

# EGYEDI FÉLADIABATIKUS KALORIMÉTER FEJLESZTÉSE

## DEVELOPMENT OF AN UNIQUE SEMI-ADIABATIC CALORIMETER

*Domonyi Erzsébet, tanársegéd, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar,*

*Dr. Barányi István, adjunktus, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar*  
*Prof. Dr. Réger Mihály Antal, egyetemi tanár, Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és*  
*Biztonságtechnikai Mérnöki Kar*

### ABSTRACT

In this article the implementation of a custom-developed calorimeter and multi-channel data logger that can be used to perform standard measurements with commercially available low-cost devices has been presented to measure the heat development of early aged concrete.

### 1. BEVEZETÉS

A tömegbetonok korai kötési szakaszában a kötés közben lezajló kémiai folyamatok miatt számítani kell a repedések kialakulásának lehetőségére. A cement hidratációs hő okozta térfogatváltozás a megszilárdult beton teljesítőképességét nagy mértékben csökkentheti. A cementek tulajdonságaik alapján csoportokba vannak sorolva, de bányászati helytől és gyártótól függően is különbözhet az azonos csoportba sorolt cementek hőtermelése.

A repedés kialakulásának elkerülésére alkalmazott egyik legelterjedtebb módszer a cement kötési exoterm folyamatainak kaloriméterrel történő vizsgálata, majd ezeknek az adatoknak felhasználása például vége-selemes modellek bemeneteként [1].

Chang-keun Lim és mtsai [2] szerint a repedésveszély meghatározása vége-selemes modellezéssel költséghatékonyan oldható meg. Cikkükben adiabatikus és féladiabatikus modellt használnak a beton repedési hajlamának vizsgálatára.

Gibbon és mtsai [3] a beton hőtermelő folyamatát laboratóriumi mérés-sorozattal vizsgálták, amelyhez egyedi fejlesztésű kalorimétert használtak. Az így kapott eredményeket vége-selemes modell bemeneteként alkalmazták.

A hidratációs hő minden cement típus esetében jellemző adat, így ennek mérése kaloriméterrel valósul meg. Több kutatás is irányult arra, hogy milyen berendezéssel oldható meg a vizsgálat, amelyet egyébként szabvány is rögzít. Az egyik legelterjedtebb megoldás az úgynevezett coffee cup kaloriméter használata [4], [5].

J. Young [6] cikkében bemutatja a coffee cup kaloriméter sok esetben elhanyagolt hőmérséklet kompenzációs modell jelentőségét és a szigetelés hő-tani tulajdonságainak befolyásoló hatását féladiabatikus mérés megvalósítása esetén.

Hazánkban a cement hidratációs hőjének vizsgálatát és berendezés igényét az MSZ EN 196-9:2010 szabvány [7] írja le. A szabvány féladiabatikus módszert és a hozzá tartozó berendezés jellemzőit mutatja be.

### 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A cement hidratációs hőjét mérő kaloriméter egy hőszigetelő és párazáró dugóval ellátott hőszigetelt tartályból, valamint a hozzá tartozó hőmérsékletet mérő és mérési adatgyűjtő egységekből áll.

#### 2.1. A hőszigetelt tartály kialakítása

A hőszigetelt tartály a minta tárolására alkalmas belső habarcstartályból, illetve az azt körülvevő hőszigetelő rétegből áll. A habarcstartály esetén fontos szempont a többszöri felhasználás lehetősége, hiszen a mérés végére a friss habacs minta megszilárdul.

A habarcstartály másik fő követelménye a vízzárás biztosítása. A vízvesztés a kötési folyamatokat nagymértékben befolyásolja. A fentebb említett két alapkövetelmény szerint célszerű forgásszimmetrikus tartályokat használni, melyek közül a hengeres kivitelre esett a választás.

A méréshez szükséges keverék szabványhomokot, cementet és ionmentesített vizet tartalmaz, amely mennyiségek az 1. sz. táblázatban találhatók.

1. táblázat. A habarcs keverék EN 196-1 szabvány szerint

Anyag	Tömeg [g]
cement	360±0,5
szabványhomok	1080±1
ionmentesített víz	180±0,5
összesen	1620

Mivel a keverőedénybe került anyagok maradéktalanul nem nyerhetők ki, a habarcs mennyisége több kell legyen a vizsgálathoz szükséges 1575 g-nál. A szabványhomok mennyisége 1500 g, amelyben a frakciók aránya adott, így a habarcsstartály térfogatát a fenti mennyiséghez kellett illeszteni. A méréshez szükséges 1575 ±1 g tömegű keverékre van szükség, ehhez igazodva az alapanyagok mennyisége a 2. sz. táblázatban látható.

2. táblázat. Alapanyagok arányos átszámítása

Anyag	Szabványban előírt mennyiség [g]	Szabványhomokhoz viszonyított mennyiség [g]	Mennyiség a keverékben [g]
cement	360±0,5	500	350
szabványhomok	1080±1	1500	1050
ionmentesített víz	180±0,5	250	175
összesen	1620	2250	1575

A kapott tömegeből és az anyagok sűrűségéből számított térfogatokat a 3. sz. táblázatban találhatjuk összefoglalva.

3. táblázat. Alapanyagok térfogata

Anyag	Szabványban előírt mennyiség [g]	Sűrűség [g/cm <sup>3</sup> ]	Térfogat [cm <sup>3</sup> ]
cement	350	1,50	230
szabványhomok	1050	1,55	670
ionmentesített víz	175	1,00	175
összesen	1575	-	1075

A keverés után a kapilláris hatások miatt a térfogat várhatóan kisebb lesz. A számításból és kerekítésből adódó hibák elkerülése érdekében a szükséges térfogat 1,2-szeres biztonsági tényezővel került meghatározásra, így a szükséges minimális térfogatot a habarcsstartályra vonatkoztatva 1300 cm<sup>3</sup>.

A habarcsstartó henger kialakításakor elméletileg az alaknak nincs nagy befolyásoló hatása, viszont a habarcsstartó súlypontjában kell a hőmérsékletmérést megvalósítani, így a magasságát közel azonosra vettük a henger alaplappjának átmérőjével, majd meghatároztuk az ajánlott geometriát.

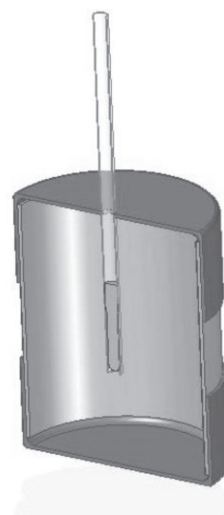
Az eredmények alapján a 110 mm belső átmérőjű, 130 mm magasságú PVC anyagú csőre

esett a választás. A PVC cső mindkét oldalát a hozzá tartozó kupakkal zártuk le.

Az alsó zárókupak vízhatlan rögzítése építési ragasztóval történt. A felső zárókupakon 8 mm-es furat foglal helyet, melyen be lehet vezetni a hőmérsékletmérő érzékelőt. A 8 mm-es furatba illeszkedő műanyag cső – szívószál – segítette a hőmérsékletmérő érzékelő habarcs mintába való bevezetését és tette lehetővé annak mérést követő visszanyerését a megszilárdult habarcsból. A pontosabb hőmérséklet mérés miatt a szívószál ioncserélt vízzel feltöltése biztosította a hővezetést.

A felső kupak és a szívószál esetében vízhatlan plasztikus tömítőanyagot használtunk a keverővíz tartályból való távozásának megakadályozására.

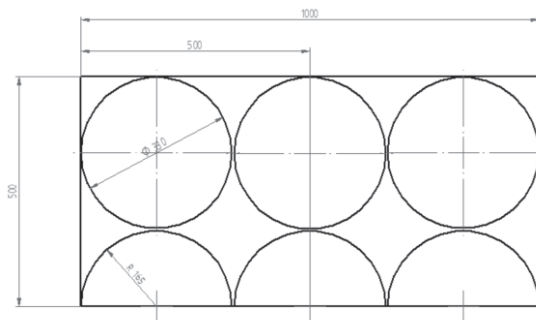
A habarcsstartály esetén kialakult végleges konstrukciót az 1. ábra mutatja be.



1. ábra. A habarcsstartály

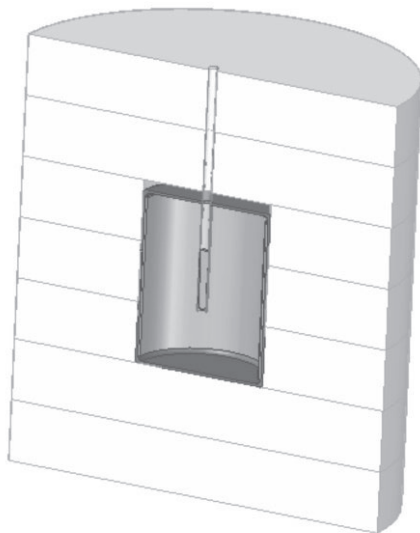
### 2.2. A hőszigetelés kialakítása

A hőszigetelés anyagának kiválasztásakor az anyag hővezetési tényezője a legjellemzőbb adat, ezt követően a megmunkálhatóság és a gazdaságosság volt a rendező elv. A hab hőszigetelő anyagok alapvetően expandált és extrudált módon készülnek. Az expandált polisztirol hab (EPS) és az extrudált polisztirol (XPS) hab hővezetési tényezője közel azonos, azaz  $\lambda=0,038 \text{ W/(mK)}$ . A külső hőszigetelő tartály kialakítására mindkét anyag alkalmasnak mutatkozott. A lépésálló expandált hőszigetelő lap (EPS) megmunkálhatósága kiváló. Az EPS lapok különböző vastagságban kaphatók, a konstrukcióhoz az 50 mm vastagút használtuk. A tartály geometriája szintén hengeres kialakítású lett, amelyben a habarcsstartály elhelyezhető. A külső tartály külső átmérője 330 mm lett, magassága 350 mm. A kereskedelmi forgalomban lévő EPS lapok táblamérete 500 x 1000 mm, a vágási tervet a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra. EPS tábla vágási terve

A külső hőszigetelő tartály végleges kialakításánál a rendező elv az volt, hogy a habarcestartály minden irányból legalább 100 mm-es hőszigetelő réteggel legyen burkolt a féladiabatikus rendszer megvalósításának érdekében, így a kialakult végleges konstrukciót a kaloriméter esetében a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. A kaloriméter metszetben

### 2.3. A hőmérsékletmérés

A hőmérséklet mérésére a szabvány szerint legalább 19 °C és 75 °C közötti hőmérséklet tartománnyal bíró érzékelő szükséges, amely vízálló kell legyen. Ezt a követelményt a PT 100 és PT 1000 platina ellenállás hőmérők kielégítik, viszont napjainkban egyre széleskörűbben elterjedt a digitális hőérzékelők alkalmazása. Ezek az érzékelők egyrésztől sok esetben olcsóbbak, másrésztől egy bemenetre több hőelem is beköthető, mivel minden lekérdezéskor a gyártási azonosítóját is elküldi a szenzor a hőmérséklet és a jelátvitel megfelelőségének ellenőrizhetőségére szolgáló CRC kód mellett.

A kiválasztott szenzor és a PT100-as elven működő érzékelő tulajdonságait a 4. táblázat foglalja össze.

4. táblázat. Hőelemek tulajdonságai

	PT100	DS18B20
Üzemi hőmérséklet	-50°C ... +250°C	-55...125°C
Mérési pontosság	kalibrálás függvénye	-10°C és +85°C között: ± 0.5°C
Kialakítás	3 vezetékes, rozsdamentes acélhüvely, vízálló	vízálló rozsdamentes acélhüvely
Méret	6 x 50 mm	6 x 50 mm
Feszültség tartomány	-	3...5.5V

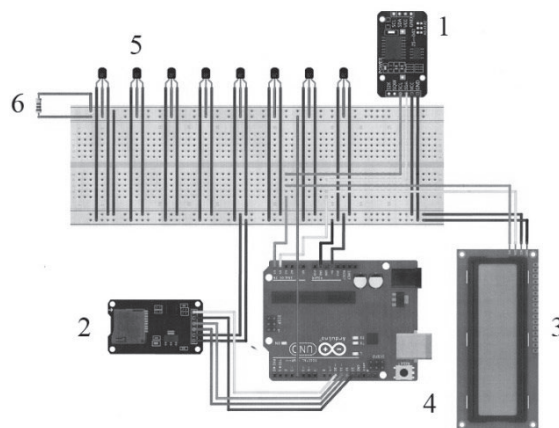
A táblázat szerint a DS18B20 pontossága [7] szerint nem megfelelő, de az egymáshoz kalibrálást különböző állandó hőmérsékletekhez el lehet végezni. Az így felvett hibafüggvény és kompenzáció után a szenzor ismételtősége és reprodukálhatósága a kívánt tartományon belül helyezkedik el.

### 2.3. A mérési adatgyűjtő

A mikroprocesszoros vezérlésű mérési adatgyűjtő kiválasztásakor egyik fő szempont volt, hogy a bemenetek számától függetlenül nagy számú párhuzamos mérést lehessen elvégezni. A digitális hőmérő segítségével a hagyományosan használatos adatgyűjtőkel szemben Arduino Uno segítségével digitális bemenetenként 128 hőmérséklet mérő szenzor lekérdezésére nyílt lehetőség.

A mérési metodikából adódóan habarcsminták számánál kétszeresével több hőelemre van szükség: a minta mellett egy úgynevezett referencia kaloriméteres hőmérsékletmérésre (megkötött habarcs kaloriméteres vizsgálat) és külső hőmérséklet mérésre.

Az adatgyűjtésre alkalmazott kapcsolás első megoldását a 4. ábra mutatja be.

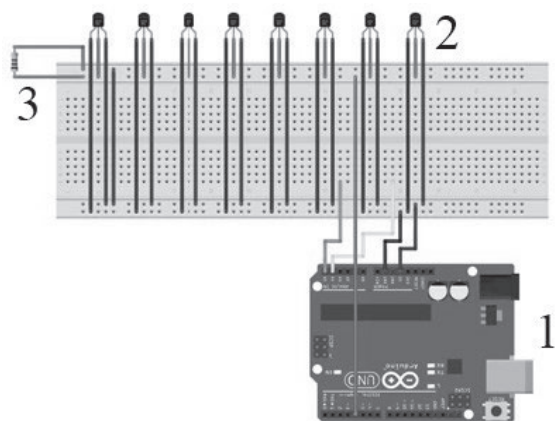


4. ábra. A mérési adatgyűjtő összeállítási rajza

A rendszer részei: 1 - DS3231+AT24C32 RTCM típusú valós idejű memória modul, 2 – MICROSD-M típusú memóriakártya olvasó, 3 - Serial I2C 1602 16×2 Character LCD Module típusú kijelző, 4 – Arduino Uno mikrokontroller, 5 - DS18B20-2M típusú hőmérsékletmérő szenzor, 6 - 4,7 kOhm-os ellenállás.

A fenti összeállítás esetén a mérési időpontok és a hozzá tartozó hőmérsékleti adatok SD kártyára kerültek rögzítése. Az első tesztek alapján – mivel egy mérés tervezett ideje 1 hét – a rendszer a mikrokontroller hobbi célra felhasználása miatt nem volt minden esetben megfelelően stabil működésű, másrésről az adatrögzítés ideje (lekérdezés, fájl megnyitása SD kártyán, adat rögzítése, fájl bezárása) az időmérő modul pontatlanságát okozta, így a mikrokontroller egyes feladatait más eszközzel kellett megoldani.

A mérési adatgyűjtő második és egyben végleges kialakítását az 5. ábra szemlélteti. A rendszer részei: 1 – Arduino Uno, 2 - DS18B20-2M típusú hőmérsékletmérő szenzor, 3 - 4,7 kOhm-os ellenállás. A mikrokontroller feladata egyedül a digitális hőmérők nyers adatainak olvasása és továbbítása a számítógépnek. A további feladatokhoz Matlab programcsomag Arduino panel illesztési lehetőségét használtuk ki. Az adatok, amelyek mátrixos alakban rögzítésre kerültek: mérés sorszáma, lekérdezés időpontja, eltelt idő és hőmérséklet.



5. ábra. A mérési adatgyűjtő összeállítási rajza

A fenti összeállítással a mérések stabilitása nagymértékben nőtt és a lehetséges 128 szenzorból mérésenként 8 szenzorral 10 másodpercenként 168 órán keresztül sikerült adatokat gyűjteni.

### 3. EREDMÉNYEK

A kialakított rendszer lehetőséget nyújt arra vonatkozóan, hogy nem csak laborberendezések segítségével megvalósítható legyen a hőtermelés (vagy bármilyen más kémiai folyamat) hőtani

jellemzése. A kialakított rendszer a kereskedelemben kapható általános célú adatgyűjtőkhöz képest több bemenettel rendelkezik a beszerzési költsége pedig alacsony. A kialakított programvezérlésnek köszönhetően tetszőleges időpontokban lehet leolvasni a szenzorok adatait, szükség esetén az egyes hőmérsékletváltozások (ugrások) érzékelése esetén sűríteni, adott helyeken pedig ritkítani lehet a mérési pontok számát.

Az adatok feldolgozása Matlab segítségével akár nagyszámú (több százazres) mérési pontok és több bemenet mellett is egyszerűen elvégezhető.

### 4. IRODALOM

- [1] B. A. Klemczak: Modeling thermal-shrinkage stresses in early age massive concrete structures – Comparative study of basic models, Archives of civil and mechanical engineering 14, 2014, pp. 721-733.
- [2] Chang-keun Lim, Jin-Keun Kim, Tae-Seok Seo: Prediction of concrete adiabatic temperature rise characteristic by semi-adiabatic temperature rise test and FEM analysis, Construction of Building Materials, Vol. 125, 2016, pp. 679-689.
- [3] Gibbon GJ, Ballim Y.: Laboratory test procedures to predict the thermal behaviour of concrete. J South African Inst Civil Engineers, 1996, 38(3): 21–4 (3rd Quarter).
- [4] A. M. R. P. Bopegedera and K. Nishanthi R. Perera, “Greening” a Familiar General Chemistry Experiment: Coffee Cup Calorimetry to Determine the Enthalpy of Neutralization of an Acid– Base Reaction and the Specific Heat Capacity of Metals, Journal of Chemical Education, 2016, pp. A-F
- [5] Swamy Vandanapu, K. Muthumani: Heat of Hydration and Alkali- Silicate Reaction in Oil Palm Shell Structural Lightweight Concrete, Silicon 12, 2020, pp.1043-1049
- [6] John C. O’C. Young: Coffee Cup Calorimeter Heat Loss Correction, Chem. Educator 2016, 21, 53–62
- [7] MSZ EN 196-1:2010 Magyar Szabványügyi Testület: Cementvizsgálati módszerek-Hidratációs hő. Féladiabatikus módszer. 2010 október.

AZ INNOVÁCIÓS ÉS TECHNOLÓGIAI MINISZTERIUM ÚNKP-20-3 KÓDSZÁMÚ ÚJ NEMZETI KIVÁLÓSÁG PROGRAMJÁNAK A NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS ALAPBÓL FINANSZÍROZOTT SZAKMAI TÁMOGATÁSÁVAL KÉSZÜLT.