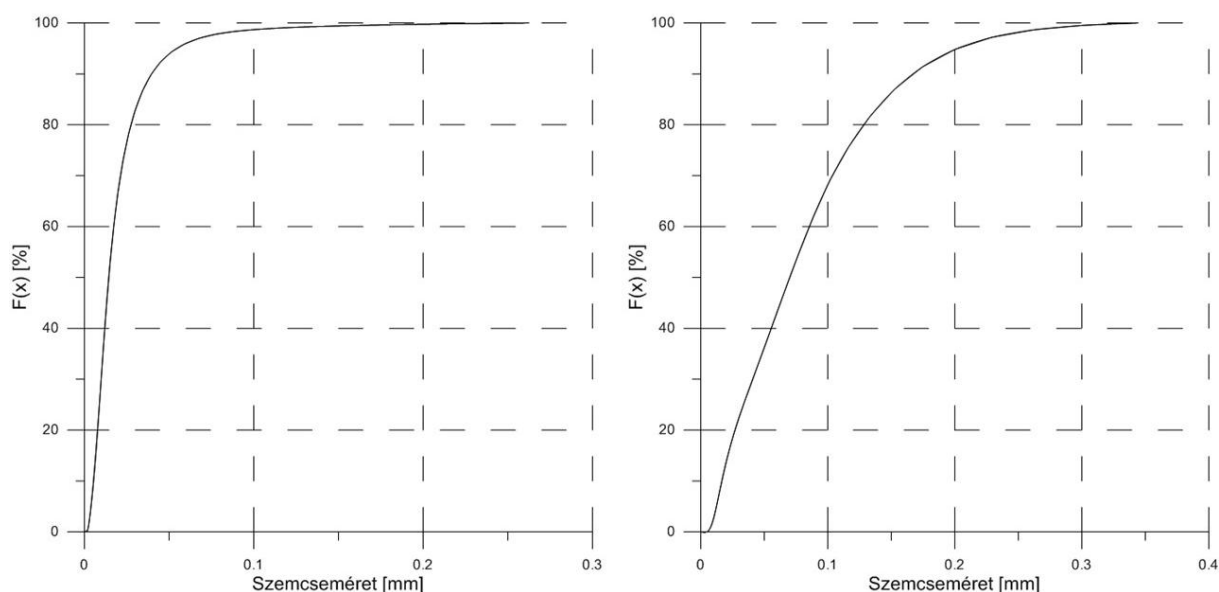
<i>Főkomponensek</i>	A pernyében (m/m %)
<i>SiO₂</i>	61.24
<i>Al₂O₃</i>	26.64
<i>CaO</i>	1.53
<i>MgO</i>	0.88
<i>Na₂O</i>	1.17
<i>K₂O</i>	1.74
<i>Fe₂O₃</i>	4.28
<i>LOI</i>	1.92

<i>Egyéb oxidok</i>	
<i>TiO₂</i>	0.47
<i>ZrO₂</i>	0.02
<i>SrO</i>	0.02

15. ábra

Pernye oxidos összetétele

A táblázat alapján megfigyelhetjük, az erőműi pernye főbb összetevőit, mint az SiO₂, amely több mint 60%-ban található meg valamint az Al₂O₃, amely közel 30 %-ban, fontos még megemlítenünk a CaO-t illetve a MgO-t. Az őrlésre azért van szükségünk, hogy a pernyét mechanikailag aktiváljuk, illetve a fajlagos felületet megnöveljük. A Horiba lézeres szemcseméret elemző készülékkel megállapítottuk, hogy az aktivált pernye (X₈₀ = 27,51 μm; X₅₀ = 14,36 μm; Fajlagos felület: 5591,5 cm²/cm³) a nyers pernyéhez képest (X₈₀ = 128,38 μm; X₅₀ = 69,92 μm; Fajlagos felület: 1488 cm²/cm³) négyszer akkora fajlagos felülettel rendelkezik.



16. ábra

Őrletlen, ill. őrlt pernye szemcseméreteloszlása

Az öröletlen pernye szemcsesűrűségét piknométeres sűrűségelemzés során határoztuk meg, melynek értéke $1,65 \text{ g/cm}^3$

4. Laboratóriumi kísérletek

4.1. Habkavics előállítása

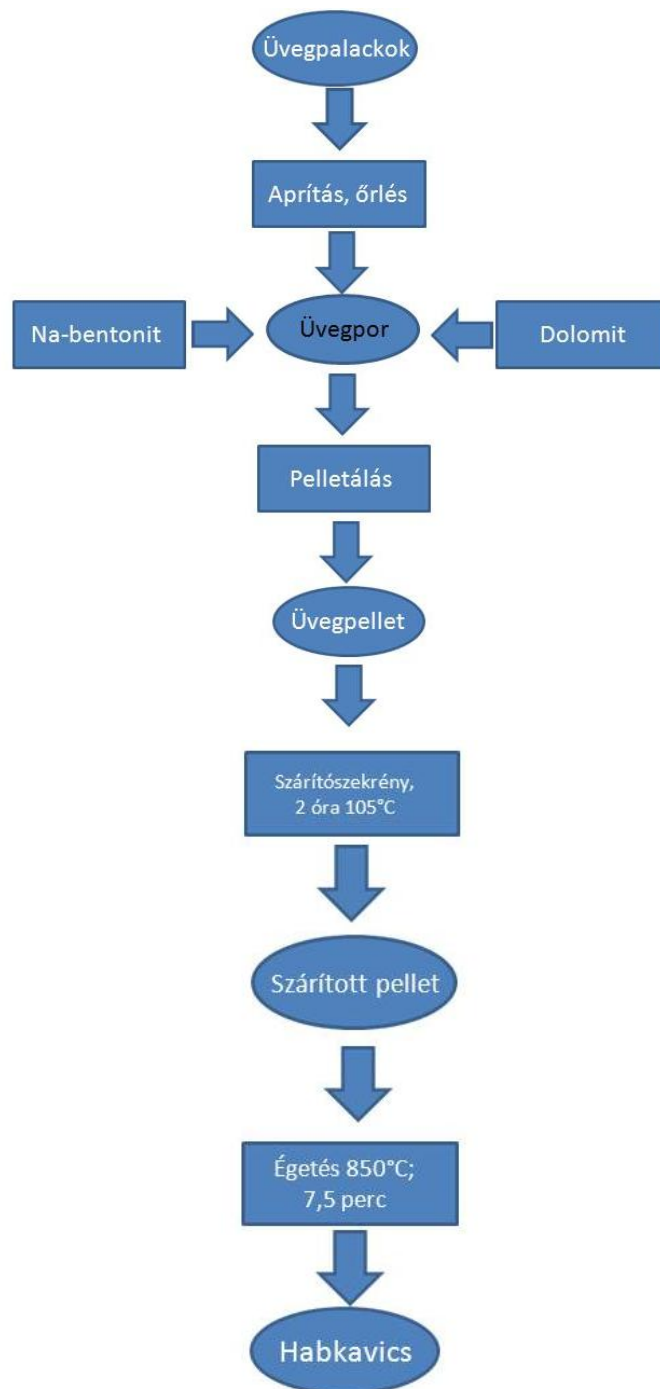
A habkavics előállítása az üveg- és bentonit valamint dolomit őrlemény keverékéből történik, melynek vizsgáltuk a szemcseméretét és fajlagos felületét is ($X_{80} = 56,53 \text{ } \mu\text{m}$; $X_{50} = 24,58 \text{ } \mu\text{m}$; Fajlagos felület: $4039,5 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$). Az agglomerátum előállításának alapját az adhéziós és a kapilláris erő adja. A megfelelően nedvesített keverék a forgó pelletáló tányérban összetapad, és a forgás valamint a gravitáció miatt gurulni kezdenek, így közel gömb alakú pelletek állíthatóak elő. A pelletgolyóknak mindig gurulniuk kell, így biztosítható a folyamatos felépülés és csak azok a kötések maradnak meg, melyekben a kötő erők nagyobbak, mint a gördülési igénybevétel hatására fellépő taszítóerők. Az így kialakult agglomerátumok felületét beszórják olyan anyaggal, ami megakadályozza az előállítás közbeni összetapadást, ami a mi esetünkben alumínium-oxid por volt.

A pelletek előállítása előtt kísérleti úton meghatároztuk a berendezés optimális üzemeltetési paramétereit. A tányér átmérője $59,5 \text{ cm}$, dőlésszögét 30° -ra választottuk. A kerületi sebességet egy frekvenciaváltón keresztül tudtuk változtatni, aminél ki kellett számítani az egyes frekvenciaértékeknél lévő kerületi sebességet. Megmértük egy kiválasztott frekvencián, hogy egy perc alatt hány fordulatot tesz meg, majd a kapott értékből számítottuk a sebességeket.



17. ábra
Tanszéki pelletáló tányér

A próbák során megállapítottuk, hogy a 15 Hz megfelelő a pelletek előállításához. Először szárítószekrényben 105 °C-on két órán keresztül szárítják, majd csak ezután lehet hőkezelné. Az elkészült pelleteket a 2 órás szárítási periódus után szemcseméret frakciókra bontottuk, majd három hőmérsékleten (800, 850 és 900 °C) és egyaránt 7,5 perces tartózkodási idő mellett próbahőkezelést végeztünk. A hőkezelést magas hőmérsékleten (800-900 °C) kerámiabetétes kemencében kell végezni, a hőmérséklet és tartózkodási idő megválasztása kísérleti úton történt.

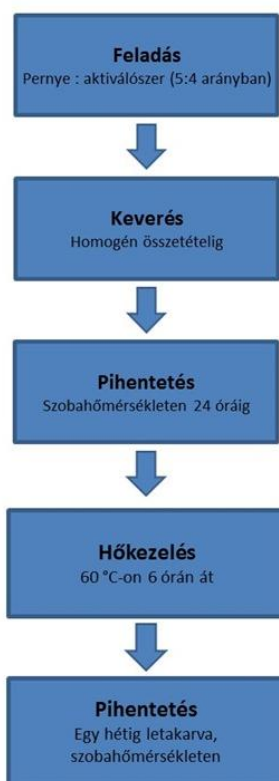


18. ábra
Habkavics előállításának folyamata

A habkavics előállítása során 2 sorozatot készítettünk. Az egyik célja az ideális geopolimer habkavics arány a másiké pedig az optimális habkavics méret meghatározása volt. Mindegyik frakcióból mintát vettünk, és megvizsgáltuk a sűrűség és a hőmérséklet közötti kapcsolatot.

4.2. Geopolimer – habkavics kompozitanyag előállítása

Alapanyagul szolgált a tiszaujvárosi pernyehányóról vett szitált, szárított, öröletlen pernye, vagy annak 60 perces golyósmalmi őrleménye. Aktiválószerként 12M-os NaOH és vízüveg (Betol SB) keverékét alkalmaztunk. A geopolimer pasztához habkavicsot kevertünk. A geopolimer kötőanyag tömegének 55 m/m%-a pernye és 45 m/m% az aktiválószer, ami 75 m/m% vízüveg (Betol SB) és 25 m/m% 12M NaOH.



19. ábra
Geopolimer előállítása

A geopolimer előállítás folyamata a 19. ábrán látható. A két kísérlet sorozat során minden kísérlethez három mintatestet készítettünk elő, ami egy 56mm átmérőjű PVC csőből került előállításra. A könnyű eltávolíthatóság miatt formaolajjal kentük be a próbatestek belsejét. A habkavics geopolimer keveréket formákba raktuk, majd tömörítést végeztünk 1 percig történő vibrációs tömörítéssel. A formába tömörített próbatesteket 24 órára levegőtől elzártuk és szobahőmérsékleten tartottuk, melyet másnap hőkezelés követett. A hőkezelés 60 °C-on történt 6 órán keresztül, 1 órás felfűtési idővel. Ezt követően egy hétig pihentettük a testeket szobahőmérsékleten. Egy hetes vizsgálati korban történt a próbatestek egytengelyű nyomószilárdságának mérése, mely a Bánya és Geotechnikai Intézet közreműködésével

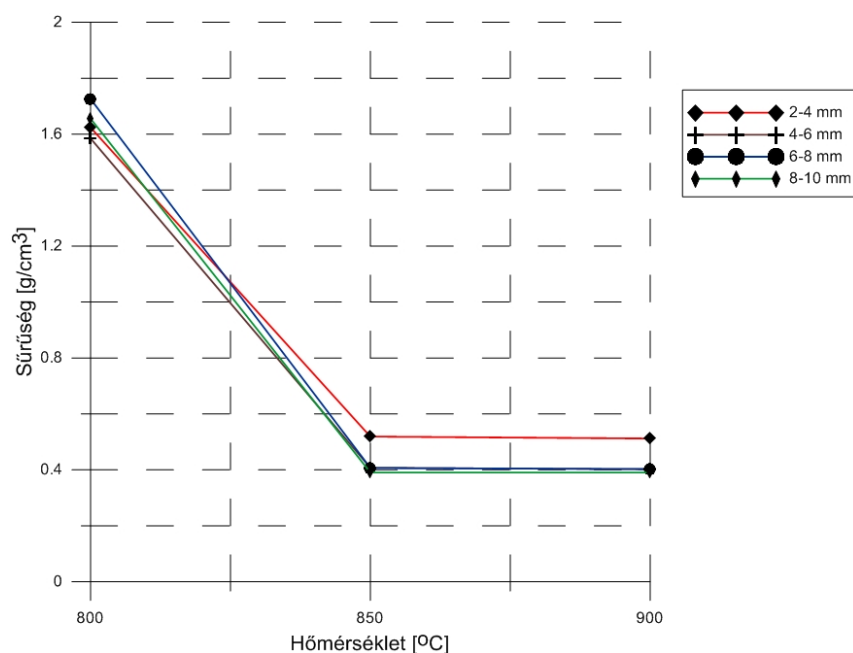
valósult meg. A testek geometriai méreteinek és tömegeinek mérése után számítottuk testsűrűségüket.

Az első sorozatban vizsgáltuk a habkavics adagolásának hatását a geopolimer kompozit mechanikai tulajdonságaira, 4 különböző térfogat százalékban (20, 40, 60, 80 v/v%) adagolva a geopolimer kötőanyaghoz. A második sorozatban változó paraméter a habkavics mérete volt (2-4 mm; 4-6 mm; 6-8 mm). Az adagolt habkavics mennyisége az előző sorozatban optimálisnak talált térfogathányad alapján történt. A 8-10 mm-es frakció nagysága és szilárdsága miatt nem került befoglalásra, mivel akár kézzel is össze lehetett törni.

5. Mérési eredmények

5.1. Habkavics előállítás

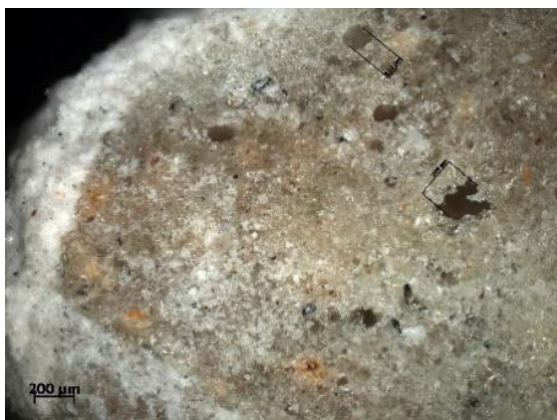
A 20. ábrán hőmérséklet hatását követhetjük nyomon a habkavicsok sűrűségére különböző szemcseméret frakciók esetén.



20. ábra
Habkavics frakciók sűrűségének változása

A 20. ábra alapján látható hogy a hőmérséklet növekedésével 850 °C-ig a sűrűség jelentősen csökken (1,6 g/cm³-ről 0,45 g/cm³-re), míg 850 °C hőmérséklet felett pedig minimálisan változik a sűrűség (0,45 g/cm³-ről 0,41 g/cm³-re). Fontos, hogy a pórusok eloszlása és mérete közel homogén és zárt legyen, ezért megvizsgáltuk egy Zeiss Axio digitális mikroszkóppal. A mikroszkóppal látottak alapján kiválasztottuk, hogy a hőkezelést 850 °C-on, 7,5 perc

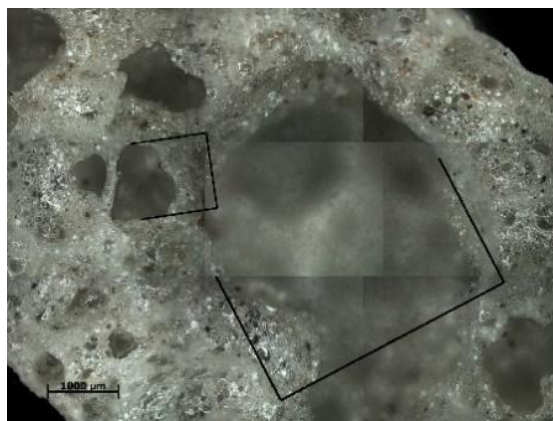
tartózkodási idő mellett fogjuk elvégezni, amit az 20. ábrán is lehet látni. A hőkezelést egy Nabertherm T(L) 3-as kemencével végeztük el.



a,



b,



c,

21. ábra

4-6 mm frakció a, 800 °C; b, 850 °C és c, 900 °C hőmérséklet után

A mikroszkópos felvételen megfigyelhetjük, hogy a pórusok eloszlása nem homogén, valamint, hogy a magasabb hőmérsékleteken nagyobb pórusok alakulnak ki a szemcsékben. 850°C-on a maximális pórusméret kb. 600 μm míg 900°C-on maximálisan kb. 3000 μm pórusokat figyelhetünk meg.

5.2. Habkavics mennyiségének hatása

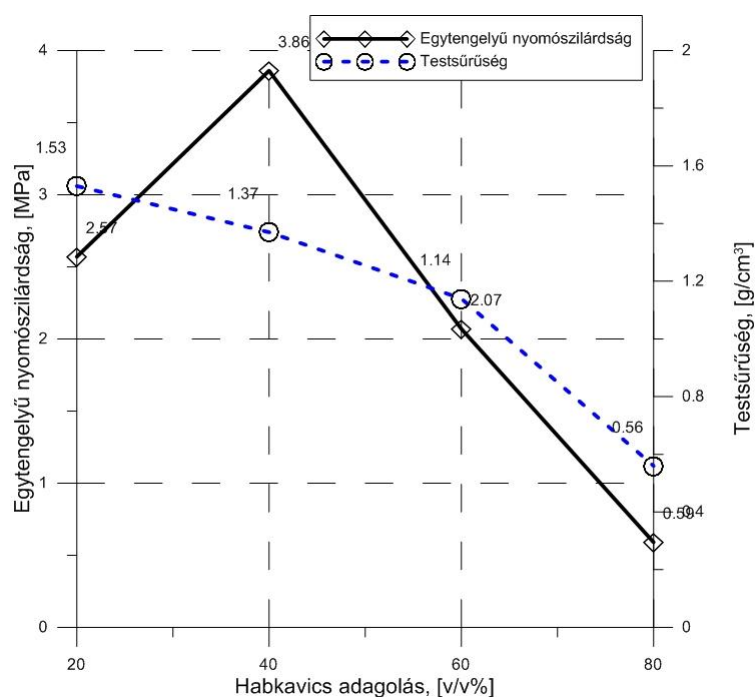
Az előállított pelletek hőkezelése után vizsgáltuk a habkavics adagolás mennyiségének hatását úgy, hogy a mintatestek térfogatát 20,40,60 és 80 térfogatszázalékban habkavicccsal töltöttük ki. Hogy ezeket ki tudjuk számolni, szükség volt a habkavicsok halmazsűrűségének megmérésére, amit egy mérőhenger és egy mérleg segítségével végeztük el. A 2/4 mm-es

frakció $0,441 \text{ g/cm}^3$; 4/6 mm-es frakció $0,273 \text{ g/cm}^3$ valamint a 6/8mm-es frakció $0,251 \text{ g/cm}^3$ halmazsűrűségű.



22. ábra
Mintasorozat a formákban

Az egytengelyű nyomószilárdságon kívül mérték az elmozdulást, amiből Young-modulust számítottunk. Az eredmények az alábbi diagramon láthatóak (23. ábra).



23. ábra
Próbasorozat nyomószilárdságának változása

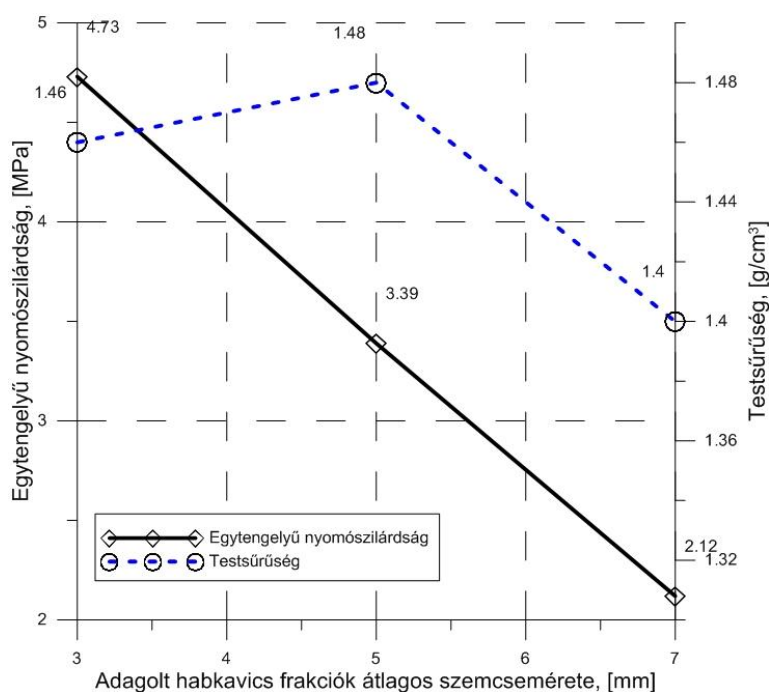
A 23. ábra alapján jól látható, hogy a 40 térfogat%-os keverék adta a legjobb eredményt, így a továbbiakban ezzel az értékkel dolgoztunk. Az ábra alapján megállapítható, hogy az adagolás

hatására a kezdeti 2,5 MPa értékről 3,86 MPa-ra növekedett az egytengelyű nyomószilárdság értéke, majd további habkavics adagolás rontotta a szilárdságot (80 v/v %-os esetén 0,504 MPa).

A testsűrűség 1,53 g/cm³ értékről 0,56 g/cm³-re csökkent, ezzel is befolyásolva a szilárdsági paramétereket. Legnagyobb testsűrűséget a 20 v/v %-os adagolás során értünk el (1,53 g/cm³). Megállapítható, hogy az egytengelyű nyomószilárdság és testsűrűség értékek nem teljesen korrelálnak egymással. A testsűrűség értéke folyamatosan csökken.

5.3. Habkavics méretének hatása

A 24. ábrán az adagolt habkavics méretének hatását követhetjük nyomon a geopolimer kompozit mechanikai tulajdonságaira.

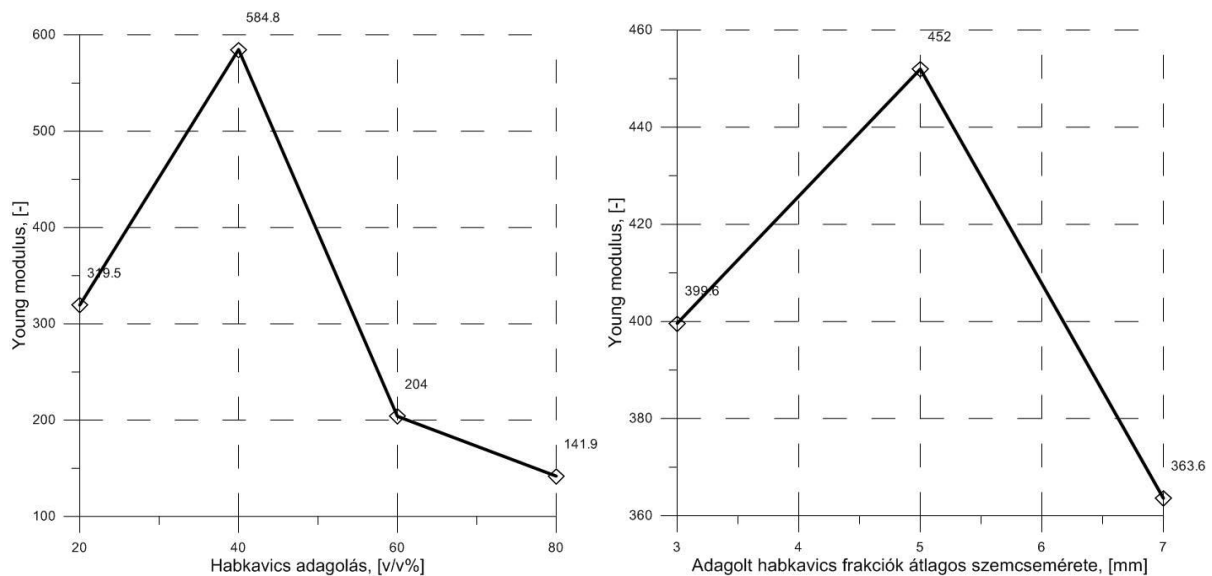


24. ábra
Mintasorozat nyomószilárdságának változása

Az ábrán jól látható, hogy a 2/4 mm-es habkavics frakcióval kiegészített geopolimer mintatest viselte el a legnagyobb 4,73 MPa-os nyomást. A testsűrűségek tekintetében a legnagyobb 1,48 g/cm³-es testsűrűséget a 4/6-os habkavics frakciójú próbatestek mutatták.

5.4. Young modulus

Kísérleteink során az összenyomódást is mértük, amelyből meghatározható a Young modulus vagy más néven rugalmassági modulus, ami leírja a rugalmassági tulajdonságait egy hengeres tárgynak, mint például vezetékek, rudak - jelen esetünkben a geopolimer próbatestnek – amelyeket különböző erőhatások többek között zsugorodás, nyúlás ér. Definíciója $E = d\sigma/d\varepsilon$.



25. ábra

Young modulus változása az adagolás és az átlagos szemcseméret függvényében

Kísérleteink kimutatták, hogy a legjobb Young modulust (584,8) a 40 térfogat százalékos habkavics adagolásnál érhetünk el. Valamint megfigyelhetjük, hogy az átlagos szemcseméret tekintetében a 4/6-os frakció mutatta a legnagyobb 452-es eredményt. A Young modulus értéke jól korrelál az egytengelyű nyomószilárdsággal a különböző habkavics adagolások esetén, azaz a legnagyobb szilárdságú próbatest volt egyúttal leginkább rugalmas is, míg a különböző méretfrakciók esetén nincs összefüggés az egytengelyű nyomószilárdság és Young modulus között.

5.5. Törésfelületek vizsgálata

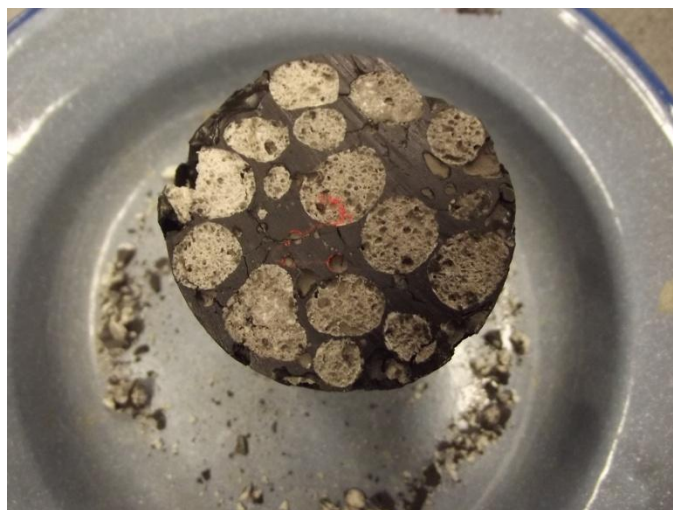
Törés után kiértékeltek az eredményeket és arra a következtetésre jutottunk, hogy minél kisebb szemcseméretű anyagot használtunk a próbatest annál jobban roncsolódott illetve annál nagyobb terhelést bírt el.



a,



b,



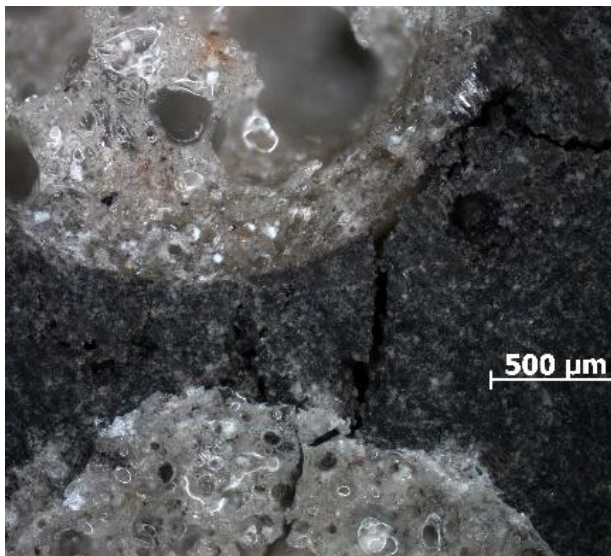
c,

26. ábra

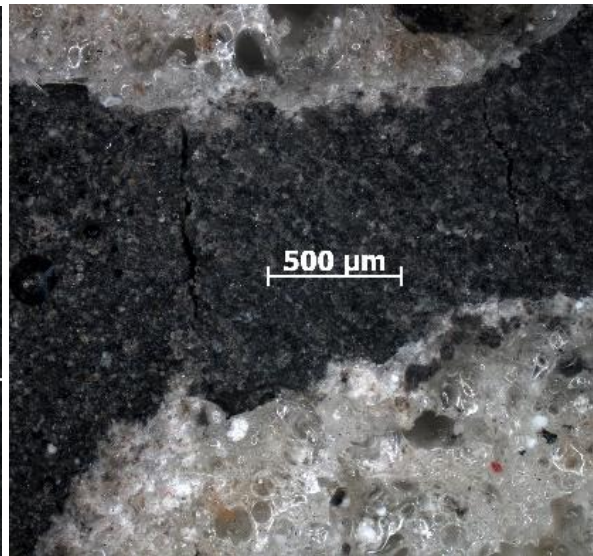
Különböző méretű habkavics frakciók adagolása; a 2/4 mm; b 4/6 mm; c 6/8 mm

A 26. ábra alapján megállapítható, hogy az adagolt habkavics szemcseméretének csökkenésével egyre kevesebb geopolimer kötőanyag figyelhető meg a habkavics szemcsék között, ami feltételezhetően okozta a szilárdság csökkenését.

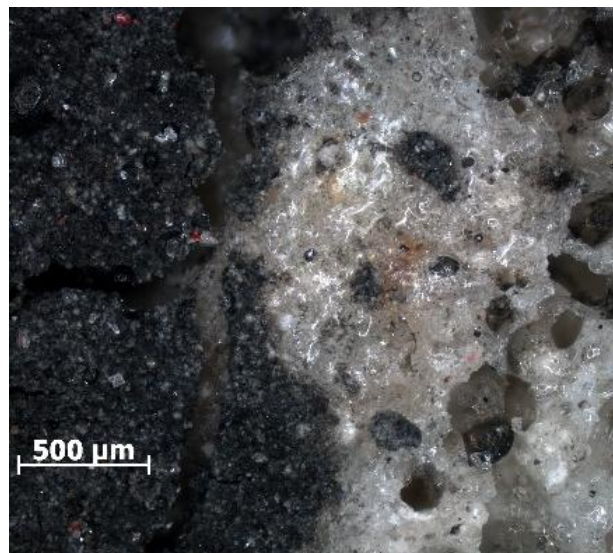
A 2. sorozat próbatesteit optikai mikroszkóp alatt is megvizsgáltuk.



a



b



c

27. ábra

a, 2/4; b 4/6; c, 6/8 mm-es minták optikai mikroszkópos felvétele

A felvételek alapján meg lehet állapítani, hogy a habkavics és a geopolimer közötti kötés egyenletes, zárványok nélkül foglalja be. A befoglalás fizikai úton megtörtént, az esetleges kémiai kötések kialakulásának vizsgálatára további SEM-EDS méréseket tervezünk.

6. Konklúzió

A próbatestek elkészítése majd a kísérletek, mérések, megfigyelések alapján az alábbi megállapításokra jutottunk.

- Mikroszkópos felvételek igazolták, hogy a hőkezelési eljárás során a habkavicsokban a pórusok nagysága alacsonyabb (800 °C-on) hőmérsékleten nem volt megfelelő, míg 900 °C-on túl nagy méretűek voltak. Optimális méretet és eloszlást a 850 °C-os habkavics esetén értünk el.
- A habkavics gyártása során 800°C, 850°C, 900°C közül a hőkezelés során a 850°C-os mintasorozat adta a legjobb eredményeket a testsűrűség és a cellák (pórusok) eloszlása vonatkozásában.
- A habkavics-geopolimer kompozitok vizsgálati eredményei kimutatták, hogy nyomószilárdság tekintetében 20, 40, 60, 80 tf% próbatestek közül a 40 térfogat százalékos habkavics adagolású próbatest sorozat 3,86 MPa nyomószilárdsággal bizonyult a legjobbnak.
- A 40 tf% adagolásnál az egytengelyű nyomószilárdság vizsgálat során a 2/4 mm, 4/6 mm, 6/8 mm szemcseméretű frakciók közül a 2-4 mm-es szemcseméretű anyag adta a legjobb eredményt 4,73 MPa nyomószilárdsággal.
- A Young modulus meghatározására irányult mérések kimutatták, hogy a habkavics adagolása során a 40 tömegszázalékos adagolás bizonyult a legjobbnak, míg szemcseméret tekintetében a 4-6 mm-es frakció.
- Az optikai mikroszkópos felvételek kimutatták, hogy a geopolimer kötőanyag fizikailag foglalja be a habkavics szemcséket.
- A szemcse és kötőanyag között kialakult kötések vizsgálata érdekében további vizsgálatokat tervezünk SEM-EDS segítségével.
- A Young modulus értéke jól korrelál az egytengelyű nyomószilárdsággal a különböző habkavics adagolások esetén, azaz a legnagyobb szilárdságú próbatest volt egyúttal leginkább rugalmas is, míg a különböző méretfrakciók esetén nincs összefüggés az egytengelyű nyomószilárdság és Young modulus között.
- A kapott eredmények alapján az eljárás további fejlesztésével ezekből az anyagokból úgynevezett zöld könnyűbetonok készíthetők.

7. Összefoglalás

A TDK dolgozatunk elkészítése során a habkavics geopolimer kötő anyagba való befoglalását vizsgáltuk. Munkánk során először szakirodalmi kutatást végeztünk, amelynek középpontjában a geopolimer és a habkavics áll. A laboratóriumi kísérleteinket az anyagok eljárástechnikai tulajdonságainak meghatározásával (szemcseméret, szemcsesűrűség, nedvességtartalom) és előkészítésével kezdtük. Az üveghulladékot pofás- és kalapácsos törőben előtörtük, golyósmalomban őröltük, majd bentonit és dolomit hozzáadása után homogenizáltuk. A keveréket pelletáltuk, szemcseméret frakciókra bontottuk, szárítottuk, majd 850 °C-on kiégettük. A nyers, ill. aktivált pernyék és aktiváló oldat felhasználásával geopolimer pasztát készítettünk, amibe beleágyasztuk a habkavicsot. Változó paraméter az állandó méretű habkavics adagolásának mennyisége, ill. az optimális mennyiségű habkavics esetén a különböző méretfrakciók voltak. A testek elkészítése után egy hetes korban mérték egytengelyű nyomószilárdságukat, a testek tömegei, átmérőik, magasságuk mérése után számoltuk testsűrűségüket. Az eredményeket kiértékeltük, majd következtetéseket állapítottunk meg belőlük, ill. kijelöltük a jövőbeni kísérletek irányát is.

8. Irodalomjegyzék

1. Haidekker Borbála: Hamu és pernye mint másodnyersanyag
2. J. Davidovits: Geopolymer chemistry and application. Published by: Institut Geopolimère 16 rue Galilée F-02100 Saint-Quentin France (2011), ISBN: 9782951482050 pp. 283, 286.
3. Z. Molnár: Geopolimer előállítása másodnyersanyagokból. Szakdolgozat (2010). Miskolci Egyetem, Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Intézet.
4. S. Kumar, R. Kumar: Mechanical activation of fly ash: Effect on reaction, structure and properties of resulting geopolymer. *Ceramics International* 37 (2011), pp. 533-541.
5. Ahmaruzzaman - *A review on the utilization of fly ash*, *Progress in Energy and Combustion Science*, 38, 327-363, M, 2010
6. R. Kumar, S. Kumar, S.P. Mehrotra: Towards sustainable solutions for fly ash through mechanical activation. *Resources, Conservation and Recycling* 52 (2007) pp. 157-159.
7. S. Kumar, R. Kumar, T. C. Alex, A. Bandopadhyay, S. P. Mehrotra: Influence of reactivity of fly ash on geopolymerisation. *Advances in Applied Ceramics* 2007 vol. 106, No 3 pp. 120-127.
8. J. Temuujin, R. P. Williams, A. van Riessen: Effect of mechanical activation of fly ash on the properties of geopolymer cured at ambient temperature. *Journal of Material Processing Technology* 209 (2009) pp. 5276-5280.
9. G. Mucsi, B. Csőke, Z. Molnár: Laboratory investigation of geopolymer production from industrial waste materials. *Proceedings of the XIIth International Mineral Processing Symposium* 6-8. October 2010. Cappadocia Nevsehir, Turkey ISBN: 978-975-491-295-1, pp. 1235-1242.
10. G. Mucsi, B. Csőke, Z. Molnár: Alkáli aktivált pernyealapú kötőanyag vizsgálata. *Hulladékonline elektronikus folyóirat*, 3. évfolyam 1. szám [http://folyoirat.hulladekonline.hu/1.%20sz%C3%A1m.%20\(febru%C3%A1r\)2013.01.26](http://folyoirat.hulladekonline.hu/1.%20sz%C3%A1m.%20(febru%C3%A1r)2013.01.26)
11. Davidovits, J., 1988b. Geopolymer chemistry and properties. In: Davidovits, J., Orlinski, J. (Eds.), *Proceedings of the 1st International Conference on Geopolymer '88*, vol. 1, Compiègne, France, 1–3 June, pp. 25–48.
12. Kertész Márk - Szinterezési kísérletek eredményei a katódsugárcsőves üveghulladék alapú habüveg gyártása során, Szakdolgozat 2011, Miskolci egyetem

13. Prof. Dr. habil. Csőke Barnabás – Ásványi nyersanyagok előkészítése (2009)
14. Nemes Rita: Habüveg adalékos könnyűbetonok, PhD tézis, 2006 Budapesti Műszaki Egyetem
15. Grasalkovits Szandra- Geopolimer kötőanyag előállítását célzó alapkísérletek, Szakdolgozat, 2011, Miskolci Egyetem
16. Kertész Márk - Pernye őrlési körülményeinek hatása a geopolimer szilárdságára TDK dolgozat 2012 Miskolci Egyetem
17. Szenczi Ágnes - Kompaktálás hatásának vizsgálata a geopolimer fizikai tulajdonságaira TDK dolgozat 2013 Miskolci egyetem
18. Ráczkevi Balázs - Pernye alapú geopolimer mechanikai és vízzáró tulajdonságainak optimalálása TDK dolgozat 2013 Miskolci Egyetem
19. Dr. Mucsi Gábor, Dr. Csőke Barnabás: Erőműi pernye-hasznosítás kutatási tapasztalatai: Hidraulikus kötőanyag és geopolimer előállítása. Bányászati és Kohászati Lapok – Bányászat 144. évf. 3. szám
20. Mucsi Gábor – Csőke Barnabás – István Zsolt – Garamvölgyi Ernő: Preliminary Investigation of using cathoderay tube waste to produce glassfoam, Geosciences and Engineering, Vol. 1, No. 1 (2012), pp. 237–245.
21. Prof. Dr. Csőke Barnabás: Hulladékok feldolgozása mechanikai eljárásokkal, 2014, Miskolci Egyetem Nyersanyagelőkészítési és Környezeti Eljárástechnikai Inézet
22. Kálnai Géza – Kálnai Marcell: Az üveghulladék gyűjtés, kezelés, hasznosítás helyzete Magyarországon 2007-ben Építőanyag 59. évf. 2007. 4. szám p. 118-119.
23. L. Gáspár: Másodlagos nyersanyagok az útépítésben. IHU Kht. (2005)

9. Summary

In Hungary, approximately 200-250 thousand tons per year of glass waste is produced, but only 5-15% of it has been recycled. One method for recycling is use as aggregate in concretes. To recycling in glass production again it needs separation, when the coloured glass is put aside that's why it needs to deposit in landfills. For this problem producing foam pebble would be a good solution. The foam pebble is a material which contains glass in a high volume. We can produce a kind of aggregate with two methods. Firstly, if we grind the glass to a specific sized particle and secondly, depending on its compound if we homogenise it with different amount of gas developing agent we get a porous lightweight material. With this material we can use as lightweight aggregate to a binder (e.g. concrete, resin).

High amount of the world's energy production is based on power stations which use coal. Deposited fly ash can cause serious environmental risk. In Hungary 2-3 million tons of fly ash produced annually, but only 20% of it used, mainly in building industry. To increase this number we can use it as a secondary raw material for example hydraulic cements, concrete fillers and to produce geopolymers. The geopolymer is a synthetic aluminium-silicate binder material which can be produced by reaction between silico- aluminate oxides and alkali silicates in alkaline medium.

Present paper based on the previous researches (production of foam glass, developing of a geopolymer binder). The aim of the work was to develop a geopolymer-foam pebble composite. During laboratory experiments it was produced different sized (2...4, 4...6, 6...8, 8...10 mm) foam pebbles from the following raw materials; ground glass, Sodium Bentonite, Dolomite. The powder mixture was pelletized, dried and heat cured at different temperatures (800, 850, 900 °C) and residence times. After it the pellets were classified. Geometrical characteristics determined by measuring diameters of pellets. Investigations with optical microscope were also carried out. The aim of foam pebble production experiments was to reach a product which has small density, mainly closed and homogenous pores. The optimal pellets mixed to geopolymer binder as aggregate. Binder made from mechanically activated fly ash and activator solution (Sodium hydroxide and sodium-potassium silicate solution). In case of composite experiments changing parameters was; diameter and amount of foam pebbles. The diameter, length and mass of composites was measured to determine specimen density. Compressive strength tests were carried out in 7 days age. The macrostructure of specimens investigated by optical microscope.

After experiments results was evaluated and conclusions were taken.

10. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk megköszönni Dr. Mucsi Gábornak és Molnár Zoltánnak, hogy felkeltették az érdeklődésünket a téma iránt és vezéreltek mind kísérleteink végrehajtására, mind pedig a TDK dolgozatunk elkészítése során. Köszönetünket fejeznénk ki Kertész Márk tanszéki mérnöknek és Bohács Katalin doktorandusznak az általuk elvégzett mérésekért és a kiértékelés során nyújtott segítségükért, Szeretnénk továbbá megköszönni minden tanszéki dolgozónak a türelmet és segítséget, amit a laboratóriumi kísérleteink során tanúsítottak.

A munkában bemutatott kísérletek a Fenntartható Természeti Erőforrás Gazdálkodás Kiválósági Központban lettek elvégezve.