



ÓBUDAI EGYETEM  
ÓBUDA UNIVERSITY

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS  
TÉZISFÜZETE

---

DOMONYI ERZSÉBET

# Kritikus infrastruktúrák tömegbeton szerkezeteinek korai repedéskockázata és befolyásoló tényezői

Témavezető: Prof. Dr. Réger Mihály Antal  
Prof. Dr. Zachár András

## Tartalomjegyzék

|   |                                                          |    |
|---|----------------------------------------------------------|----|
| 1 | Summary .....                                            | 3  |
| 2 | A kutatás előzményei .....                               | 4  |
| 3 | Célkitűzések .....                                       | 5  |
| 4 | Vizsgálati módszerek .....                               | 6  |
| 5 | Új tudományos eredmények.....                            | 7  |
| 6 | Az eredmények hasznosítási lehetősége .....              | 9  |
| 7 | Irodalmi hivatkozások listája/ Irodalomjegyzék .....     | 9  |
| 8 | A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények ..... | 15 |
| 9 | További tudományos közlemények .....                     | 16 |

# 1 Summary

During the construction of mass concrete structures, one of the most significant engineering challenges is the management of heat released during cement hydration, with particular regard to the temperature gradient developing between the core and the surface of the structure. This gradient generates internal stresses that can lead to early-age cracking, severely compromising the durability of the concrete. To predict these processes more accurately, I developed a custom-designed calorimeter during my research. The apparatus enables the rapid, cost-effective, and precise laboratory testing of samples. During development, I configured the digital measurement system and determined the exact thermal properties of the calorimeter. The validity of the established mathematical model was verified using statistical methods. As a result of the investigation, I linked the semi-adiabatic model with the theoretical, heat-loss-free (adiabatic) case. Using the defined function and based on the physical characteristics of the mortar, I determined the time-dependent heat production of a CEM III sample per cubic meter. Subsequently, the experimental results were applied as input parameters for a complex Finite Element Analysis (FEA), simulating the behavior of CEM I and CEM III type cements under various environmental and technological conditions. During the numerical investigations: I determined the representative elementary volume (minimum material volume) required for reliable simulation results. I addressed boundary conditions that are often unclearly defined in concrete technology. I simulated winter and summer weather conditions and evaluated the effects of applying supplementary thermal insulation. I specifically examined the characteristics of below-ground concreting. I established that when working in soil, peak temperatures occur earlier than in open-air conditions - a factor that must be considered when designing sequential pouring schedules. The research also extended to the effects of diurnal temperature variation, highlighting that the time of day when concreting begins - especially in summer - can be of critical importance. Selecting an appropriate start time can, in itself, serve as an effective mitigation strategy to reduce the risk of critical cracking. Finally, I analyzed the behavior of reinforced concrete structures, comparing unreinforced models with those containing rebars. While the presence of reinforcing steel had a negligible effect on minimum temperatures, it significantly influenced peak temperatures. I demonstrated that applying a higher volume of reinforcement reduced the maximum internal temperature gradient across all environmental scenarios. This correlation allows for a more accurate prediction of cracking risk during the design phase based on reinforcement density, thereby contributing to safer construction practices.

## 2 A kutatás előzményei

A XXI. században - a víz után - a második legnagyobb mennyiségben felhasznált anyag a beton. Az 1931-36 között felépített Hoover gát több szempontból is meghatározta a szerkezetépítés fejlődését, hiszen a 3,3 millió m<sup>3</sup> beton felhasználásával készült tömegbeton szerkezet több innovációt is hozott a szakmának és ennél is több mérnöki problémát. Ma már az építési projektek döntő százalékánál a beton ill. tömegbeton szerkezetek a meghatározóak. A lakó, kereskedelmi és ipari célú építmények, valamint a közlekedéshez, szolgáltatásokhoz köthető intézmények és védelmi céllal készült létesítmények mindegyike betonozott szerkezetekből készül. Egy-két példát kiragadva: paksi erőmű épületei, Köröshegyi völgyhíd, budapesti metró, MÁV Kórház épületegyüttese.

A lakó-, ipari-, kereskedelmi célú épületek, építmények mellett kiemelten fontos azon műtárgyak létesítési problematikája, melyek a kritikus infrastruktúra elemeihez kapcsolódnak (pl. völgyzárógátak, atomerőművek betonszerkezete). Ezen létesítmények telepítésekor – az esetleges katasztrófahelyzetek kialakulása okán – különösen ügyelni kell a teherhordó szerkezet élettartamra való tervezésére és kivitelezésére.

A műszaki gyakorlatban a tömegbetonok készítésekor a legfőbb probléma a szerkezet belsejében és külső felszínén kialakuló hőmérsékletekből fakadó hőmérséklet-különbség meglétéből ered. A tömegbeton szerkezetek alapvetően vastagok, nagy térfogatúak, amelyek hőtani viselkedés szempontjából már külön figyelmet érdemelnek, mert nagy a kivitelezés során bekövetkező repedések kialakulásának esélye. A hőmérséklet-különbség mértéke, tehát erősen befolyásolja a készülő betonszerkezet állékonyságát, teljesítőképességét. A szerkezet különböző pontjain kialakuló hőmérséklet mérésére számos módszer létezik a gyakorlatban. A hőmérsékletmérési eredményeket a végeleemes számítások bemeneteként használva a kutatók igyekeznek a készülő betonszerkezet hőmérsékleti viselkedését jellemezni, ezzel biztosítva a repedésmentes kialakítást.

Szakirodalmi kutatásom során számos megoldást találtam a repedéskockázat kialakulásának minimalizálására, de egyöntetű a vélemény arról, hogy a végeleemes analízis módszer segítségével előre jelezhető a repedésveszély.

Kutatásom során a végeleemes szimuláció fő bemeneti paraméterének, a cement hidratációs hőjének a meghatározása állt a középpontban, illetve a szimuláció során alkalmazott geometriai modell nagyságának meghatározása.

### 3 Célkitűzések

A kutatómunkám célja volt a tömegbetonok kötésekor kialakuló hőmérséklet-különbség megbízható előrejelzése. A kitűzött cél meghatározásához szükséges volt a végeselemes analízis során alkalmazható bemeneti paraméterei gyors és gazdaságos mérésére alkalmas berendezés fejlesztése. A berendezés egyedi fejlesztésű kaloriméter, amely a benne elhelyezett cementhabarcs minta hőmérsékletét képes mérni 7-10 napon keresztül.

A fent nevezett célkitűzés megvalósításának főbb lépései a következők:

1. egyedi fejlesztésű kaloriméter megépítése a különböző cement típusok gyors és gazdaságos hőmérsékletmérésének elvégzéséhez,
2. az egyedi fejlesztésű kaloriméter hőveszteség kompenzációjának elvégzése,
3. különböző cement fajtákból készült cementhabarcs minták hőmérsékletének mérése az egyedi fejlesztésű kaloriméterben az adott cementekre jellemző cementhidratációs hő megállapításának céljából,
4. cementhabarcs minta hőmérsékletmérési eredményeinek felhasználásával történő végeselemes analízis a cementhidratációs hő alakulása és befolyásoló tényezőinek feltérképezése céljából.

A téma kutatásának első fázisában, a célkitűzéseimmel összhangban az alábbi hipotéziseket állítottam fel:

**H1:** Feltételeztem, hogy az egyedi fejlesztésű kaloriméter féladiabatikus rendszerben mért hőmérsékleti értékei átalakíthatók adiabatikus rendszert leíró hőmérsékletekké. Ehhez hőtani kompenzációs modell szükséges.

**H2:** Feltételeztem, hogy a tömegbeton szerkezet betonozásakor kialakuló maximális hőmérséklet-különbség kialakulásának időpontját a környezeti hőmérséklet és a konvektív hőtranszport együttható változása befolyásolja.

**H3:** Feltételeztem, hogy a talaj hőelvonó hatása a tömegbeton szerkezetben kialakuló maximális hőmérsékletet erőteljesen befolyásolja.

**H4:** Feltételeztem, hogy a repedésveszély hőtani jellemzése szempontjából a vasbeton szerkezetek és a betonacélt nem tartalmazó szerkezetek eltérően viselkednek.

**H5:** Feltételeztem, hogy a végeselemes analízishez létezik olyan minimális modellméret, amely a tömegbeton szerkezetet hőtani értelemben jellemzi és a modellezés során próbatestként tekinthetünk rá.

**H6:** Feltételeztem, hogy a napi hőmérséklet ingadozás ismeretének birtokában – az éghajlattól függően - előre jelezhető olyan időpont, amely ideális a betonozás megkezdését illetően, és amelyet a szerkezet repedésveszélyének minimalizálása érdekében figyelembe lehet venni.

## 4 Vizsgálati módszerek

A kutatási téma interdiszciplináris jellege miatt több tudományterület ismeretanyagára kellett támaszkodnom, melyek közül az anyag-, fizika és informatikai tudományokat emelem ki. A kutatás során alkalmazott kísérleti és modellezési módszerek megválasztása során arra törekedtem, hogy azok a műszaki gyakorlatban is hasznosítható, reprodukálható eredményeket szolgáltatassanak.

A szakirodalom kutatás keretében **áttekintettem és értékeltem a hazai és nemzetközi szakirodalmi közleményeket**. Az eredményeim gyakorlati alkalmazása, alkalmazhatósága és validálása érdekében a munkám során folyamatos kapcsolatot ápoltam a hazai szakemberekkel, alapanyaggyártókkal, laboratóriumokkal.

A szakirodalom áttekintését követően **végeselemes számítási módszert alkalmaztam**. A lassan felszabaduló hidratációs hő mérése a szabványos laboratóriumi mérések esetén 40-41 óra időtartamú. A szakirodalmi kutatásaim során megállapítottam, hogy ennél hosszabb időintervallum, 7-10 nap is szükséges lehet a betonszerkezetekben a hőmérsékletek konszolidálódására, a szerkezet geometriájának függvényében. A kutatás során felmerült az igény a kismintás laboratóriumi mérésekre, ennek okán **saját fejlesztésű kalorimétert készítettem**. Ennek a berendezésnek a segítségével további bemeneti paramétereket tudtam definiálni a végeselemes számításokhoz.

A kutatás 2026. 01. 27-én került lezárásra.

## 5 Új tudományos eredmények

**T1:** Féladiabatikus rendszerben mért hőmérsékleti értékek adiabatikus rendszert leíró hőmérsékletté alakíthatók hőtani kompenzációs modell segítségével. A kompenzált hőmérsékletet leíró egyenlet az adiabatikus szempontból zárt környezet vonatkozásában a következő:

$$T_{\text{kompenzált}}(t = i) = T_{\text{mért}}(t = i) + \sum_{t=1}^{t=i-1} T_{\text{veszteség}}(t)$$

**T2:** A kis hőfejlesztésű CEM III B 32,5 N jelű cementből készített betonkeverék alkalmazása esetén az adott kísérletterben (ahol a konvektív hőtranszport együttható 5 W/(m<sup>2</sup>K) és 30 W/(m<sup>2</sup>K) között, a környezeti hőmérséklet pedig 5 °C és 30 °C között változhat) a tömegbeton kötésekor kialakuló maximális hőmérséklet függése a környezeti hőmérséklettől elsőfokú, a konvektív hőtranszport együtthatótól pedig másodfokú polinommal jellemezhető:

$$\Delta T = a + b T + c h + d h^2$$

A maximális hőmérséklet kialakulásának időpontja függ a környezeti hőmérséklettől és a környezet által definiált konvektív hőtranszport együtthatótól. A környezeti hőmérséklet növekedése késlelteti, míg a konvektív hőtranszport együttható növekedése időben előrébb hozza a maximális hőmérséklet-különbség időpontját.

**T3:** Szimulációval igazoltam, hogy az 1m x 1m alapterületű, 3, illetve 10 méter magasságú beton próbatestek esetén a 1,5m x 1,5m x 0,5m térfogatú talaj felé történő hőáramlás befolyásolja a teljes rendszerben kialakuló hőmérsékleti maximumok kialakulását. A kis hőfejlesztésű CEM III B 32,5 N jelű cementből készített betonkeverék alkalmazása esetén az adott kísérletterben (ahol a konvektív hőtranszport együttható 5 W/(m<sup>2</sup>K) és 30 W/(m<sup>2</sup>K) között, a környezeti hőmérséklet pedig 5 °C és 30 °C között változhat és a beton bedolgozási hőmérsékletét 25 °C-on állandó) a beton próbatest hőtani szempontból 3 jellegzetes tartományra osztható: I. tartomány, melyre hatással van a talaj hőelvonó képessége az alsó határfelületén és a környezeti levegővel az oldalsó határfelületen érintkezik, II. tartomány, mely a környezeti hőmérsékletű levegővel csak az oldalsó határfelületeken érintkezik, III. tartomány, mely az oldalsó és a felső határfelületeken érintkezik a környezeti hőmérsékletű levegővel. A legnagyobb hőmérséklet-különbség I. tartományában alakul ki, vagyis a teljes szerkezet vonatkozásában, az ebben a tartományban kialakuló hőmérsékleti eltérés a meghatározó.

**T4:** Szimulációval igazoltam a CEM III B 32,5 N jelű cementből készített betonkeverék alkalmazása esetén, hogy a repedésveszély hőtani jellemzése szempontjából a vasbeton szerkezetek előnyösebbek, mint a betonacélt nem tartalmazók. Az alkalmazott kísérletterben (ahol a konvektív hőtranszport együttható  $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  és  $30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  között, a környezeti hőmérséklet pedig  $5^\circ\text{C}$  és  $30^\circ\text{C}$  között változhat és a beton bedolgozási hőmérsékletét  $25^\circ\text{C}$  –on állandó) a környezeti hőmérséklettől és a konvektív hőtranszport együtthatótól függetlenül a vizsgált betonacél kiosztások (0,65 ‰ és 1,35 ‰) csökkentik az adott időpillanatban kialakuló hőmérséklet-különbséget a betonacélt nem tartalmazó tömegbetonokhoz képest. A defininált kísérletterben a  $h=30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  és  $T=5^\circ\text{C}$  peremfeltételek mellett a:

- betonacélt nem tartalmazó próbatestben  $21,1^\circ\text{C}$ ,
- 0,65 ‰ mennyiségű betonacél alkalmazásakor  $20,7^\circ\text{C}$ ,
- 1,35 ‰ mennyiségű betonacél esetén,  $19,6^\circ\text{C}$  a kialakuló hőmérséklet-különbség, ezért betonacél használatakor is szükséges a külső hőmérséklettől függő hőszigetelés tervezése.

**T5:** Szimulációval igazoltam a minimálisan szükséges próbatest magasságot egy  $1\text{m} \times 1\text{m}$  alapterületű betontestre vonatkoztatva, amelynél a talaj és a levegő által okozott hőáramlás egymástól függetlenül jellemezhető. A végeselemes modellben (ahol egy CEM III B 32,5 N jelű cementből készített betonkeveréket vizsgáltam és a konvektív hőtranszport együttható  $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  és  $30 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  között, a környezeti hőmérséklet pedig  $5^\circ\text{C}$  és  $30^\circ\text{C}$  között változhat, valamint a beton bedolgozási hőmérséklete  $25^\circ\text{C}$ ) a minimális geometriai magasság 1,3 méter és 2,2 méter közötti kell legyen a hőszigetelés és a környezeti hőmérséklet függvényében.

**T6:** Szimulációval igazoltam, hogy  $1\text{m} \times 1\text{m} \times 1\text{m}$  térfogatú, CEM III B 32,5 N jelű cementből készített betonkeverék alkalmazása esetén (ahol a környezeti átlag hőmérséklet  $20^\circ\text{C}$ , a hőmérséklet-változás  $\pm 5^\circ\text{C}$ , a frissbeton bedolgozási hőmérséklete  $20^\circ\text{C}$  volt, és a konvektív hőtranszport együttható  $5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ) a változó környezeti hőmérséklet a beton próbatestben és annak felszínén kialakuló hőmérsékletekre is befolyásoló hatással van. Időben változó környezeti hőmérséklet esetén a kialakult maximális hőmérséklet-különbség időpontja a változó környezeti hőmérséklet minimum értékéhez tartozik.

## 6 Az eredmények hasznosítási lehetősége

A kutatás során elért eredmények közvetlenül és hatékonyan alkalmazhatók a mérnöki gyakorlatban, jelentős előrelépést kínálva a mély- és magasépítési projektek technológiai tervezéséhez. Az egyedi fejlesztésű kaloriméter alkalmazása alapvető előnyt jelent, mivel a berendezés lehetővé teszi a cement hidratációs hőtermelésének pontos és gyors laboratóriumi mérését, így az egyes betonkeverékek hőtani jellemzői már a kivitelezés előkészítő szakaszában rendelkezésre állnak. Ezen adatokra és a kidolgozott modellekre támaszkodva a beruházási projektek időterve precízen optimalizálható. A numerikus szimulációk révén a tömegbeton szerkezetekhez szükséges kiegészítő hőszigetelés vastagsága már a kivitelezés megkezdése előtt, mérnöki pontossággal meghatározható, így elkerülhető a szükségtelenül vastag rétegek alkalmazása, ami a felesleges anyagfelhasználás és munkaerőigény miatt jelentős többletkiadásoktól óvja meg a kivitelezőt. A vizsgálatok rávilágítottak arra is, hogy a különböző évszakokban végzett munka során alapvetően eltérő kezdeti és peremfeltételekkel kell számolni, így a modellek alkalmazása segít a téli és nyári környezeti hatásokhoz való rugalmas alkalmazkodásban. Végezetül a napi hőmérséklet-ingadozás hatásainak beépítése a számításokba lehetőséget ad arra, hogy a betonozás megkezdésének pontos napszakát előre kalkulálják, ami a hőmérsékleti maximumok csökkentésével az egyik legköltséghatékonyabb módszer a repedésveszély mérséklésére és a szerkezet hosszú távú tartósságának biztosítására.

## 7 Irodalmi hivatkozások listája/ Irodalomjegyzék

2024. évi LXXXIV. törvény a kritikus szervezetek ellenálló képességéről, Hatályos: 2026.01.06-tól, <https://njt.hu/jogszabaly/2024-84-00-00>, (Letöltve:2026.03. 23.)

ACI Committee 116 (2005); „Cement and Concrete terminology (AC116R-00),” 2000 (Reapproved 2005), American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich., 73pp.

Dr. Salem Georges Nehme (2018); Tömegbetonok pdf., Budapest 2018., p6 <https://edu.epito.bme.hu/local/coursepublicity/mod/resource/view.php?id=71989> (letöltve:2022.08.03.)

Dr. Balázs György (2007); Különleges Betonok és betontechnológiák I., Akadémiai Kiadó, Budapest, 2007, ISBN 978-963-05-8465-4

T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C. Spirig, U. Waeber, Magyar kiadás: Asztalos István, Sika Beton kézikönyv (2009); p.116, <https://hun.sika.com/dms/getdocument.get/2801286c-2941-3766-9b45-fb137c529d62/Sika%20Beton%20Kezikonyv.pdf> (letöltve: 2026.03.20)

Bálint Julianna, Építőanyagok I, SZIE-YMÉK, Építőanyag és Minőségirányítás Tanszék, jegyzet, 2005, ISBN 978-963-7169-29-8

Zement-Taschenbuch, Verein Deutscher Zementwerke e.V. 51. Ausgabe. Verlag Bau+Technik GmbH., (2008); Dusseldorf, 5.4.1. fejezet, pp. 329-332, [https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/Zement\\_Taschenbuch\\_2008.pdf](https://www.vdz-online.de/fileadmin/wissensportal/publikationen/zementindustrie/Zement_Taschenbuch_2008.pdf), (Letöltve: 2022. 05.01.)

Dr. Kausay Tibor (2010); Fiatal beton szilárdulási folyamata 1. rész, Beton, 2010/12 pp 6-8, <https://www.betonopus.hu/notesz/fogalomtar/65-fiatal-beton.pdf>, (Letöltve: 2022. 04.16.)

Dr. Kausay Tibor: Betonos e Könyv I. kötet (2020); ISBN 978-615-00-6699-8, magánkiadás, Budapest, pp 457-473

Juhász Károly Péter (2020); Betontechnológia 01-alkotóanyagok pdf. p. 6, [https://epulet diagnosztika.net/cms/wp-content/uploads/2020/12/betontechnologia\\_01\\_alkotoanyagok\\_es\\_betontervezes.pdf](https://epulet diagnosztika.net/cms/wp-content/uploads/2020/12/betontechnologia_01_alkotoanyagok_es_betontervezes.pdf) (Letöltve: 2023. 09.22.)

B. Klemczak, Agnieszka Knoppik-Wróbel (2015); Reinforced concrete tank walls and bridge abutments: Early-age behaviour, analytic approaches and numerical models, Engineering Structures, Volume 84 (2015) pp 233-251, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.11.031>

B. A. Klemczak (2014); Modeling thermal-shrinkage stresses in early age massive concrete structures – Comparative study of basic models, Archives of civil and mechanical engineering, Volume14 (2014) pp 721-733, <https://doi.org/10.1016/j.acme.2014.01.002>

Fragkoulis Kanavaris, Agnieszka Jedrzejewska, Ioannis P. Sfikas c, Dirk Schlicke, Selmo Kuperman, Vít Šmilauer, Túlio Honório, Eduardo M.R. Fairbairn, Gabriella Valentim, Etere Funchal de Faria, Miguel Azenha (2021); Enhanced massivity index based on evidence from case studies: Towards a robust pre-design assessment of early-age thermal cracking risk and practical recommendations, Construction and Building Materials 271 (2021) 121570, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121570>

Xiaoda Li, Zhipeng Yu, Kexin Chen, Chunlin Deng, Fang Yu (2023); Investigation of temperature development and cracking control strategies of mass concrete: A field monitoring case study, Case Studies in Construction Materials 18 (2023) e02144, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02144>

Yuxiang Zhang, Jianwen Pan, Xinjian Sun, Jijun Feng, Dengqiang Sheng, Haiyun Wang, Xinjie Zhou, Yinpeng He, Mushuang Diao, Qibing Zhan (2021); Simulation of thermal stress and control measures for rock-filled concrete dam in high-altitude and cold regions, Engineering Structures 230 (2021) 111721, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111721>

Török Zsuzsanna (2013); Duna-Projekt 01.11 védelmi szakaszán a Győr-Likócsi töltésfejlesztés és Iparcsatorna torkolati árvízkapu építési munkáinak a FIDIC Sárga könyv szerinti megvalósítása és a kivitelezési tervek elkészítése a 191/2009. (IX.15.) Korm. rendeletnek megfelelő tartalommal, Betontechnológiai utasítás

Xu-Jing Niu, Qing-Bin Li, Wei-Jia Liu, Yu Hu (2020); Effects of ambient temperature, relative humidity and wind speed on interlayer properties of dam concrete, Construction and Building Materials 260 (2020) 119791, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119791>

P. Liu, Y. Chen, Z. Yu (2020); Effects of temperature, relative humidity and carbon dioxide concentration on concrete carbonation, *Mag. Concr. Res.* 72 (2020) 936–947, <https://doi.org/10.1680/jmacr.18.00496>.

B. Klemczak, A. Knoppik-Wróbel (2011); Early age thermal and shrinkage cracks in concrete structures - description of the problem, *Architecture civil engineering environment*, 2011/2, pp 35 – 47

S. Wang, A. Abdulridha, J. Bravo, et al. (2023); Thermal energy storage in concrete: Review, testing, and simulation of thermal properties at relevant ranges of elevated temperature, *Cement Concr. Res.* 166 (2023), 107096. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2023.107096>

Túlio Honório, Benoit Bary, Farid Benboudjema (2014); Evaluation of the contribution of boundary and initial conditions in the chemo-thermal analysis of a massive concrete structure, *Engineering Structures*, Volume 80 (2014), pp 173-188, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2014.08.050>

G. M. Moelich, J. E. van Zyl, N. Rabie, and R. Combrinck (2021); “The influence of solar radiation on plastic shrinkage cracking in concrete,” *Cement and Concrete Composites*, vol. 123, article 104182, 2021.

Yuqin Zhao, Gaosheng Li, Caixia Fan, Wentai Pang, and Yongtao Wang (2021); Effect of Thermal Parameters on Hydration Heat Temperature and Thermal Stress of Mass Concrete, *Advances in Materials Science and Engineering*, Volume 2021, Article ID 5541181, 16 pages, <https://doi.org/10.1155/2021/5541181>

Yinuo Zhang, Songqing Wang, Shijing He, Xiangwei Hao (2023); Analysis of factors influencing the temperature field variation in mass concrete during hydration heat release, *Case Studies in Thermal Engineering* 52 (2023) 103737, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103737>

Y. Xie, C. Qian (2023); A novel numerical method for predicting the hydration heat of concrete based on thermodynamic model and finite element analysis, *Mater. Des.* 226 (2023), 111675

B.N.K. Raja, S. Miramini, C. Duffield, et al. (2020); The influence of ambient environmental conditions in detecting bridge concrete deck delamination using infrared thermography (IRT), *Struct. Control Health Monit.* 27 (4) (2020), e2506

A.E. Klausen, T. Kanstad, Ø. Bjøntegaard (2022); The cracking risk of hardening concrete exposed to realistic curing temperature regimes and restraint conditions—Experimental investigations of important parameters, *Construct. Build. Mater.* 338 (2022), 127662. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127662>

Hung-Liang (Roger) Chen, Seyednavid Mardmomen, Guadalupe Leon (2021); On-site measurement of heat of hydration of delivered mass concrete, *Construction and Building Materials* 269 (2021) 121246, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121246>

A. M. R. P. Bopegedera and K. Nishanthi R. Perera, (2016); “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, <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00189>

Guowen Sun, Haorui Zheng, Liguang Wang, Liang Peng, Haitao Yang, Yifan Li (2026); Prediction of the hydration heat, temperature distribution and thermal stress of mass concrete, Case Studies in Construction Materials 24 (2026) e05748, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2025.e05748>

Jochen Stark, Katrin Bollman (2000); Delayed Ettringite Formation in Concrete, Nordic Concrete Research, 2000, <https://www.structuralguide.com/wp-content/uploads/2022/06/Delayed-Ettringite-Formation-in-Concrete.pdf> (letöltve: 2023.07.26.)

Lu H.R., Swaddiwudhipong, S and Wee, T.H. (2001); Evaluation of Thermal Crack by a probabilistic Model Using the Tensile Strain Capacity, Magazine of Concrete Research, (2001) Vol. 53, No.1, pp. 25-30. <https://doi.org/10.1680/mac.2001.53.1.25>

American Concrete Institute (2020); Report on Cooling and Insulating Systems for Mass Concrete (ACI 207.4R-20), American Concrete Institute, Michigan USA

Zhou Yunchuan, Bai Liang, Yang Shengyuan, Chen Guting (2012); Simulation Analysis of Mass Concrete Temperature Field; Procedia Earth and Planetary Science, Volume 5 (2012) pp 5 – 12, <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2012.01.002>

J. Conceição, R. Faria, M. Azenha, et al. (2020); A new method based on equivalent surfaces for simulation of the post-cooling in concrete arch dams during construction, Eng. Structures 209 (2020), 109976.

Y. Hong, J. Lin, A.H.D. Cheng, et al. (2020); Thermal analysis of heat transfer in pipe cooling concrete structure by a meshless RBF-FD method combined with an indirect model, Int. J. Therm. Sci. 152 (2020), 106296.

Ju-Hyung Ha, Youn su Jung, Yun-gu Cho (2014); Thermal crack control in mass concrete structure using an automated curing system: Automation in Construction Volume 45 (2014) 16–24, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.04.014>

T.A. Do, D. Verdugo, M. Tia, et al. (2021); Effect of volume-to-surface area ratio and heat of hydration on early-age thermal behavior of precast concrete segmental box girders, Case Stud. Therm. Eng. 28 (2021), 101448.

G. De Schutter, M. Vuylsteke (2004); Minimisation of early age thermal cracking in a J-shaped non-reinforced massive concrete quay wall, Engineering Structures Volume 26 pp. 801–808, DOI:10.1016/j.engstruct.2004.01.013

Feng Lin, Xiaobin Song, Xianglin Gu, Bin Peng, Lianping Yang (2012); Cracking analysis of massive concrete walls with cracking control techniques, Construction and Building Materials Volume 31 (2012) pp 12–2, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.12.086>

Wang, K., Taylor, P. C., Fick, G., & Ge, Z. (2007); Developing a simple and rapid test for monitoring the heat evolution of concrete mixtures (Phase II report). CP Tech Center, Iowa State University.

Swamy Vandanapu, K. Muthumani (2020); Heat of Hydration and Alkali- Silicate Reaction in Oil Palm Shell Structural Lightweight Concrete, Silicon 12, 2020, pp.1043-1049, <https://doi.org/10.1007/s12633-019-00202-9>

John C. O'C. Young (2016); Coffee Cup Calorimeter Heat Loss Correction, *The Chemical Educator* 2016, 21, pp. 53–62, DOI:10.1333/s00897162683a

MSZ EN 196-1:2010 Magyar Szabványügyi Testület (2010); Cementvizsgálási módszerek-Hidratációs hő. Féladiabatikus módszer. 2010 október.

Yunus Ballim (2004); A numerical model and associated calorimeter for predicting temperature profiles in mass concrete, *Cement and Concrete Composites* 26(6) pp. 695-703, [https://doi.org/10.1016/S0958-9465\(03\)00093-3](https://doi.org/10.1016/S0958-9465(03)00093-3)

G. Gibbon, Y. Ballim, and G. Grieve (1997); "A Low-Cost, Computer-Controlled Adiabatic Calorimeter for Determining the Heat of Hydration of Concrete," *Journal of Testing and Evaluation* 25(2), 1997,;pp. 261-266. <https://doi.org/10.1520/JTE11488J>

Šiler, P., Kolářová, I., Novotný, R., Másilko, J., & Šoukal, F. (2020); Use of isothermal and isoperibolic calorimetry to study the effect of zinc on hydration of cement blended with fly ash. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 141, 2997–3006. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-09633-5>

Gibbon GJ, Ballim Y. (1996); Laboratory test procedures to predict the thermal behaviour of concrete. *J South African Inst Civil Engineers*, 1996, 38(3): 21–4 (3rd Quarter).

Chang-keun Lim, Jin-Keun Kim, Tae-Seok Seo (2016); 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.

Pang, X., Bentz, D. P., Meyer, C., Funkhouser, G. P., & Darbe, R. (2013); A comparison study of Portland cement hydration kinetics as measured by chemical shrinkage and isothermal calorimetry. *Cement and Concrete Composites*, 39, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.03.007>

Gallucci, E., Ferraris, C. F., & Scrivener, K. L. (2007); Chemical shrinkage and microstructure of cement pastes and mortars in the very early age. *Cement and Concrete Research*, 37(3), 322–331. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.11.002>

Winnefeld, F., & Lothenbach, B (2010); Hydration of calcium sulfoaluminate cements—Experimental findings and thermodynamic modelling. *Cement and Concrete Research*, 40(8), 1239–1247. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2010.03.021>

Knapen, E., & van Gemert, D. (2009); Cement hydration and strength development of concrete subjected to low and moderate temperatures. *Construction and Building Materials*, 23(2), 545–555. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2007.10.011>

Chih-Yuan Chang, San-Shan Hung (2012); Implementing RFIC and sensor technology to measure temperature and humidity inside concrete structures: *Construction and Building Materials* Volume 26 (2012) pp. 628-637, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2011.06.066>

A. Kuryłowicz-Cudowska, K. Wilde (2005); FEM and experimental investigations of concrete temperature field in the massive stemwall of the bridge abutment, *Construct. Build. Mater.* 347 (2022), 128565

Y. Xie, W. Du, Y. Xu, et al. (2022); Temperature field evolution of mass concrete: from hydration dynamics, finite element models to real concrete structure, *J. Build. Eng.* 65 (2022), 105699.

Zhoujiaozi Yu a, Yulu He a, Fei Tan a,\*, Defu Tong (2025); Three-dimensional numerical manifold method for thermal stress calculation of mass concrete, *Construction and Building Materials* 491 (2025) 142769, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142769>

C. Lyu, M. Xu, X. Lu, et al. (2023); Research on thermal-humidity-force coupling characteristics of mass concrete structures under temperature control, *Constr. Build. Mater.* 398 (2023) 132540, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132540>.

T. Wan, H. Zheng, W. Wu, et al. (2024); Fully coupled dynamic hydraulic fracturing of saturated porous media based on the numerical manifold method, *Eng. Anal. Bound. Elem.* 169 (2024) 105987, <https://doi.org/10.1016/j.enganabound.2024.105987>.

X. Xu, Z. Wu, L. Weng, et al. (2024); Investigating the impacts of reinforcement range and grouting timing on grouting reinforcement effectiveness for tunnels in fault rupture zones using a numerical manifold method, *Eng. Geol.* 330 (2024) 107423, <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2024.107423>.

Chang-keun Lim, Jin-Keun Kim, Tae-Seok Seo (2016); Prediction of concrete adiabatic temperature rise characteristic by semi-adiabatic temperature rise test and FEM analysis, *Construction of Building Materials*, Vol. 125, pp. 679-689, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.072>

Xiaobin Song, Yeqi Li, Chao Chen, Feng Lin, Susu Shang (2017); Modeling early age RC slab cracking considering time-dependent bond behaviour, *Engineering Structures* Volume 138 (2017) pp. 27–34, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2017.02.015>

E.N. Ivanov, K.S. Semenov, Yu.G. Barabanshchikov, S.V. Akimov, A.S. Kuleshin, N.S. Titov (2023); Concrete heat liberation in thermal stressed state analysis, *Magazine of Civil Engineering*. 2023. 124(8). Article No. 12409, DOI: 10.34910/MCE.124.9

Smolana, A.; Klemczak, B.; Azenha, M.; Schlicke, D. (2022); Thermo-Mechanical Analysis of Mass Concrete Foundation Slabs at Early Age—Essential Aspects and Experiences from the FE Modelling, *Materials* 2022, 15, 1815. <https://doi.org/10.3390/ma15051815>

Azenha M, Faria R, Ferreira D. (2009); Identification of early-age concrete temperatures and strains: monitoring and numerical simulation. *Cement & Concrete Comp* 2009; 31 (6):369-378, <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2009.03.004>

Bennet Kuriakose, B. Nageswara Rao, G. R. Dodagoudar (2016); Early-age Temperature Distribution in a Massive Concrete Foundation, *Global Colloquium in Recent Advancement and Effectual Researches in Engineering, Science and Technology (RAEREST 2016)*, *Procedia Technology* 25 ( 2016 ) 107 – 114, DOI:10.1016/j.protcy.2016.08.087

Maninder Pal Singh, Subhamoy Sen, Himanshu Pathak, Ajay Bhushan Dogra (2024); Early age cracking relevant to mass concrete dam structures during the construction schedule, *Construction and Building Materials* 411 (2024) 134739, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134739>

Qingbin Li, Junfeng Guan, Zhimin Wu, Wei Dong, Shaowu Zhou (2016); Equivalent maturity for ambient temperature effect on fracture parameters of site-casting dam concrete, *Construction and Building Materials* 120 (2016) pp 293-308, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.05.111>

D. A. Hordijk, H. W. Reinhardt (1990); Fracture of concrete in uniaxial tensile experiments as influenced by curing conditions, *Engineering Fracture Mechanics*, 35 (1990) pp 819-826, [https://doi.org/10.1016/0013-7944\(90\)90166-E](https://doi.org/10.1016/0013-7944(90)90166-E)

J. K. Kim, Y. Lee, S. T. Yi (2004); Fracture characteristics of concrete at early ages, 2004 *Cement and Concrete Research*, 34 pp 507-519, <https://koasas.kaist.ac.kr/bitstream/10203/20281/1/000223824500008.pdf> (Letöltve: 2026. 03.10.)

Guoqing Wang, Meng He, Canjun Zhou, Wen Xie, Xinglin Liu, Jin Chen, Hua Liu, Bingbing Lei, and Mingli Zhang (2022); Temperature and Temperature Stress Analysis in Mass Concrete under Cold Environments of Strong Wind and Large Diurnal Temperature Range, *Geofluids*, Volume 2022, Article ID 3064754, 16 pages <https://doi.org/10.1155/2022/3064754>

Z. J. Li, Z. H. Li, P. Yu, L. C. Xu, and X. D. Fu (2020); “Monitoring and finite element analysis of temperature and stress field of mass concrete for tower platform,” *Journal of Railway Science and Engineering*, vol. 17, no. 11, pp. 2892–2900,

Yehong Hu, Jin Chen, Feng Zou, Meng He, Jianguo Mao, Xinglin Liu, Canjun Zhou, Zhongxia Yuan (2021); A comparative study of temperature of mass concrete placed in August and November based on on-site measurement, *Case Studies in Construction Materials* 15 (2021) e00694, <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00694>

Bamforth, P.B. (2007); *Early-Age Thermal Crack Control in Concrete*; CIRIA C660; CIRIA: London, UK, 2007; 268p

## **8 A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények**

[P1] Domonyi, Erzsébet ; Dr. Barányi, István ; Dr. Réger, Mihály Antal, Egyedi féladiabatikus kaloriméter fejlesztése, *Gép* 72: 3-4 pp. 13-16., 4 p. (2021)

[P2] Erzsébet Domonyi, István Barányi, Engineering Symposium at Bánki, CEM I and CEM III typed cement heat generation and impact on the crack risk, <https://esb.bgk.uni-obuda.hu/wp-content/uploads/2024/09/ESB2021.pdf> 47-50 pp. (2021), (Letöltve: 2024. 11.28.)

[P3] Domonyi Erzsébet, Prof. Dr. M. Csizmadia Béla, Prof. Dr. habil Telekes Gábor, Vasbeton műtárgyak kötés közbeni hőmérséklet-különbsége eltérő betonacél mennyiségek esetén, *GÉP LXVIII.* (3), pp 40-43, (2017)

[P4] Domonyi Erzsébet, Prof. Dr. M. Csizmadia Béla, Prof. Dr. habil Telekes Gábor, Tömegbetonok repedési hajlamának elemzése a hőmérséklet és a hőátadási tényező függvényében, *GÉP LXVII* (5-6), pp 44-47, (2016)

[P5] Erzsébet Domonyi, István Barányi, Engineering Symposium at Bánki, Finite element analysis of early age concrete crack risk probability in different types of box-shaped samples <https://esb.bgk.uni-obuda.hu/wp-content/uploads/2024/09/ESB2021.pdf> 43-46 pp. (2021), (Letöltve: 2024. 11.28.)

[P6] Domonyi Erzsébet, Tömegbeton szerkezetek hőmérséklet eloszlása a talajban, Nemzetközi Gépész és Biztonságtechnikai Szimpóziium = International Engineering Symposium, IESB 2017, Budapest, Magyarország : Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, (2017) pp. 33-33. , 1 p.

[P7] Domonyi Erzsébet, TÖMEGBETONOK HŐTANI MODELLJÉNEK FEJLESZTÉSE, Proceedings of 8th International Engineering Symposium at Bánki (IESB 2016), Budapest, Magyarország: Óbudai Egyetem (2016) pp. 1-4. , 4 p.

[P8] Domonyi, Erzsébet Cracking risk analysis of the mass concrete in a function of ambient temperature, Timisoara, Románia (2018) pp. 20-20. , 1 p.

[P9] Domonyi Erzsébet, Prof. Dr. Csizmadia Béla, Prof. Dr. Telekes Gábor: Hőmérséklet-különbség változása beton és vasbeton szerkezetek kötési folyamata során, Műszaki tudományos közlemények 7: pp. 131-134. (2017)

[P10] Domonyi, Erzsébet; Dr. Barányi, István; Dr. Réger, Mihály Antal, Egyedi fejlesztésű kaloriméter hőtani jellemzőinek meghatározása, GÉP 72: 3-4 pp. 17-20. , 4 p. (2021)

[P11] Erzsébet Domonyi, Prof. Dr. Mihály Réger, Prof. Dr. András Zachár, Design and Characterization of a Semi-Adiabatic Calorimeter, ACTA TECHNICA JAURINENSIS, 2026, in press, IF 0.23

## **9 További tudományos közlemények**

[12] Leczovics, P; Domonyi, E, A beton titkai 4., TECHNIKA-MŰSZAKI SZEMLE 57 : 3 pp. 27-30. , 4 p. (2014)

[13] Leczovics, P; Domonyi, E., Fény és beton, XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia : ÉPKO 2014, Kolozsvár, Románia : Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság (EMT) (2014) pp. 173-176. , 4 p.

[14] Leczovics, Péter; Domonyi, Erzsébet, Concrete design, YBL JOURNAL OF BUILT ENVIRONMENT 2 pp. 38-49. , 12 p. (2014)

[15] Leczovics, P; Kászonyi, G. ; Domonyi, E., A beton "titkai" 3., TECHNIKA-MŰSZAKI SZEMLE 56 : 12 pp. 21-25. , 5 p. (2013)