



Biró András, Hlavička Viktor, Lublós Éva

BETONADALÉKANYAG MINŐSÍTÉSE TŰZHATÁSRA

Absztrakt

A természetes kőzet betonadalékanyagok minősége szállítmányonként változó lehet és a kőzet minősége nagyban befolyásolja a beton tűzzel szembeni ellenállását. Ezen okból előnyös lenne egy minősítési rendszer adalékanyagok magas hőmérsékleten való viselkedésére alapozva. Egy ilyen rendszer gazdaságos megoldás lenne egy-egy adalékanyag szállítmány minőségének vizsgálatára ahelyett, hogy minőségbeli eltérések csak a szilárd beton vizsgálatokkor derülnek ki. A kutatás célja előzetes vizsgálati eredmények megadása, illetve következtetések levonása. A kutatás során adalékanyag halmazokon, hőterhelést követően Hummel mozsaras vizsgálatot, valamint kiegészítésként derivatográfus illetve pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálatokat végeztünk, hogy jobban megértsük a végbemenő változásokat. A kutatás során kvarckavics, zúzott dolomitos mészkő és zúzott andezit adalékanyagokat vizsgáltunk. A Hummel vizsgálatokat a szemeloszlás megváltozása alapján értékeltük és ígéretes, az ismert kémiai, fizikai változásokat jól követő eredményeket kaptunk, de a későbbiekben nagyobb mintaszámmal, további vizsgálatok elvégzése lesz szükséges a módszer alkalmazhatóságának igazolásához és kalibrálásához.

Kulcsszavak: adalékanyagok, minősítés, tűz



CLASSIFICATION OF AGGREGATES FOR FIRE

Abstract

The quality of the natural stone aggregates change with each shipment and it greatly influences the fire-performance of the concrete. For this reason, it would be advantageous if there would be a classification system for aggregates for fire or fire-related temperatures. The classification of the aggregate itself instead of the concrete could be faster and more economical solution in the long run, it could prevent the need to deconstruct concrete based on 28-day test results in case of an insufficient aggregate. This study aims to provide preliminary measurements and conclusions for such a system based on the Hummel-tests after heat loading with supplementary tests such as scanning electron microscope and derivatograph to better understand the changes of the inner structure. For this study quartz, crushed andesite and crushed limestone were tested. The Hummel tests were evaluated based the changes of the grain size distribution and showed promising results, but further testing is required with more samples to calibrate and to confirm the usability of the method.

Keywords: aggregate, classification, fire

1. BEVEZETÉS

Közel minden esetben figyelembe vesszük tervezés során a tűzhatást, ami közvetetten tűzállósági követelményeket eredményez a felhasznált építőanyagok esetében. Számos példa található a szakirodalomban [1–5], ahol különböző természetes és újrahasznosított adalékanyagok felhasználásával készített betonok tűzállóságát elemzik. Ezek rávilágítanak az adalékanyag megválasztásának és a beton tűzállóságának kapcsolataira, de az adalékanyag minőségét a tűzzel szembeni ellenállása alapján nem határozzák meg a betonban való felhasználást megelőzően.



A természetes kőzet adalékanyagok minősége szállítmányonként eltérő lehet és nagyban befolyásolja a beton teljesítőképességét tűz esetén. Ezért előnyös lenne erre egy külön minősítési rendszer alkalmazása, amely az adalékanyag hőterhelést követő teljesítőképességét veszi alapul. Egy ilyen rendszer gazdaságos megoldás lenne egy-egy adalékanyag szállítmány minőségének vizsgálatára ahelyett, hogy minőségbeli eltérések csak a szilárd beton vizsgálatokor derülnek ki.

Az adalékanyagok hősokk hatására bekövetkező aprózódásának mérése szokványos például aszfaltban történő felhasználás esetén, ahol a forró bitumen hatását modellezzik, amely repedésekhez vezethet az adalékanyagban, ezzel befolyásolva a halmazszilárdságot [6].

A felvázolt minősítési rendszer igénye egy fejlesztési projekt kapcsán jelentkezett, mikor C50/60-XC1-11-S1: MSZ EN 206 [7] betonnal készülő 200 mm magas körüreges födempallók tűzállóságát kellett javítani a geometria és a betonfedés változtatása nélkül. Ezen födemelemeket hosszúpados extrúderes technológiával gyártják. A gyártási technológia megköveteli az S1 konzisztencia osztályú (10-40 mm roskadás) beton alkalmazását, amelynek emellett kellő kezdeti szilárdsággal és állékonysággal kell rendelkeznie, hogy a folyamatosan mozgó gyártó gép által hátrahagyott betonelem ne roskadjon össze és a méretpontosság biztosítható legyen.

Korábbi 2003-ban végzett vizsgálatok alapján a födempalló üzemi teher esetében 60 perces, ipari terhelésnél (5 kN/m^2) 90 perces tűzállósági határértékkel rendelkeznek. A projekt során végzett előzetes vizsgálatok alapján (2018) azonban a födempallók 30 percnél is alacsonyabb tűzállóságot mutattak (1. ábra). A födempallók betonösszetétele alapvetően az adalékanyagban tért el. A 2003-ban gyártott elemekhez kvarckavics, míg a 2018-ban gyártott elemekhez zúzott dolomit adalékanyagot használtak fel.



Mivel az alkalmazott adalékanyag volt az egyetlen lényeges különbség, ezért a különböző betonösszetételek vizsgálata mellett az adalékanyagok vizsgálata is fontos lépés volt a termék fejlesztése során. Az adalékanyagok hőterhelésének szintjeit előzetesen elvégzett derivatográfus vizsgálattal határoztuk meg, majd a halmazok hőterhelését követően Hummel vizsgálatokat végeztünk, végezetül az egyes mintákat megvizsgálatuk pásztázó elektronmikroszkóp segítségével is, hogy a láthatók legyenek a mikroszerkezeti változások. Ebben a tanulmányban a kezdeti mérések eredményeit ismertetjük egy későbbi potenciális osztályozási, minősítési rendszer alapjaihoz.



1. ábra: Hosszanti repedések a körüreges földémpallón 3 perc hőterhelést követően

2. KÍSÉRLETI MÓDSZEREK ÉS VIZSGÁLT ANYAGOK

2.1 Vizsgált anyagok

A vizsgált anyagok megválasztása az alapján történt, hogy jellemző a felhasználásuk olyan beton- és vasbetonszerkezetek esetén, ahol kimondottan fontos szempont a tűzzel szembeni ellenállóképesség. Az alábbi anyagokat vizsgáltuk:

- 4/8 kvarckavics,
- 11/22 zúzott andezit (Nógrádkövesd),



- 11/22 zúzott mészkő (Pilisvörösvár).

2.2 Kísérleti módszerek

Az andezit és a mészkő mintákat vizsgáltuk derivatográfjal a hőterhelési hőmérsékletek megfelelő megválasztása érdekében. A kvarckavicsot nem vizsgáltuk ilyen módon, mert csak egy ismert átalakulása van 573 °C-on α -kvarcból β -kvarccá. Fontos azonban, hogy ez az átkristályosodás jelentős térfogatnövekedéssel is jár.

A derivatográfus vizsgálat eredményei alapján 200 °C, 500 °C, 600 °C és 800 °C-os hőterhelési lépcsőket határoztunk meg minden közet esetében, valamint vizsgáltuk az anyagot hőterhelés nélkül is (20 °C-os referencia minták).

A halmazszilárdság vizsgálatára az úgynevezett Hummel vizsgálatot alkalmaztuk, amely régebben szabványos vizsgálat volt több európai országban, többek között Magyarországon is [8], de manapság inkább kutatásoknál alkalmazzák. Minden hőterhelt halmazból vettünk mintát pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) vizsgálatokhoz, ahol végeztünk elemanalízist is.

2.2.1 Derivatográfus vizsgálat

A derivatográf (2. ábra) egyidejűleg állít elő termogravimetriás (TG), derivatív termogravimetriás (DTG) és differenciált termoanalitikai görbét. A vizsgálatához kis mennyiségű anyagot porrá kell őrölni, majd a berendezés kemencéjében egyenletesen 1000°C-ig hevíteni [9]. A vizsgálati paraméterek a következők voltak:

- referencia anyag: alumínium-oxid,
- felfűtési sebesség: 10 °C/perc,
- hőmérsékleti tartomány: 20-1000 °C,
- bemért mintatömeg: 200 mg,
- TG érzékenysége: 50 mg,
- korund tégely,



- atmoszférikus nyomás.

A mérési eredmények kiértékeléséhez a WINDER (Version 4.4) szoftvert használtuk.

A vizsgált anyag (minta) azon fázisai, melyek a mérési hőmérséklet intervallumában nem szenvednek el semmiféle hőreakciót, a derivatográfias módszerrel nem elemezhetők. Ha ugyanabban a hőmérséklet intervallumban párhuzamos hőreakciók következnek be, a hőreakciót szolgáló fázisok DTG és DTA csúcsai átlapolhatnak, többszörös csúcsok vagy vállak (inflexiók) jelennek meg. Ilyen esetekben a fázisok minőségi azonosítása derivatográfias módszerrel nehézkes vagy nem lehetséges [10].



2. ábra: Derivatograph Q-1500D

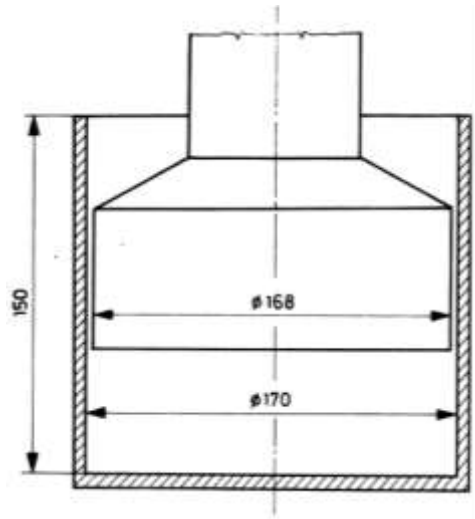
2.2.2 Hummel vizsgálat

A Hummel vizsgálat egy közvetett halmazszilárdsági vizsgálat, melyet az MSZ 18287-3:1983 [8] szerint végeztünk el. A vizsgálat lépései a következők voltak:

- halmaz kezdeti szemeloszlásának meghatározása szitasorral,
- halmaz terhelése 400 kN-ig 1,5 perc alatt Hummel mozsárban (3. ábra),



- tehermentesítés,
- a halmaz szemeloszlásának ismételt meghatározása.



3. ábra: Hummel mozsár vázlatos rajza és méretei [7]

Jelen kutatás esetében a vizsgálat menete a hőterhelés miatt a következőképpen módosult:

- halmaz kezdeti szemeloszlásának meghatározása szitasorral,
- hőterhelés standard ISO 834 [11] tűzgörbe szerinti felfűtéssel és egy órán való célhőmérsékleten tartással (20 °C, 200 °C, 500 °C, 600 °C, 800 °C),
- a halmaz szemeloszlásának ismételt meghatározása,
- halmaz terhelése 400 kN-ig 1,5 perc alatt Hummel mozsárban,
- tehermentesítés,
- a halmaz szemeloszlásának ismételt meghatározása.

A vonatkozó szabvány 2 módszert ad a vizsgálati eredmény értékelésére:

- adott függvény alapján, amely csak bizonyos kezdeti szemeloszlású halazokhoz használható,
- kiértékelés a szemeloszlási görbe megváltozása alapján.



Vizsgálataink értékelését a szemeloszlási görbe megváltozása alapján értékeltük, azonban a vizuális összehasonlítás nyilván nem elegendő. A közelmúltban Gálos és mtsai. [12-13] kidolgoztak egy módszert, ahol a vizsgálatok értékeléséhez egy olyan finomsági modult definiáltak, ahol csak az adott termékre jellemző szemcseátmérők vannak figyelembe véve. Jelen kutatásban is ezt a módszert alkalmaztuk, ahol a releváns szita átmérőket úgy határoztuk meg, hogy ezeken maradt fenn a vizsgált halmaz 95 m%-a. A vizsgálatot a szabványból kiindulva 2 minta alapján lehet értékelni az átlagukat felhasználva, így a vizsgálatokat minden esetben 2-szer végeztük el, minden vizsgált hőmérséklet és vizsgált adalékanyag esetén. A kísérleti mátrixot a Hummel vizsgálatokhoz az 1. táblázatban adjuk meg.

1. táblázat: Minták száma anyagonként és hőlépcsőnként

Hőmérséklet	Kvarc	Andezit	Mészke
20 °C	2	2	2
200 °C	2	2	2
500 °C	2	2	2
600 °C	2	2	2
800 °C	2	2	2
Összes mintaszám:			30

2.2.3 Páztázó elektronmikroszkóp

A SEM analízis egy jó lehetőség az anyagban végbemenő mikroszerkezeti változások követésére. A minták (egy-egy minta hőlépcsőnként és anyagonként) előkészítését követően, amely a minták rögzítéséből, portalanításából majd a felületének vákuumban történő aranyozásából áll, behelyeztük a vizsgált kőzeteket a berendezésbe. Az anyagokat ezt követően 5000x-es nagyításig vizsgáltuk és az elemanalízis funkciót is igénybe vettük.



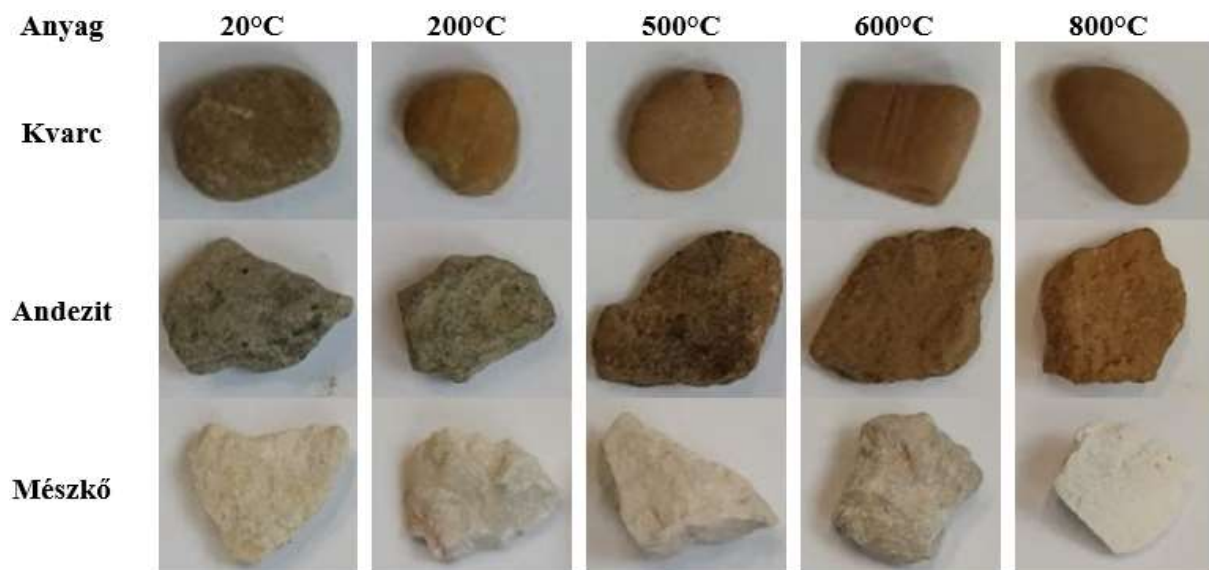
3. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1 Szemrevételezés

A hőterhelést követően egy-egy szemcsét kivettünk a halmazokból szemrevételezés (4. ábra) és SEM analízis céljából.

A kvarc felülete fokozatosan bemattult és vöröses barnává vált vélhetően a vastartalom oxidációjának köszönhetően. Ez a színváltozás az andezit esetében is észrevehető, azonban ott ez nem ennyire fokozatos és főként 200 °C és 500 °C között játszódott le.

A mészkő sötétebb szürkessé vált a hőmérséklet növekedésével 600 °C-ig majd ezt követően bemattult, fehérre vált és kevés fehér por jelent meg 600 °C és 800 °C között. Utóbbi változás a CaCO_3 oxidációjának köszönhető CaO -á alakult.



4. ábra: Adalékanyag szemcsék látható elváltozásai hőterhelés hatására

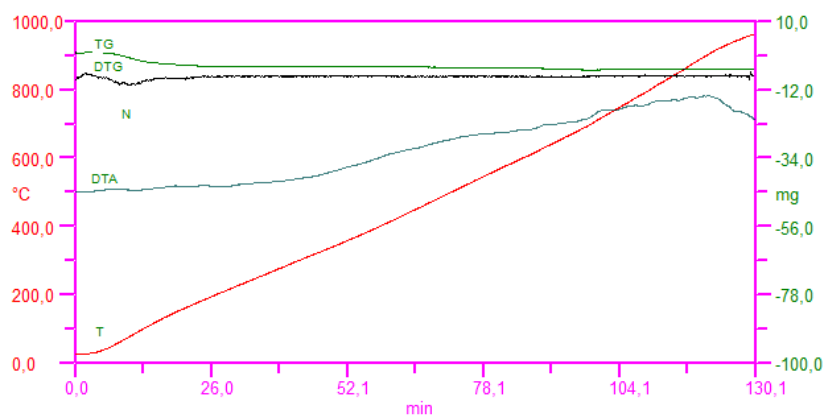


3.2 Derivatográfus vizsgálat

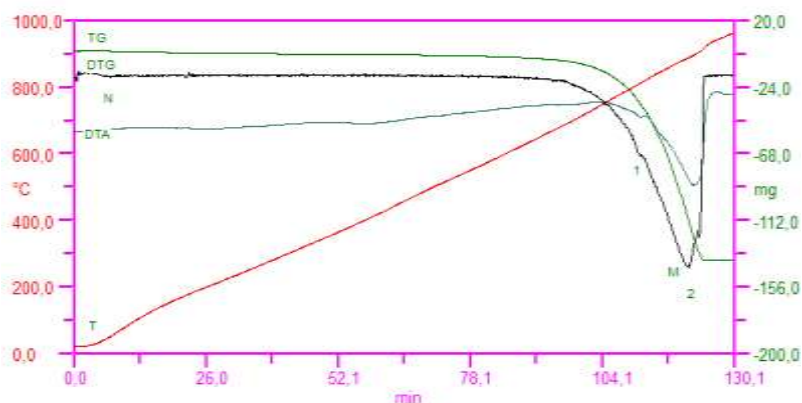
Az andezit és a mészkő minták derivatogramja az 5. és 6. ábrákon látható. Az andezit minta esetében csak egy N jelű csúcs látható 20 és 120 °C között, amit a pórusokból eltávozó víz okozza.

A mészkő esetében a következő csúcsok különíthetők el:

- N jelű csúcs: víz távozása a pórusokból 20 és 120 °C között,
- M jelű csúcs: domináns csúcs 650 és 950 °C között, amik a CaCO_3 és a MgCO_3 oxidációját mutatják:
 - 1. csúcs: $\text{MgCO}_3 \rightarrow \text{MgO} + \text{CO}_2$
 - 2. csúcs: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$



5. ábra: Andezit minta derivatogramja



6. ábra: Mészkő minta derivatogramja



A megfelelő szoftverrel a tömegváltozások számszerűsíthetők voltak. Ezeket a 2. táblázatban foglaljuk össze.

Az eredmények alapján az andezit csak a nedvességtartalmát veszíti el a vizsgált hőmérséklet tartományon, a további hőmérsékletre nem érzékeny. A mészkő a 650 és 950 °C közötti bomlásakor tömegének 44 %-át veszíti el, ami lényegében megegyezik a kalcium-karbonát széndioxid tartalmával. Ez arra utal, hogy az anyag fő tömege kalcium-karbonát, amely magnézium-karbonátot (dolomitos részt) csak csekély mértékben tartalmaz.

2. táblázat: Tömegváltozások a vizsgálat során

Megfigyelt fázisok	Andezit	Mészkő
Nedvességtartalom eltávózása (m%)	1,2	0,2
Karbonátokból eltvávozó CO ₂ mennyisége (m%)	-	44,2
Izzítási veszteség (m%)	1,8	45,0

3.2 Hummel vizsgálat

A finomsági modulus számításához (lásd 2.2.2 fejezet) az alábbi szita átmérőket vettük figyelembe az egyes kőzeteknél:

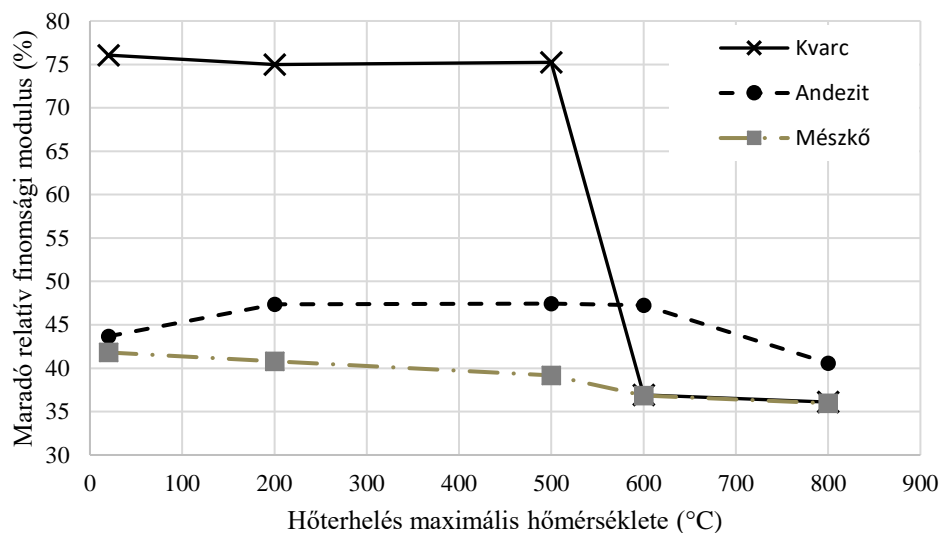
- kvarc: 2 mm, 4 mm, 8 mm,
- andezit: 8 mm, 16 mm, 22,4 mm,
- mészkő: 8 mm, 16 mm.

A hőterhelés önmagában nem okozott jelentős változást a szemeloszlásban (maximum 1%), így a harmadik szitavizsgálat eredményeit az első szitavizsgálat eredményeivel vetettük össze a későbbiekben. A hőterhelés és a Hummel mozsaras terhelés után maradó relatív finomsági modulust a 3.. táblázatban és a 7. ábrán adjuk meg. A Hummel mozsárban összezúzott referencia és a 800 °C-os minták a 8-10. ábrákon láthatók.



3. táblázat: A hőterhelés és a Hummel mozsaras terhelés után maradó relatív finomsági modulus

Hőmérséklet	Kvarc	Andezit	Mészkö
20°C	76.07%	43.68%	41.81%
200°C	74.98%	47.35%	40.79%
500°C	75.22%	47.44%	39.17%
600°C	36.94%	47.25%	36.86%
800°C	36.09%	40.59%	35.96%



7. ábra: A hőterhelés és a Hummel mozsaras terhelés után maradó relatív finomsági modulus

A kvarc kavics esetében nem volt jelentős változás finomsági modulusban, így közvetve halmazszilárdságban 500 °C-ig. Ezt egy drasztikus csökkenés követte a 600 °C-on hőterhelt mintáknál, majd ismét egy csak kis mértékű csökkenést (kevesebb mint 1%) tapasztaltunk 600 °C és 800 °C között. Az 500 °C és 600 °C között csökkenés a kvarc jelentős térfogatnövekedéssel járó átalakulásának volt köszönhető 573 °C-on [14], ami jellemzően



repedéseket okoz a betonban, de az eredmények alapján magának az adalékanyagoknak is csökken a szilárdsága a megváltozott szerkezetnek köszönhetően. Az eredmények azt mutatják, hogy a kvarc előnyös, amennyiben nem számítunk tűzhatásra vagy extrém magas hőmérsékletre adott szerkezet esetében, hiszen itt csökkent legkevésbé a halmazszilárdság 500 °C-ig.



8. ábra: Hummel mozsárban megzúzott referencia (20 °C) (bal) és 800 °C-on hőterhelt (jobb) kvarc minták

Az andezit esetében a kvarchoz képest jelentősen kisebb relatív finomsági modulust tapasztaltunk (41,81%), azonban 200 °C-on kis mértékű növekedést követően (a víz távozásának köszönhetően) ez a közet közel hőérzéketlen volt egészen 600 °C-ig. A csökkenés 800 °C esetében 6,66%, de a referencia mintákhoz képest csupán 3,09%-kal mértünk alacsonyabb értékeket, ami kiemelkedően jó tűzhatásra való méretezés esetén.



9. ábra: Hummel mozsárban megzúzott referencia (20 °C) (bal) és 800 °C-on hőterhelt (jobb) andezit minták

A mészkő minták halmazszilárdsága folytonos csökkenést mutatott a hőmérséklet emelkedésével. A mészkőnek volt a legalacsonyabb relatív maradó modulusa minden vizsgált hőmérséklet esetében a 3 kőzet közül. Ennek ellenére a kvarccal szemben előnyös lehet a használata, mert a csökkenés a hőmérséklet növelésével nem olyan drasztikus módon jelentkezik, valamint nincs jelentős térfogatnövekedéssel járó átalakulása a vizsgált hőmérséklet tartományon, amely plusz repedéseket okozhatna a betonban.

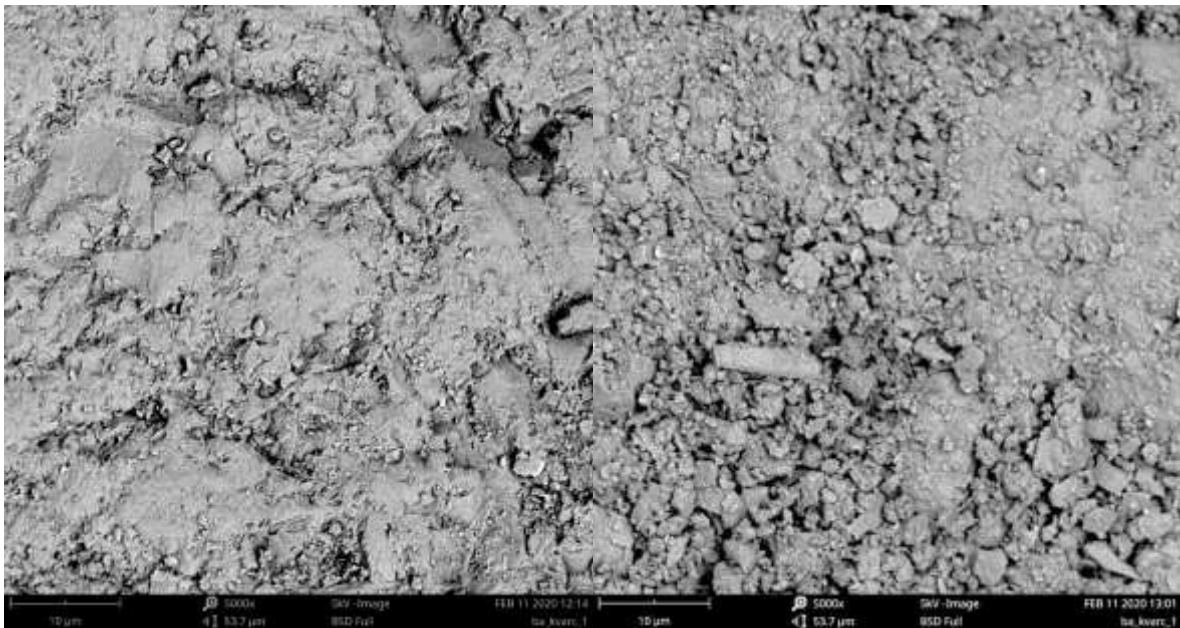


10. ábra: Hummel mozsárban megzúzott referencia (20 °C) (bal) és 800 °C-on hőterhelt (jobb) mészkő minták

3.4. SEM

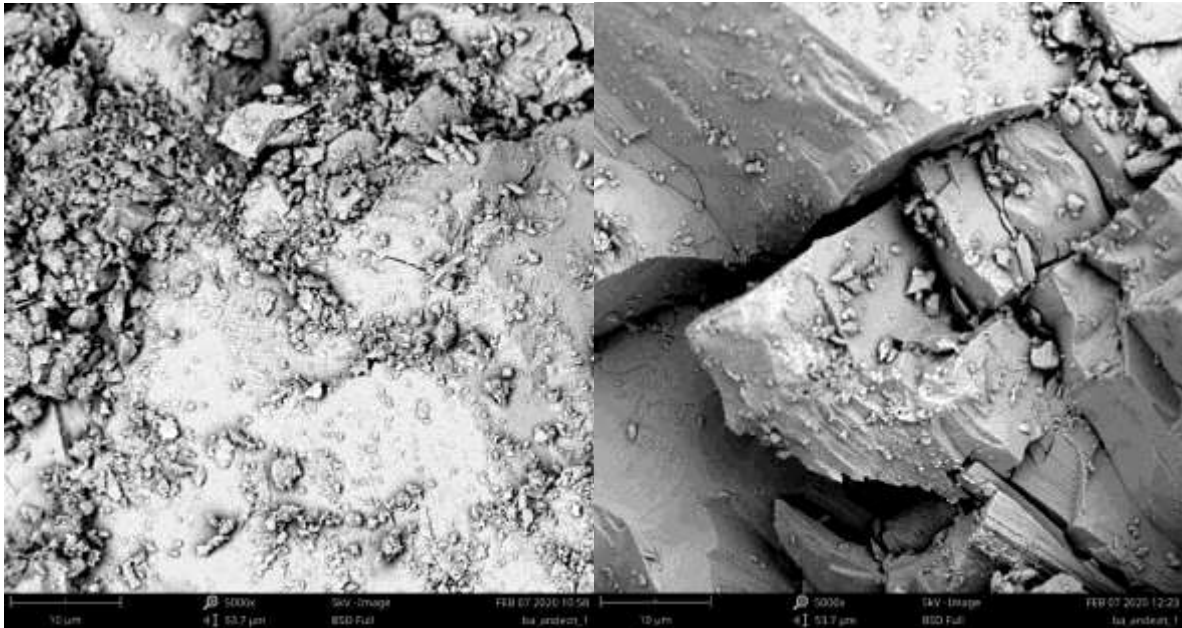
A rendelkezésre álló SEM berendezéssel a mikrostruktúra változásainak követése mellett elemanalízis elkészítése is lehetővé vált. A vizsgálatok célja a tapasztalt halmazszilárdsági változások okainak feltárása, megértése volt. Az elemanalízist kis foltokon végeztük nem pedig előre meghatározott egyenesek mentén, valamint csak egy-egy szemcsét vizsgáltunk így nem tekinthető reprezentatívnak az egész mintára nézve

A kvarc esetében nem mértünk jelentős változást az elemi összetételben. A szilícium-dioxid mellett (ami az összes tömeg közel 80 m%-át adja) főként nióbiumot találtunk minden vizsgált ponton 6-9 m%-ban, valamint kis mennyiségben jelen volt még bróm, vas, platina és alumínium. A szemcse felszínének fokozatos leromlása is megfigyelhető volt, több apró szemcse jelent meg a felszínen az aprózódásnak köszönhetően (11. ábra).

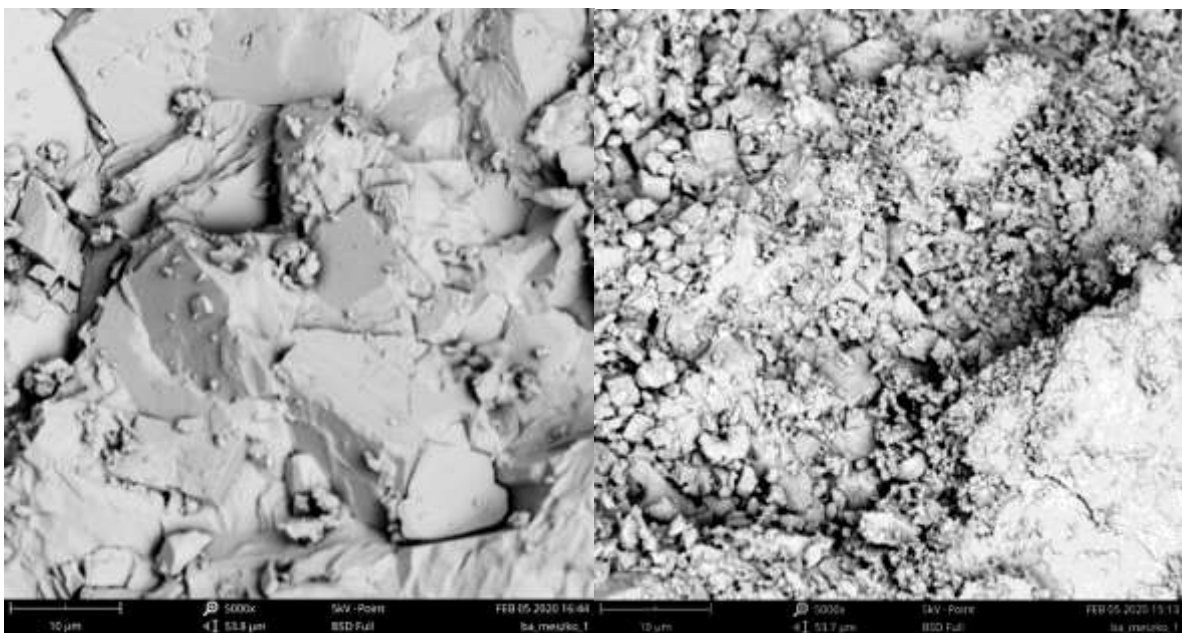


11. ábra: Kvarc szemcsék felülete, referencia (20 °C) (bal) és 800 °C-on hőterhelt (jobb)

Az andezit esetében a felszíni por lemezesebb, élesebb szemcsékből állt és a referencia mintán sokkal nagyobb mennyiségben volt jelen. A hőmérséklet növekedésével 200 °C-on hosszú, de kis tágasságú repedések jelentek meg, amik száma növekedett az emelkedő hőmérséklettel 600 °C-ig. 800 °C-on a repedések száma és a repedések tágassága ugrásszerűen megnőtt, valamint jól láthatóvá vált a levált szemcsék helye a felületen (12. ábra). Az andezit fő alkotói oxigén és szilícium voltak (a mért pontokon együttesen 75-80 m%), ezek mellett jellemzően jelen volt még alumínium, vas és nióbbium. Voltak mért pontok, ahol a vas tartalom elérte a 46,7 m%-ot is. A hőmérséklet növekedésével nem tapasztaltunk jelentős változást elemösszetétel tekintetében, de a másik két közethez képest az egyes alkotók eloszlása az anyagban egyenlőtlenebb, az anyag inhomogénebbnek tekinthető.



12. ábra: Andezit szemcse felülete referencia (20 °C) (bal) és 800 °C-on hőterhelt (jobb)



13. ábra: Mészke szemcse felülete referencia (20 °C) (bal) és 800 °C-on hőterhelt (jobb)



Ugyanazon nagyítás mellett a mészkő esetében jól látható, hogy a felszint alkotó blokkos elemek mérete lecsökkent a hőmérséklet növekedésével (főként 600 és 800 °C esetén) (13. ábra). A repedések mérete és száma nem növekedett a magasabb hőterhelés mellett. Az elemanalízis alapján ez a kőzet tekinthető a leghomogénebbnek, itt tapasztaltuk az egyes mért pontok között a legkisebb eltérést. A $MgCO_3$ és a $CaCO_3$ oxidációja volt az egyetlen tapasztalt változás az összetétel tekintetében, amit jól mutatott az oxigén-szén arány növekedése.

5. ÖSSZEGZÉS

Jelen kutatás során kvarc kavics, zúzott andezit és zúzott mészkő adalékanyagokat vizsgáltunk, hogy előzetes vizsgálati eredményeket és tapasztalatokat szerezzünk egy tűzre való minősítési rendszerhez kifejezetten betonadalékanyagokhoz. A kőzeteket Hummel vizsgálatnak vetettük alá a hőterhelést követően, majd a vizsgálatokat a szemeloszlás megváltozása alapján értékeltük (maradó relatív finomsági modulus). A finomsági modulus minden esetben csak az adott termékre jellemző szitákon fennmaradt anyaggal definiáltuk, nem a teljes mérettartománnyal. Az eredmények jól követték a kvarc kavics ismert átkristályosodását és a mészkőben a karbonátok oxidációját is.

A kvarc átalakulása 573 °C-on jelentős térfogatnövekedéssel jár, ami repedéseket okoz a betonban (ezzel csökkentve a szilárdságát), de a Hummel vizsgálatok eredményei alapján az adalékanyag halmazszilárdsága is jelentősen lecsökken a belső struktúra megváltozásának köszönhetően. A szilárdság további csökkenése 600 és 800 °C között kevesebb volt mint 1%. Az eredmények azt mutatják, hogy a kvarc előnyös, amennyiben nem számítunk tűzhatásra vagy extrém magas hőmérsékletre adott szerkezet esetében, hiszen itt csökkent legkevésbé a halmazszilárdság 500 °C-ig. A SEM analízis során készített felvételeken jól látható a szemcsék felületének degradációja a hőterhelés maximális hőmérsékletének növekedésével.

Az andezit esetében a derivatográfus vizsgálat nem mutatott termikus reakciókat 1000 °C-ig csak a víztartalomtávozása volt felfedezhető a görbéken, ami a maradó relatív finomsági modulusban is növekedést eredményezett a 200 °C-on hőterhelt minták esetében, ezt követően



pedig csak kis mértékű csökkenés volt tapasztalható 600 °C és 800 °C között. A SEM felvételek ugyancsak nagy repedések megjelenéséről tanúskodnak a 2 legmagasabb vizsgált hőmérséklet esetén. Ezen repedések ellenére a vizsgált adalékanyagok közül ez tekinthető a legoptimálisabbnak a vizsgált kőzetek közül.

A mészkő minták esetében folytonos csökkenést tapasztaltunk halmazszilárdságban a hőmérséklet növekedésével. Ennek a kőzetnek volt a legalacsonyabb a relatív maradó finomsági modulusa minden vizsgált hőmérséklet esetén. Ennek ellenére a kvarccal szemben előnyös lehet a használata, mert a csökkenés a hőmérséklet növelésével nem olyan drasztikus módon jelentkezik, valamint nincs jelentős térfogatnövekedéssel járó átalakulása a vizsgált hőmérséklet tartományon, amely plusz repedéseket okozhatna a betonban.

A Hummel vizsgálat alkalmas volt az anyagokban végbemenő változások számszerűsíthető követésére, de további vizsgálatok szükségesek nagyobb mintaszámmal a módszer kalibrálására és a módszer általános alkalmasságának bizonyítására.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezen kutatás az Új Nemzeti Kiválóság Program (ÚNKP-19-3) Ösztöndíj támogatásával készült. A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében. A cikk szerzői köszönetet mondanak az NVKP_16-1-0019 “Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért.



HIVATKOZÁSOK

- [1] S. Hachemi and A. Ounis, "Performance of concrete containing crushed brick aggregate exposed to different fire temperatures," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 19, no. 7, pp. 805–824, Aug. 2015, doi: 10.1080/19648189.2014.973535.
- [2] X. Yu, Z. Tao, T. Y. Song, and Z. Pan, "Performance of concrete made with steel slag and waste glass," *Constr. Build. Mater.*, vol. 114, pp. 737–746, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.03.217.
- [3] J. R. Correia, J. S. Lima, and J. De Brito, "Post-fire mechanical performance of concrete made with selected plastic waste aggregates," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 53, pp. 187–199, Oct. 2014, doi: 10.1016/j.cemconcomp.2014.07.004.
- [4] J. Gales, T. Parker, D. Cree, and M. Green, "Fire Performance of Sustainable Recycled Concrete Aggregates: Mechanical Properties at Elevated Temperatures and Current Research Needs," *Fire Technol.*, vol. 52, no. 3, pp. 817–845, May 2016, doi: 10.1007/s10694-015-0504-z.
- [5] C. J. Zega and A. A. Di Maio, "Recycled concrete made with different natural coarse aggregates exposed to high temperature," *Constr. Build. Mater.*, vol. 23, no. 5, pp. 2047–2052, May 2009, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.08.017.
- [6] ÚT 2-3.601, *Útépitési zúzott kövek és kavicsok*, 2009.
- [7] MSZ EN 206+A1, *Beton. Műszaki követelmények, teljesítőképesség, készítés, megfelelés*. 2017.
- [8] MSZ 18287-3, *Építési kőanyagok szilárdságvizsgálata próbahalmazon - Hummel vizsgálat*. 1983.
- [9] A. Biró, V. Hlavička, and É. Lublós, "Effect of fire-related temperatures on natural stones," *Constr. Build. Mater.*, vol. 212, pp. 92–101, Jul. 2019, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.03.333.



- [10] K. Kopecskó, “Gőzölés hatása a cement klinkerásványainak kloridion megkötő képességére,” *PhD értekezés*, 2006.
- [11] ISO 834-1, *Fire-ressitance tests - Elements of building construction, Part 1: General requirements*. 1999.
- [12] M. Gálos, Á. Orosz, J. P. Radics, and K. Tamás, “Diszkrét elemes számítógépes módszer a vasúti zúzottkő ágyazat viselkedésének modellezésére,” *Sínek világa*, vol. 5, pp. 22–28, 2017.
- [13] M. Gálos and Á. Orosz, “Ágyazati kőanyagok viselkedésének vizsgálata ismételt terhelés hatására,” *Sínek világa*, vol. 1, pp. 10–15, 2019.
- [14] U. Schneider and C. Lebeda, *Baulicher Brandschutz*. 2000.

Biro András

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and
Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

biro.andrás@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-8373-7291

Dr. Hlavička Viktor PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and
Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

hlavicka.viktor@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-5435-4400



Dr. Lublós Éva PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and
Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

lubloy.eva@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-9628-1318