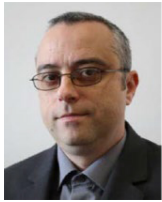


A RADIOAKTÍV HULLADÉK CEMENTEZŐ TECHNOLOGIA ÁLTAL HASZNÁLT CEMENTTÍPUSOK AZONOSÍTÁSA BÓRSAVVAL KOMBINÁLT FÉLADIABATIKUS KALORIMETRIÁVAL



Baranyi Attila - Dr. Kopecskó Katalin

<https://doi.org/10.32969/VB.2024.2.2>

A Paksi Atomerőműben működő Radioaktív Hulladék Cementező Technológia segítségével a folyékony radioaktív hulladékokat cementkötésű anyagokkal keverik össze, majd a cementpépet acélhordókban elhelyezett szilárd radioaktív hulladékokat tartalmazó konténerekbe töltik. Az így elkészített ún. kompakt hulladékcsomagok minősítésük után már végleges tárolásra kerülhetnek.

A cementezési receptúra hulladéktípusonként változhat, valamint a keverékek érzékenyek lehetnek a kötőanyagok minőségére, ezért az alapanyagokat minden szállítás alkalmával azonosítani kell. Mivel a termékszabványok szerinti követelmények csak az adott cementtípusra vonatkozó alapvető jellemzők ellenőrzésére szolgálnak és időigényesek, ezért az adott felhasználás szempontjából lényeges alkalmazástechnikai tulajdonságok ellenőrzéséhez szükség van egy egyszerű és gyors kiegészítő azonosítási módszerre, a cementezési folyamat megkezdése előtt.

Tanulmányunkban, a Duna-Dráva Cement Kft. (DDC), a Holcim Magyarország Kft. (Holcim) és a Danucem Magyarország Kft. (Danucem) által gyártott különböző típusú cementeket vizsgáltuk. A méréseink eredményeképpen a bórsavval kombinált fél-adiabatikus kalorimetrikus, és savas feltárással azonosítani tudtuk a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia működéséhez szükséges CEM I 42,5 N típusú cementet a DDC beremendi gyárából származó többi cementtípus között, valamint megvizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát más, az építőiparban gyakran előforduló cementtípusokra is.

Kulcsszavak: cementazonosítás, cementezés, radioaktív hulladék, féladiabatikus kalorimetria, bórsav

1. BEVEZETÉS

A Paksi Atomerőműben 2023-ban bevezetésre került a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia, amely segítségével a különböző, tovább már nem kezelhető folyékony radioaktív hulladékokat (bepárlási maradékok, iszapok, dekontamináló oldatok, evaporátor savazó oldatok és használt ioncserélő gyaníták) különböző típusú cementekkel, metakaolinnal, és esetleg adalékszerrel keverik össze. Az így elkészített cementpépet acélhordókban elhelyezett szilárd radioaktív hulladékokat tartalmazó konténerbe töltik. Ezzel a művelettel olyan kompakt hulladékcsomagot alakítanak ki, amely már megfelel a Nemzeti Radioaktív Hulladéktároló (NRHT) hulladék átvételi követelményeinek (HÁK). Tanulmányunkban csak a jelenleg feldolgozás alatt álló bepárlási maradék (sűrítmény) szilárdításának receptúrájához szükséges kötőanyag azonosítását tárgyaljuk, amelynek lényegesebb tulajdonságait az 1. táblázatban tüntettük fel.

A cementezési receptúrákat a CHEMCOMEX, a.s. (kivitelező) dolgozta ki minden egyes hulladéktípusra (Süssmilch et al., 2022), amelyekben konkrét cement és metakaolin típust írtak elő, ill. meghatározták a hulladék/kötőanyag (H/k) tényezőt is az üzemi paraméterek, valamint a HÁK-ban foglalt követelmények biztosítása érdekében. A receptúrafejlesztés során számos nehézség merült fel, többek közt az először kifejlesztett receptúra készítéséhez szükséges, Vácon gyártott CEM I 42,5 N típusú portlandcement gyártásának megszűnése, amely miatt új keverék összetétel kidolgozása vált szükségessé. A jelenleg elfogadott receptúra ugyanolyan típusú (CEM I 42,5 N), de Beremenden gyártott cementet tartalmaz, azonban a két cement eltérő összetétele miatt csökkenteni kellett a cementpép hulladéktartalmát, mert a korábbi H/k tényezővel gyártott termék nem felelt volna meg a követelményeknek. Ezen kívül a minősítéshez szükséges próbatetek elkészítése és vizsgálata is nehézkessé vált.

1. táblázat: A vizsgált bepárlási maradék néhány fontosabb jellemzője (MVM Paksi Atomerőmű Zrt., 2023)

pH	Nitrát [g/dm ³]	Borát [g/dm ³]	Mólarány (NaOH/H ₃ BO ₃)	Sűrűség [kg/dm ³]	Száranyag [g/dm ³]	⁶⁰ Co [Bq/dm ³]	¹³⁷ Cs [Bq/dm ³]
12	22,59	181,7	1,11	1,229	362,60	1,45·10 ⁵	1,17·10 ⁶

Mivel a cementek minősége nagyban befolyásolja a termék tulajdonságait, szükség van azok minőségének laboratóriumi ellenőrzésére. Ezeket az időigényes minősítő vizsgálatokat külső intézet végzi, így találni kellett egy egyszerű és gyors tesztet, amely a szabványos vizsgálatok kiegészítéseként lehetővé teszi a beérkezett cement üzemen belüli azonosítását, elősegítve a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia folyamatos, megbízható működését.

Jelen tanulmányunkban elsősorban a technológiához szükséges beremendi CEM I 42,5 N típusú cement azonosítása volt a célunk. Emellett további eredményeinkkel alátámasztva szerettük volna a bórsavval kombinált féladiabatikus kalorimetrikus vizsgálati módszert szélesebb körű építőipari alkalmazásra is kiterjeszteni.

1.1 A cementezett hulladékkal szemben támasztott követelmények

A szilárdított termékek vizsgálatával a Cementezett Hulladék Vizsgáló Laboratórium foglalkozik, amely egyrészt a cementpép technológiai paramétereit, másrészt a már megszilárdult cementkő HÁK-nak való megfelelést ellenőrzi (Baranyi et al., 2021).

A cementpéppel szemben támasztott technológiai követelmények:

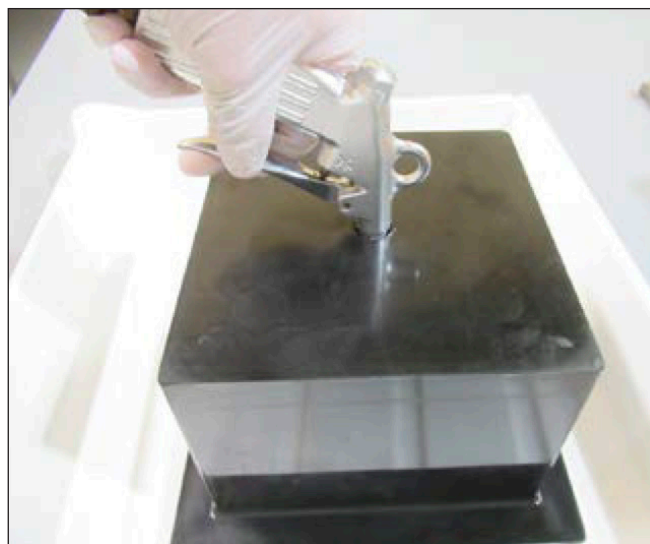
- konzisztencia (Suttard – féle terület): 120 – 170 mm (optimális: 150 mm),
- kötési idő: kötési idő kezdete (IST): min. 2 h; kötési idő vége (FST): max. 48 h (MSZ EN 196-3),
- hidratációs hőfejlődés mértéke: max. 80 °C,
- kivérzés (víz feladás) mértéke: max. 1 V/V%.

A szilárdított hulladékkal szemben támasztott hulladék átvételi követelmények (HÁK):

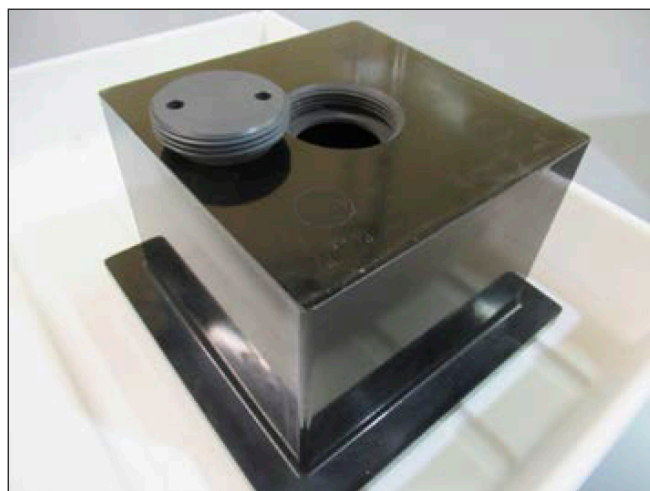
- nyomószilárdság min. 10 MPa (MSZ EN 12390-3),
- diffúziós együttható minden izotóp tekintetében max. 10^{-7} cm²/s (ASTM 1308-08).

1.2 A cementváltás következményei

A több éven át tartó előkészítő munka után kifejlesztett receptúrában hirtelen bekövetkező változás során a kivitelező először összehasonlító méréseket hajtott végre az új összetételű cementpéppel, majd a megfelelő technológiai paraméterek elérése után elvégezte a cementkő vizsgálatokat. Már a beremendi cementtel végzett cementpép vizsgálatok korai szakaszában világossá vált, hogy a váci cement esetében elért 0,61 H/k tényezőt csökkenteni kell, mert a beremendi cementtel készült keverékek konzisztenciája már 0,57 H/k mellett is elérte az optimális 150 mm értéket, ráadásul a többi vizsgált paraméter tekintetében is megfelel az előírásoknak. Egyedül a nyomószilárdság értékben volt tapasztalható csökkenés, de még így is több, mint a duplája a HÁK-ban előírt követelmé-



1.a ábra: Pneumatikus öntőforma



1.b ábra: Átalakított, hidraulikus öntőforma

nyeknek (2. táblázat).

A cement minőségének megváltozásával módosítani kellett a próbatestek kizsaluzási módszerét. A váci cementnél alkalmazott manuális, ill. pneumatikus kizsaluzás helyett (1.a ábra) a mintákat sok esetben csak hidraulikus présszel lehet eltávolítani az öntőformából. Ennek megfelelően a nyomószilárdság vizsgálatra használt 150 mm-es próbatestek öntőformáit át kellett alakítani (1.b ábra).

A cement vizsgálata tehát kiemelt fontosságú mind a technológiai, mind a hulladék átvételi követelmények betartása érdekében, ugyanakkor nagyban befolyásolhatja a laboratóriumi minta-előkészítést is.

2. A KÖTŐANYAGOK AZONOSÍTÁSI MÓDSZEREI

A cementgyárak az általuk gyártott különböző típusú cementeket a saját sztenderdjeik alapján röntgendiffrakciós (XRD)

2. táblázat: A radioaktív bepárlási maradékokat tartalmazó cementpépek főbb jellemzői

Cement típusa	IST/FST [h]	T _{max} [°C]	f _{cm} [MPa]	D [cm ² /s]
Váci CEM I 42,5 N	15-60/20-110	65±3	39,53	6,5·10 ⁻⁹
Beremendi CEM I 42,5 N	4/30	55±6	22,36	7,3·10 ⁻¹⁰

IST: kötési idő kezdete; FST: kötési idő vége; T_{max}: maximális hidratációs hőmérséklet; f_{cm}: átlagos 28 napos nyomószilárdság, D: a ¹³⁷Cs diffúziós együtthatója

vizsgálattal, röntgenfluoreszcens (XRF) spektrometriával, valamint optikai mikroszkópiával tudják azonosítani. Ugyanakkor a gyártás minőségbiztosítási rendszerének segítségével is nyomon lehet követni az egyes cementek életútját.

A betonüzemek a cementgyárak által kiadott teljesítmény-nyilatkozatok alapján veszik át az általuk rendelt cementeket. Amennyiben a termék minőségével kapcsolatban kétely merülne fel, akkor független, általában akkreditált laboratóriumokba küldik a cementmintákat azok minőségének ellenőrzése céljából. A vizsgálatokat az EN 196 jelzetű szabványsorozat szerint végzik, amelyek eredménye alapján a vizsgált cement az EN 197-1 szabványban leírt követelmények szerint különböző cementtípusokba és nyomószilárdsági osztályokba sorolható. A szabvány az építőipari biztonság szempontjából konzervatív megközelítést alkalmaz, így előfordulhat, hogy egy 32,5 N szilárdsági osztályú cement megfelel a 42,5 N szilárdságú cement követelményeinek is. Ugyanakkor, ahogy korábban láttuk a folyékony radioaktív hulladékok cementezése esetén, még azonos típusú cementek alkalmazása is jelentős minőségi különbséget okoz, ill. a cementezett radioaktív hulladékokkal szemben támasztott szigorú követelmények betartása, és a másodlagos (radioaktív) hulladékok keletkezésének elkerülése érdekében lehetőség szerint ki kell küszöbölni a kötőanyagok okozta nem-megfelelőségeket.

A nemzetközi irodalomban meglehetősen nehéz a témában tájékozódni valószínűsíthetően a fent leírt gyakorlat miatt, ill. az egyes cementtípusok ásványi összetételével kapcsolatos információk nem mindig elérhetőek. Mindenesetre az XRD és XRF analízis megfelelő módszerek lehetnek a cementek azonosítására, amennyiben a cementezésre már korábban is használt cementet tekintik referenciának. A kristályos komponensek azonosíthatók a röntgendiffrakciós csúcsok helyzetének és relatív intenzitásának meghatározásával, valamint az adott diffraktogram röntgendiffrakciós adatbázissal történő kiértékelésével (Aldrige, 1982; Snellings, 2016.; Khelifi et al., 2017).

A cementek azonosításának elsősorban a különböző mérnöki műtárgyakban bekövetkező károk felderítésénél, felelősségi kérdéseknél és igazságügyi szakértői vizsgálatoknál, valamint régészeti szempontból (Varas et al., 2005; Mirello et al., 2010) van jelentősége. A cementek azonosíthatók a betonban található nyomelemek (pl.: Mg, Sr, Ba, Mn, Zn, Zr, Ti, V) meghatározásának segítségével is, amelyhez általában induktív csatolású plazma atomemissziós (ICP-AES), valamint tömegspektrometriás (ICP-MS) módszereket alkalmaznak (Goguel et al., 1993; Potgieter-Vermaak et al., 2007). A klinkerben található nyomelemek feltáró adatelemzésével (EDA), annak származási helye szintén megállapítható (Tamás et al., 2002; Abonyi et al., 2004).

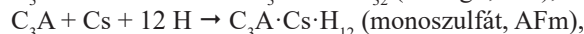
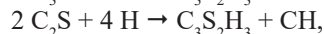
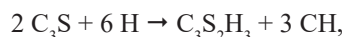
A cementek klinkertartalmának eredete (ujjlenyomata) radioanalitikai módszerekkel is tisztázható a cementben található stroncium $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, ill. neodímium $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ izotóp arányának előfordulása alapján (Graham et al., 2000; Kazlagić et al., 2021).

Egy másik alkalmas módszer a beton készítéséhez használt cement típusának meghatározására a lézer indukált plazma spektrometria (LIBS). A mérés során a cementkő mintát lézer impulzussal sugározzák be, majd az abláció következtében keletkezett plazma emissziós színeképét elemzik, amelyhez nagy felbontású UV/VIS és IR spektrométert használnak (Völker et al., 2020).

Mindazonáltal az elemanalitikai módszerek alkalmazhatóságát a cement származási helyének megállapítására nagymér-

tékben befolyásolja, hogy az egyes cementekhez használt gipsz és más fő-, ill. mellékalkotórészek ma már nem csak helyi, természetes forrásból származnak. A modern cementgyárak jelentős mennyiségű másodlagos tüzelő- és nyersanyagot is felhasználnak, amelyek a mintaelőkészítéssel bevitt egyéb segédanyagokkal együtt növelik a mérések bizonytalanságát.

Az ismert forrásból származó cementtípusok azonosítására alkalmasak lehetnek még a termikus módszerek is, amelyek alapja, hogy a cement hidratációs hőfejlődését lényegében a különböző klinkerásványok (C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF) hidratációja (vízzel való reakciója, hidratképződés) eredményezi. A folyamat egyszerűsített szilikatkémiai egyenletei a teljesség igénye nélkül a következők:



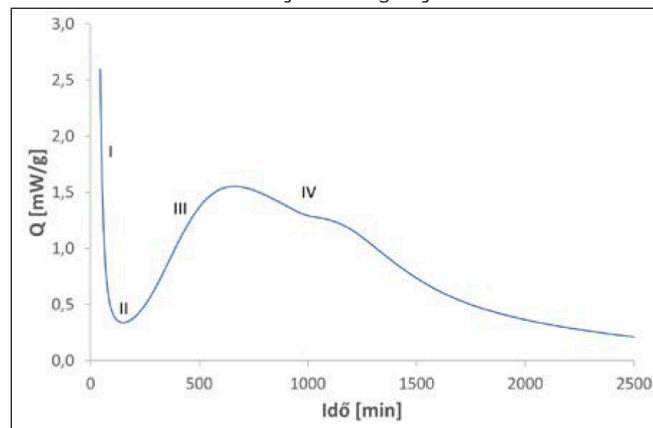
ahol C_3S : trikálcium-szilikát (alit), C_2S : dikalcium-szilikát (belit), H: víz, $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$: trikálcium-szilikát-hidrát, CH: kalcium-hidroxiid, C_3A : trikálcium-aluminát, $\text{C}_3\text{A} \cdot 3\text{Cs} \cdot \text{H}_{32}$: ettringit (AFt fázis), $\text{C}_3\text{A} \cdot \text{Cs} \cdot \text{H}_{12}$ (monoszulfát, AFm fázis).

A hidratáció hőfelszabadulással járó (exoterm) kémiai reakció, amely során a keletkező reakcióhő arányos a reakcióban résztvevő anyagok minőségével és mennyiségével, azaz a cement összetételével, valamint az őrlési finomságával.

A cementek hidratációs hőfejlődési diagramja (2. ábra) széles körben ismert. A hidratációs folyamat négy fő fázisra osztható:

- (I) Először az ún. inicializálási periódusban, a cement vízzel történő keverése során, egy diszperz fázist tartalmazó oldat képződik, amelyet hirtelen hőmérséklet növekedés kísér. Ebben a fázisban megkezdődik a kalcium-szilikát-hidrát (CSH), az ettringit (AFt), ill. a monoszulfát (AFm) valamint a portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) képződése.
- (II) Az oldatban lévő ionok fogyásával a keletkező hidráttermékek túltelített oldatot hoznak létre, majd a reakció lelassul, amelyet alvó vagy indukciós periódusnak nevezünk. A lassulás oka nem teljesen tisztázott, de alapvetően két megközelítés létezik: a védő membrán és a telítetlenség vezérelt oldódás elmélete. Ezen elképzelések részleteit ugyan nem tárgyaljuk, de a legújabb bizonyítékok azt mutatják, hogy nem keletkezik áthatolhatatlan gátló réteg a cementszemcsék felületén (Scrivener et al., 2015). Mindazonáltal a kezdetben metastabil CSH réteg kicsapódhat a felületre, amely befolyásolja a porusoldat koncentrációját

2. ábra: Portlandcement hőfejlődési diagramja izoterm kalorimetriával



(Bullard et al., 2011). Bár a folyamat jelentősen lelassul, azonban ebben a fázisban is folytatódnak a kémiai reakciók, amelyek szintén járnak némi hőfejlődéssel.

(III) A klinkerfázisok további hidratálódásával újabb ionok szabadulnak fel, amelyek további hidráttermékek képződéséhez vezetnek, így a hőmérséklet újra emelkedésnek indul. Ebben a gyorsulási periódusban elsősorban a CSH fázis további göcképződése és kristály növekedése indul meg, amely hozzájárul a cementpép szilárdságának növekedéséhez.

(IV) Végül a lassulási periódusban, a hidratáció előrehaladtával az oldatban lévő ionok és a hidratálatlan cement szemcsék mennyisége csökken, amely a hőfejlődés csökkenésén keresztül is nyomon követhető (Double et al., 1978; Scrivener és Nonat, 2011).

A hőfejlődés görbe alakulásának tanulmányozását elsősorban a különböző cement kiegészítőanyagok a cement korai hidratációra gyakorolt hatásának leírására használták (Zhang et al., 2002; Ballim és Graham, 2009; Talero és Rahhal, 2009; Nocuń-Wzelik et al. 2010; Xu et al., 2010; Klemczak és Batog, 2016; Laczkó, 2024), ill. más analitikai módszerekkel pl: XRD, termoanalízis (differenciál termoanalízis – DTA) kombinálva a hőfejlődési profil változásának lehetséges okait kutatták (Rahhal et al., 2012; Boháč et al., 2014, Chung et al., 2016; Yu et al. 2018). Bár a fellelhető tanulmányokban a különböző összetételű cementek hidratációs hőfejlődési görbéi karakterisztikusan eltérnek egymástól, ezeket nem azonosítási céllal alkalmazták. Korábbi vizsgálataink során megfigyeltük, hogy a különböző cementek szabványos körülmények között végzett vizsgálata során felvett féladiabatikus kalorimetrikus hőfejlődési görbéi differenciális csúcsának megjelenési ideje az adott cementre jellemző értéket mutat (Baranyi et al, 2024). A cement azonosítása tehát lehetséges a cementre jellemző hőfejlődési profil alapján, ugyanakkor előfordulhatnak olyan esetek, amikor a hőfejlődési mintázat hasonlósága miatt nem tehető különbség a vizsgált cementek között. Ezt a problémát úgy küszöböltük ki, hogy kihasználtuk a bórsav kötéseleltető hatását (Csetényi és Glasser, 1995; Davraz, 2010; Rajadesingu és Arunachalam, 2020), amely a citromsavhoz hasonlóan (Möschner et al., 2009, Li et al., 2023) a cement termikus viselkedését is karakterisztikusan megváltoztatja. Ezért a cikkben bemutatott, új cementazonosítási módszerünket *bórsavval kombinált féladiabatikus kalorimetriaként* említjük.

3. ANYAGOK ÉS MÓDSZEREK

Az általunk elsődlegesen vizsgált cementek a DDC Beremendi Gyárában gyártott hat különböző cement, (i) háromféle portlandcement: CEM I 52,5 N, CEM I 42,5 N, CEM I 32,5 N-LH és (ii) háromféle kompozit-portlandcement: CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N, CEM II/B-M (V-LL) 32,5 N és CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R. A cementek jelében a CEM I jelölés a portlandcementre, CEM II jelölés a kompozit-portlandcementre utal, valamint az ezt követő A vagy B jelölés a cement klinker tartalmára utal. Portlandcementek esetében a klinkertartalom 95-100%, míg a kompozit-portlandcementek 80-94% (A), ill. 65-79% (B) klinkert tartalmaznak. Az M a kompozit-portlandcementeket jelöli, amelyeknél zárójelben meg kell adni a klinker mellett lévő főalkotórészeket, jelen esetben V (savas pernye) és LL (mészke, max. 0,20% szervesszén-tartalommal). Ezt követi a szilárdsági osztály (32,5; 42,5; vagy 52,5) és a szilárdulási ütem (N: normál, R: gyors), végül pedig az LH jelölés a kis hőfejlesztésre utal (max. 270 J/g 7 napos korban; MSZ EN 197-1:2011). A többi vizsgált cement a Holcim CEM

I 52,5 R, CEM II/B-LL 32,5 R és a CEM III/A 32,5 N, valamint a Danucem CEM I 42,5 R, CEM II/A-LL 42,5 R, ill. a CEM III/A 32,5 N típusú cementjei.

A féladiabatikus kalorimetrikus azonosítási vizsgálathoz a pontos mérések érdekében szükség van a lehető legtöbb körülmény, különösen a hőfejlődést befolyásoló paraméterek szabványosítására. Ebből kifolyólag a laboratórium és minden felhasznált eszköz hőmérsékletét 20 ± 2 °C-on tartottuk, míg a cementek, a keveréshez használt, 0,2 g pontossággal előre kimért ioncserélt víz, valamint az 1 m/m% bórsav oldat hőmérsékletét $20 \pm 0,1$ °C-on tartottuk egy Memmert IPP 110 hűtött inkubátor segítségével. A keverést 270 s-en keresztül végeztük egy szabványos Controls 65-L0502 típusú keverőgéppel, amellyel $v/c = 0,29$ tényezőt állítottunk be. A cementpép hőmérséklet változását, valamint a laboratórium hőmérsékletének állandóságát egy COMET M1200 típusú adatgyűjtővel és K típusú (Ni-Cr/Ni-Al) termoelemekkel követtük.

Az elkészített cementpépből egy polipropilén főzőpohárba mértünk 1800 ± 1 g-ot, amelyet egy polisztirol kaloriméterbe helyeztünk, ahol a hőmérsékletet 5 perces időközönként rögzítettük. A cement típusok hőfejlődési görbéit és az abból származtatott differenciális görbéket értékeljük.

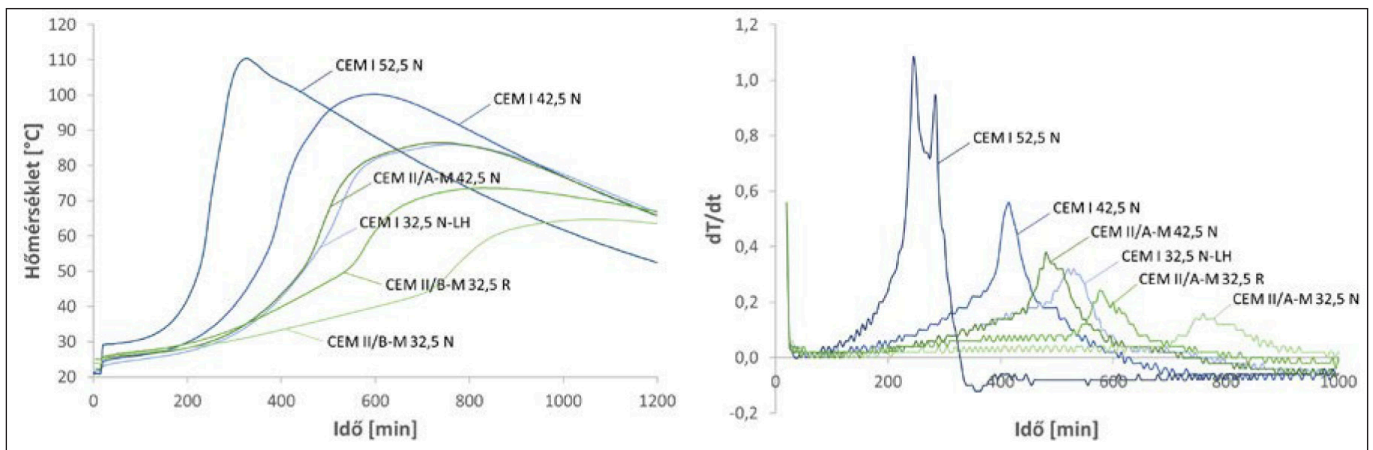
Tanulmányunk célja a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia működéséhez szükséges CEM I 42,5 N típusú cement azonosítása a DDC beremendi gyárából származó többi cementtípus között, amelyhez kifejlesztettük a bórsavval kombinált fél-adiabatikus kalorimetrikus módszert, savas feltárással kiegészítve, valamint megvizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát más, az építőiparban gyakran előforduló cementtípusokra is.

4. MÉRÉSI EREDMÉNYEK

4.1 Beremendi cementek azonosítása kalorimetrikus módszerrel

A vizsgálatok során három párhuzamos méréssel felvettük a beremendi cementek hőfejlődési profilját (3. ábra), ahol kék színnel a portlandcementek (CEM I), zölddel a kompozit-portlandcementek (CEM II/A-M, B-M) hőfejlődését jelöltük. Vizsgálataink eredményeképpen megállapítottuk, hogy a legtöbb cement azonosítható a következő adatok ismeretében: a hidratációs hőfejlődés maximális hőmérsékleti értéke (T_{max}), a maximális hőmérsékleti érték megjelenéséig eltelt idő ($\Delta t_{T_{max}}$), a differenciális görbe maximuma (a hőfejlődési görbe inflexiós pontja) megjelenéséig eltelt idő (differenciális idő, Δt_{diff}) és a csúcs intenzitása (dT/dt). Ugyanakkor a CEM I 32,5 N-LH portlandcement és a CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N kompozit-portlandcement hőfejlődési görbéi nagy hasonlóságot mutatnak egymással (3. ábra; 4. és 5. táblázat), de a derivált görbéik némileg elkülönülnek.

További lehetséges szétválasztási módszerként az általunk jelen tanulmányban vizsgált beremendi cementtípusokat savas feltárásnak vetettük alá, az MSZ CEN/TR 196-4 szabvány 6.2.4.4 pontja szerint: egy fél literes laboratóriumi üveget megtöltöttünk 120 ml ioncserélt vízzel, majd folyamatos keverés mellett hozzáadtunk 1,000 g vizsgálandó cementet. Öt perc kevertetés után lassan hozzáadagoltuk az 1:9 hígítású salétromsavat, majd a keverést további harminc percig folytattuk. A három beremendi tiszta portlandcementen, valamint a három beremendi kompozit-portlandcementen végzett savas feltárással vizsgálat alapján megállapítottuk, hogy az oldat színében

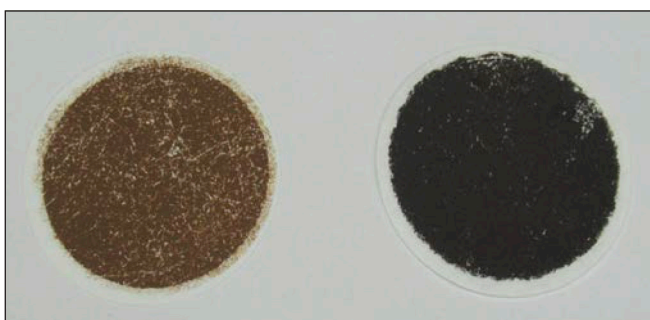


3. ábra: A DDC Beremendi Gyárában gyártott cementtípusok hőfejlődési görbéi (balra) és azok első deriváltjai (jobbra)

bekövetkezett változás, valamint a leszűrt oldat oldhatatlan maradékának színe alapján a beremendi cementek két csoportra oszthatók: portland- és kompozit-portlandcementekre. A savas feltárást követően a portlandcementek oldata barna, a kompozit-portlandcementek (V-LL: savas pernye és mészkőliszt) esetében szürke elszíneződést mutatott (4. ábra), amely az oldatban lebegő oldhatatlan szemcséknek köszönhető. Szűrést (0,45 mikrométer) követően a szűrlet színtelen, az oldhatatlan maradék színes. Két cement, a CEM I 32,5 N-LH és a CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N esetében a szűrlet, ill. az oldhatatlan maradék (5. ábra) összetételét tovább vizsgáltuk induktív



4. ábra: A CEM I 32,5 N-LH (balra) és a CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N (jobbra) salétromsavas oldás után



5. ábra: A híg salétromsavas oldatok oldhatatlan maradékai, CEM I 32,5 N-LH (balra), CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N (jobbra)



6. ábra: A mágneses keverőbotra tapadt vaspor

csatolású plazma tömegspektrometria (ICP-MS) vizsgálat segítségével. A vizsgálathoz az oldhatatlan maradékot tömény salétromsav és sósav keverékével, mikrohullámú feltárási készülékben kellett feltárni.

A híg salétromsavval feltárt oldat, valamint az oldhatatlan maradék ICP-MS vizsgálati eredményei (3. táblázat) alapján a barna elszíneződést vas-oxid okozza, míg a fekete oldhatatlan maradék mágnesezhetősége alapján fém-vasra (6. ábra) és valószínűsíthetően a pernye széntartalmára utal. Mindenesetre a vizsgált három portlandcement és három (V-LL) kompozit-portlandcement a savas feltárást követő elszíneződés alapján egyértelműen elkülöníthető. A híg salétromsavas feltárást a kalorimetrikus azonosítási módszer kiegészítő módszerének tekinthetjük. A továbbfejlesztett, bórsavval kombinált módszert a következő fejezetben ismertetjük.

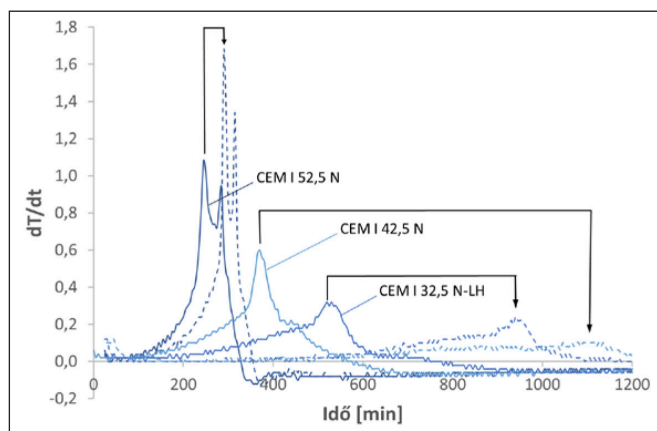
4.2 Beremendi cementek azonosítása bórsavval kombinált kalorimetrikus módszerrel

Előzetes vizsgálataink szerint a bórsav kötőképesítő hatása miatt a differenciális görbék az adott cementre jellemző mértékben tolódnak el egymástól, ezért kidolgoztunk egy bórsavval kombinált kalorimetrikus módszert a cementtípusok pontosabb azonosítására.

A féladiabatikus kalorimetriával végzett cementazonosítás pontosítása és még megbízhatóbbá tétele érdekében a kalorimetrikus méréseket bórsavval kombinálva is elvégeztük: az ioncserélt vizes cementpépekhez hasonlóan $v/c = 0,29$ víz-ce-

3. táblázat: A híg salétromsavval feltárt CEM I 42,5 N-LH és a CEM II/A-M 42,5 N típusú cementek ICP-MS vizsgálati eredményei [mg/g cement]

Minta	Na	K	Mn	Fe	Ca	Mg	Al
CEM I 32,5 N-LH oldat	9,03	8,86	1,83	20,73	386,49	8,59	24,30
CEM II/A-M 42,5 N oldat	2,22	7,29	2,21	17,49	346,33	6,59	23,41
CEM I LH oldh. maradék	0,08	0,05	0,94	0,23	0,17	0,06	0,19
CEM II/A-M oldh. maradék	0,75	0,44	0,05	2,57	0,92	0,33	3,00



7. ábra: A beremendi portlandcementek hőfejlődésének differenciális görbéi

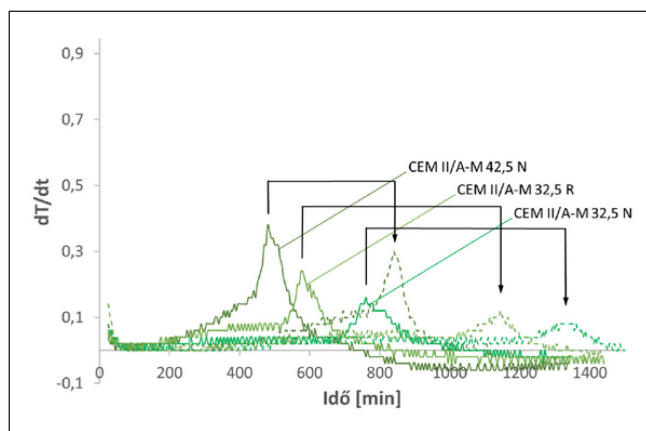
ment tényezővel dolgoztunk, ahol a keverővíz helyett 1 m/m%-os bórsav oldatot használtunk fel. A beremendi portlandcementek differenciális diagramjait a 7. ábra mutatja. Folytonos vonal jelzi az ioncserélt vízzel kevert minták görbéit, míg a bórsav felhasználásával készült keverékek görbéit szaggatott vonallal jelöltük. A termikus mérések eredményeit, amelyek három párhuzamos mérésből származnak, a 4. táblázatban foglaltuk össze, amely alapján annak ellenére meghatározható a vizsgált cement típusa, hogy pl. éppen a CEM I 42,5 N típusú cement diffúz bórsavas differenciális csúccsal rendelkezik. A CEM I 52,5 N típusú cementet a hirtelen nagy hőfejlődés azonosítja, amely a többi vizsgált cementtől eltérő módon nem csökkent bórsav hatására, sőt a differenciális görbe intenzitása nagyobb, mint a vízzel készült keveréké.

4. táblázat: A beremendi portlandcementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM I 52,5 R	víz	110	325	245, 285	1,08, 0,94
	bórsavas	111	350	290, 315	1,66, 1,34
CEM I 42,5 N	víz	101±2	600±17	405±11	0,58±0,02
	bórsavas	70±2	1180±66	1050-1110	0,10±0,00
CEM I 32,5 N-LH	víz	86±1	728±19	513±25	0,32±0,00
	bórsavas	80±4	1125±88	943±3	0,21±0,03

5. táblázat: A beremendi kompozit-portlandcementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM II/A-M (V-LL) 42,5 N	víz	83±4	713±8	490±11	0,36±0,02
	bórsavas	77±7	1038±36	950±15	0,24±0,07
CEM II/B-M (V-LL) 32,5 R	víz	78±5	803±25	545±33	0,27±0,03
	bórsavas	62±7	1520±204	1808±30	0,10±0,02
CEM II/B-M (V-LL) 32,5 N	víz	65±2	963±80	715±50	0,16±0,01
	bórsavas	58±10	1430±88	1295±61	0,09±0,01

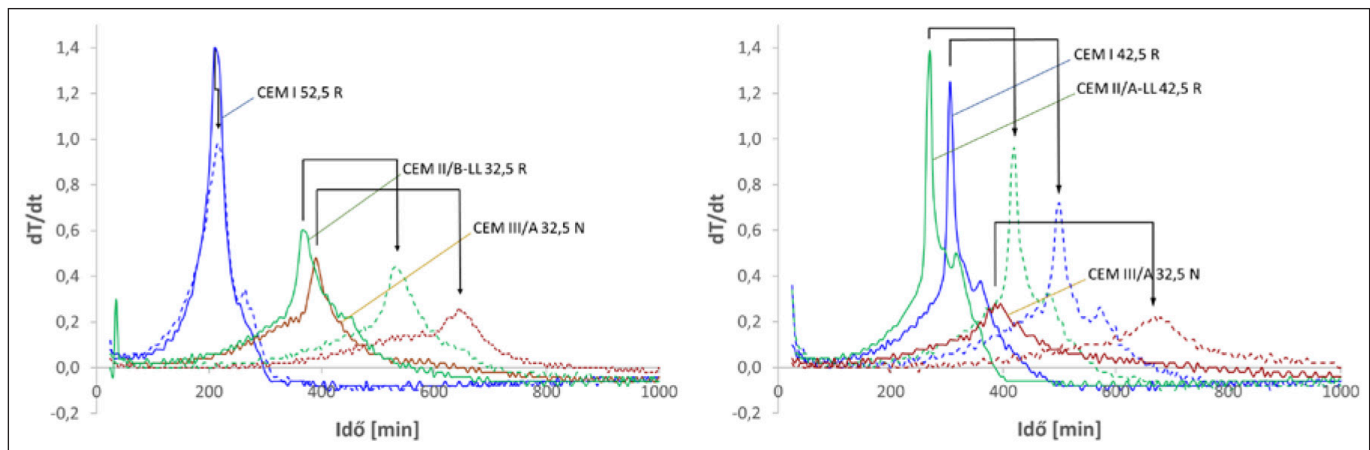


8. ábra: A beremendi kompozit-portlandcementek hőfejlődésének differenciális görbéi

A beremendi kompozit-portlandcementek azonosítását szintén elvégeztük a bórsavval kombinált termikus módszerrel. Ezekben az esetekben a kisebb hőfejlődés miatt a bórsavval készült keverékek görbéi ellapult, diffúz csúcsokat eredményeztek (8. ábra), ugyanakkor a vizsgált cementek a már említett termikus paraméterek alapján (5. táblázat) egyértelműen megkülönböztethetők egymástól.

4.3 Más forrásból származó cementek termikus azonosítása

Az előző pontokban felvázolt, bórsavval kombinált féladiabatikus kalorimetrikus módszer segítségével megvizsgáltuk a módszer alkalmazhatóságát más, a rendel-



9. ábra: A Holcim (balra) és a Danucem (jobbra) által gyártott cementek hőfejlődésének differenciális görbéi

kezésünkre álló cementek esetében is. Ezeket a méréseket elvégeztük a Holcim CEM I 52,5 R, CEM II/B-LL 32,5 R és a CEM III/A 32,5 N, valamint a Danucem CEM I 42,5 R, CEM II/A-LL 42,5 R, ill. a CEM III/A 32,5 N típusú cementjeivel is. A 9. ábrán látható differenciális görbéken a portlandcementeket (CEM I) kék színnel, a mészkő-portlandcementeket (CEM II/A-LL) zölddel és a kohósalak cementeket (CEM III) barna színnel tüntettük fel. A szaggatott vonalak a bórsavas keveréket jelölik.

Látható, hogy a differenciális idő (Δt_{diff}) és a csúcshintenzitás (dT/dt) már önmagában is elég információt nyújthat az azonosításra, de a bórsavas eltolódás mértékéből (6. és 7. táblázat) még nagyobb biztonsággal lehet azonosítani a vizsgált cementtípusokat. Érdekes tény, hogy az általunk vizsgált összes cement közül a Holcim CEM I 52,5 R típusú cementje volt az egyetlen, amelynek minimális volt a bórsavas eltolódása.

5. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A Paksi Atomerőműben a Radioaktív Hulladék Cementező Technológia a cementpép készítése során a CHEMCOMEX a.s. által kidolgozott receptúrákat alkalmazza, amelyek meg-

határozott cementtípust írnak elő minden egyes folyékony radioaktív hulladéktípus vonatkozásában. Mivel a receptúrák nagyon érzékenyek a kötőanyagok minőségére, azokat minden szállítmány esetében ellenőrizni kell. A cementek minőségét külső intézmény ellenőrzi, amely vizsgálatok hosszú időt vesznek igénybe, ezért kifejlesztettünk egy egyszerű, gyors és olcsó kiegészítő vizsgálati módszert a receptúrák cementtípusának azonosítása céljából.

Jelen tanulmányunkban a Duna-Dráva Cement Kft. Bere-mendi Gyárában gyártott tiszta portlandcementeket, valamint kompozit-portlandcementeket azonosítottuk a bórsavval kombinált féladiabatikus kalorimetriás módszerrel. A módszer segítségével szabványos körülmények között, egy nap alatt azonosítható a beérkezett cementminta egy kaloriméter és hőmérséklet adatgyűjtő segítségével. A mérés egyetlen feltétele a méréshez felhasznált anyagok és eszközök temperálása, valamint a precíz munkavégzés.

Továbbá bemutattuk, hogy méréseink alapján a módszer más gyártóktól származó cementtípusok azonosítására is alkalmas, illetve, mivel a cementek szilárdsági osztályai között nincs jól definiált határ, megfelelő lehet az egyes gyártási sarzsok azonosítására, az őrlési finomság és az aktivitás ellenőrzésére is.

6. táblázat: A Holcim által gyártott, vizsgált cementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM I 52,5 R	víz	108±1	298±23	490±11	1,35±0,05
	bórsavas	108±3	298±19	218±25	1,14±0,18
CEM II/B-LL 32,5 R	víz	91±3	543±14	365±6	0,58±0,02
	bórsavas	83±2	860±6	688±3	0,51±0,01
CEM III/A 32,5 N	víz	83±1	645±17	380±11	0,45±0,03
	bórsavas	76±1	900±66	698±58	0,27±0,01

7. táblázat: A Danucem által gyártott cementek féladiabatikus kalorimetriával mért hőfejlődési eredményei

Cement típusa	Keverővíz	T_{max} [min]	$\Delta t_{T_{max}}$ [min]	Δt_{diff} [min]	dT/dt
CEM I 42,5 R	víz	105±2	415±28	293±17	1,29±0,08
	bórsavas	102±3	680±17	510±11	0,68±0,04
CEM II/A-LL 42,5 R	víz	105±2	385±6	260±11	1,37±0,01
	bórsavas	104±2	545±17	408±19	0,99±0,10
CEM III/A 32,5 N	víz	75±1	750±22	400±17	0,27±0,01
	bórsavas	75±4	1000±17	670±6	0,21±0,01

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnénk köszönetünket kifejezni Sas László János kutatás és fejlesztési vezető úrnak (DDC), Khirer Attila laboratórium vezető úrnak (DDC) és Kiss Gábor minőségbiztosítási vezető úrnak (HOLCIM) a vizsgált cementmintákért és a mérési eredményekért.

Ezen kívül szeretnénk megköszönni Dr. Gábel Viktóriának (Miskolci Egyetem), Dr. Szilágyi Tamásnak (Danucem) és Laczkó Lászlónak (SZIKKTI) a szakmai téren nyújtott értékes tanácsait.

Végül, de nem utolsó sorban köszönjük Tamás Péternek és Strasszer Zsoltnak az öntőformák átalakítását, és a kiszaluzáshoz szükséges eszközök megtervezését, valamint a Paksi Atomerőmű Radiokémiai, Üzemi és Minőségellenőrzési Laboratórium és a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem munkatársainak a műszeres analitikai mérések eredményeit.

7. HIVATKOZÁSOK

Abonyi, J.; Tamás, F. D.; Tritthart, J. (2004), "Exploratory data analysis of trace elements in clinker" *Advances in cement research*, 16(1), pp. 9-15, <https://doi.org/10.1680/adcr.2004.16.1.9>

Aldridge, L. P. (1982), "Accuracy and precision of an X-ray diffraction method for analysing Portland cements", *Cement and Concrete Research*, 12(4), pp. 437-446, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(82\)90058-8](https://doi.org/10.1016/0008-8846(82)90058-8)

ASTM C1308-08(2017) Standard Test Method for Accelerated Leach Test for Diffusive Releases from Solidified Waste and a Computer Program to Model Diffusive, Fractional Leaching from Cylindrical Waste Forms, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org, <https://doi.org/10.1520/C1308-08R17>

Ballim, Y.; Graham, P. C. (2009), "The effects of supplementary cementing materials in modifying the heat of hydration of concrete", *Materials and Structures*, 42(6), pp. 803-811, <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9425-3>

Baranyi A.; Kopecskó K.; Feil F.; Grič, L. (2021), „A Paksi Atomerőmű hulladékaiknak cementbe ágyazása, és a technológiához tartozó vizsgálat laboratórium kialakítása”, *Vasbetonépítés*, 23(2), pp. 31-40, <https://doi.org/10.32969/VB.2021.2.2>

Baranyi A.; Kopecskó K.; Csetényi L. (2023), „Portlandcementek kötési idejének meghatározása feládiabatikus kalorimetriás módszerrel”, *Vasbetonépítés*, 25(4), pp. 106-111, <https://doi.org/10.32969/VB.2023.4.2>

Boháč, M.; Palou, M.; Novotný, R.; Másilko, J.; Všianský, D.; Staněk, T. (2014), "Investigation on early hydration of ternary Portland cement-blast-furnace slag–metakaolin blends", *Construction and Building Materials*, 64, pp. 333-341, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.04.018>

Bullard, J. W.; Jennings, H. M.; Livingston, R. A.; Nonat, A.; Scherer, G. W.; Schweitzer, J. S.; Scrivener, K. L.; Thomas, J. J. "Mechanisms of cement hydration" (2011), *Cement and Concrete Research*, 41(12), 1208-1223, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.09.011>

Chung, C.-W.; Kim, J.-H.; Lee S.-J. (2016), "The Use of Semi-Adiabatic Calorimetry for Hydration Studies of Cement Paste", *Journal of the Korean Institute of Building Construction*, 16(2), 185-192 <https://doi.org/10.5345/jkibc.2016.16.2.185>

Csetényi, L. J.; Glasser, F.P. (1995), "Borate retardation of cement set and phase relations in the system Na₂O-CaO-B₂O₃-H₂O", *Advances in Cement Research*, 7(25), pp. 13-19, <https://doi.org/10.1680/adcr.1995.7.25.13>

Davraz, M. (2010), "The Effects of Boron Compounds on the Properties of Cementitious Composites", *Science and Engineering of Composite Materials*, 17(1), pp. 1-18, <https://doi.org/10.1515/SECM.2010.17.1.1>

Double, D. D.; Hellawell, A.; Perry, S., J. (1978), "The hydration of Portland cement", *Proceedings of The Royal Society*, 359(1690), pp. 435-451, <https://doi.org/10.1098/rspa.1978.0050>

Goguel, R. L.; St. John, D.A. (1993) "Chemical identification of Portland Cements in New Zealand Concretes. I trace element chemistry", *Cement and Concrete Research*, 23(1), pp. 59–68, [https://doi.org/10.1016/0008-8846\(93\)90136-W](https://doi.org/10.1016/0008-8846(93)90136-W)

Graham, I. J.; Goguel, R. L.; St John, D. A. (2000), "Use of strontium isotopes to determine the origin of cement in concretes: Case examples from New Zealand", *Cement and Concrete Research*, 30(7), pp. 1105-1111, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(00\)00248-9](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00248-9)

Kazlagić, A.; Vogl, J.; Gluth, G. J. G.; Stephan, D. (2021), "Provenancing of cement using elemental analyses and isotope techniques – the state-of-the-art and future perspectives", *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 36, pp. 2030-2042, <https://doi.org/10.1039/d1ja00144b>

Khelifi, S.; Ayari, F.; Tiss, H.; Chehimi, D. B. H. (2017), "X-ray fluorescence analysis of Portland cement and clinker for major and trace elements: ac-

curacy and precision", *Journal of the Australian Ceramic Society*, 53(2), pp. 743-749, <https://doi.org/10.1007/s41779-017-0087-x>

Klemczak, B.; Batog, M. (2016), "Heat of hydration of low-clinker cements", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 123(2), 1351-1360, <https://doi.org/10.1007/s10973-015-4782-y>

Laczkó, L. (2024), „Kiegészítőanyagok hatása a cementek és habarcsok tulajdonságaira”, *Építőanyag, Első Magyar Építőanyag-Ipari Konferencia cikkszerű összefoglalója*, 11, pp. 10-14

Li, P.; Chen, D.; Jia, Z.; Li, Y.; Li, S.; Yu, B. (2023), "Effects of Borax, Succrose, and Citric Acid on the Setting Time and Mechanical Properties of Alkali-Activated Slag", *Materials*, 16(8), pp. 3010, <https://doi.org/10.3390/ma16083010>

Mirello, D.; Barca, D.; Bloise, A.; Ciarallo, A.; Gino, M.; Crisci, G. M.; De Rose, T.; Gattuso, C.; Gazineo, F.; La Russa, M. F. (2010), "Characterisation of archaeological mortars from Pompeii (Campania, Italy) and identification of construction phases by compositional data analysis", *Journal of Archaeological Science*, 37(9), pp. 2207-2223, <https://doi.org/10.1016/j.jas.2010.03.019>

Möschner, G.; Lothenbach, B.; Figi, R.; Kretzschmar, R. (2009) "Influence of citric acid on the hydration of Portland cement", *Cement and Concrete Research*, 39(4), pp. 275-282, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2009.01.005>

MSZ EN 196 Cement vizsgálati módszerek, Szabványsorozat

MSZ EN 196-3: 2017 Cementvizsgálati módszerek. 3. rész: A kötési idő és a térfogat-állandóság meghatározása

MSZ EN 197-1:2011 Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei

MSZ EN 12390-3:2019 A megszilárdult beton vizsgálata. 3. rész: A próbatestek nyomószilárdsága

MSZ CEN/TR 196-4:2008 Cementvizsgálati módszerek. 4. rész: Az alkotórészek mennyiségi meghatározása

MVM Paksi Atomerőmű Zrt. (2023), „Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Radioaktív hulladékaiknak kezelése, tárolása és elhelyezése”, Éves jelentés 2023

Nocuń-Wczelik, W.; Stok, A.; Konik, Z. (2010), "Heat evolution in hydrating expansive cement systems", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 101, pp. 527-532, <https://doi.org/10.1007/s10973-010-0846-1>

Potgieter-Vermaak, S. S.; Potgieter, J. H.; Worobiec, A.; van Grieken, R.; Marjanovic, L.; Moeketsi, S. (2007), "Fingerprinting of South African ordinary Portland cements, cement blends and mortars for identification purposes – Discrimination with starplots and PCA", *Cement and Concrete Research*, 37(6), pp. 834-843, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2007.02.013>

Rahhal, V. F.; Irassar, E. F.; Trezza, M. A.; Bonavetti, V. L. (2012), "Calorimetric characterization of Portland limestone cement produced by intergrinding", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 109, pp. 153-161, <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1575-9>

Rajadesingu, S.; Arunachalam, K. D. (2020), "Hydration Effect of Boric Acid on the Strength of High-Performance Concrete (HPC)", *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 912(6), pp. 062073, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/912/6/062073>

Scrivener, K. L.; Juilland, P.; Monteiro, P. J. M. (2015), "Advances in understanding hydration of Portland cement", *Cement and Concrete Research*, 78, pp. 38-56, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2015.05.025>

Scrivener, K. L.; Nonat A. (2011), "Hydration of cementitious materials, present and future", *Cement and Concrete Research*, 41, pp. 651-65, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2011.03.026>

Snellings, R. (2016), "X-ray powder diffraction applied to cement", In: Scrivener, K.; Snellings, R.; Lothenbach, B. (ed) *A Practical Guide to Microstructural Analysis of Cementitious Materials*, CRC Press, 108-162, <https://doi.org/10.1201/b19074>

Süssmilch, J.; Grič, L.; Fabián, P.; Tóth-Bodrogi, E.; Nehme, S.; Baranyi, A.; Kopecskó, K. (2022), "Solidification of radioactive evaporator residues with high borate content", *Concrete Structures*, 23, pp. 23-30, <https://doi.org/10.32970/CS.2022.1.4>

Talero, R.; Rahhal, V. (2009), "Calorimetric comparison of Portland cements containing silica fume and metakaolin", *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 96(2), pp. 383-393, <https://doi.org/10.1007/s10973-008-9096-x>

Tamás, F. D.; Abonyi, J.; Borszédi, J.; Halmos, P. (2002), "Trace elements in clinker: II. Qualitative identification by fuzzy clustering", *Cement and Concrete Research*, 32(8), pp. 1325-1330, [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(02\)00797-4](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(02)00797-4)

Varas, M. J.; de Buergo, M. A.; Fort, R. (2005), "Natural cement as the precursor of Portland cement: Methodology for its identification", *Cement and Concrete Research*, 35(11), 2055-2065, <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2004.10.045>

Völker, T.; Millar, S.; Strangfeld, C.; Wilsch, G. (2020), "Identification of type of cement through laser-induced breakdown spectroscopy", *Construction and Building Materials*, 258, pp. 120345, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120345>

Xu, Q.; Hu, J.; Ruiz, J. M.; Wang, K.; Ge, Z. (2010), "Isothermal calorimetry tests and modeling of cement hydration parameters", *Thermochimica Acta*, 499, pp. 91-99, <https://doi.org/10.1016/j.tca.2009.11.007>

Yu, J.; Li, G.; Leung, C. K. Y. (2018), "Hydration and physical characteristics of ultrahigh-volume fly ash-cement systems with low water/binder

ratio”, *Construction and Building Materials*, 161, pp. 509-518, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.104>

Zhang, Y.; Ji, Y.; Li, J.; Gao, F.; Huang, G. (2019) “Effect of retarders on the early hydration and mechanical properties of reactivated cementitious material”, *Construction and Building Materials*, 212, pp. 192-201, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.323>

Baranyi Attila (1978) okl. vegyész (2003), okl. kémia szakos tanár (2005), betontechnológus szakmérnök (2021). Korábban radioanalitikával, majd folyékony radioaktív hulladékok kezelési technológiájának fejlesztésével foglalkozott. Kidolgozta a Paksi Atomerőműben működő Cementezett Hulladékvizsgáló Laboratórium mérési módszereit és dokumentációs rendszerét. Jelenleg a folyékony radioaktív hulladékok szilárdításával kapcsolatos kutatásokkal foglalkozik.

Dr. Kopecskó Katalin (1961) okl. vegyészmérnök (BME, Vegyészmérnöki Kar, 1990), okl. betontechnológus szakmérnök (2004), PhD (2006), egyetemi docens a BME Geotechnika és Mérnökgeológia Tanszékén. Fő érdeklődési területei: építőanyagok és beton tartóssága, anyagvizsgálat és fázisátalakulások. A *fib* TG7.8, a RILEM TC 302-CNC, a *fib* Magyar Tagozatának, valamint az MSZT/MB 102 „Cement és mész” Nemzeti szabványosító műszaki bizottság tagja.

IDENTIFICATION OF CEMENT FOR THE RADIOACTIVE WASTE CEMENTATION TECHNOLOGY BY SEMI-ADIABATIC CALORIMETRY COMBINED WITH BORIC ACID

Attila Baranyi – Katalin Kopecskó

The Cementation Technology at The Paks Nuclear Power Plant solidifies the liquid radioactive waste using cementitious materials. Such cement paste is poured into a steel container containing solid radioactive waste, and then the prepared containers can finally be deposited after a verification process.

The cementation recipes may be changed for each type of liquid radioactive waste and the mixtures can be sensible for the quality of the binders, therefore the types of cement must be identified for each shipment. Since the requirements according to product standards only serve to verify the basic characteristics of the given cement type and are time-consuming, a simple and quick additional identification method is needed to check the application properties relevant to the application field before the cementing process begins.

In this study, various types of cement were measured, that produced by Beremend Cement Plant of Duna Dráva Cement Ltd. (DDC), Holcim Hungary Ltd. and Danucem Ltd. As a result of our measurements, we identified the CEM I 42.5 N type cement from other types of cement from Beremend Cement Plant required for the continuous and reliable operation of the Cementation Technology using semi-adiabatic calorimetric and acidic digestion methods. In addition, the applicability of this method in the construction industry was also investigated for other commonly used cement types.