

# Tömegbetonok hőtani modelljének fejlesztése

**Domonyi Erzsébet**

Szent István Egyetem Ybl Miklós Építéstudományi Kar, Budapest

**Absztrakt.** A tömegbetonok repedési hajlamának vizsgálata egyrésztől modellkísérletekkel, másrésztől szimulációval történik. A szimulációs modelleket tekintve a kutatók végeelem modellek segítségével a modellkísérletek eredményeit validálják. Jelen cikkben a szerző a valós beépítési környezet figyelembevétel pontosított modellt mutat be, ahol a tömegbeton lehülésekor a talaj és a levegő által okozott hőelvonást is figyelembe veszi.

**Kulcsszavak:** tömegbeton; repedési hajlam; végeelem modell; optimális geometria

## 1 Bevezetés

A nagy tömegű betonok tartósságának, így teljesítőképességének egyik alapvető kritériuma a repedésmentes kialakítás. A tömegbetonok elegendően vastag szerkezetek (vízépítési műtárgyak, életvédelmi létesítmények) ahhoz, hogy a cement kötésekor termelődő hidratációs hő, a szerkezet belsejéből nehezen vezetődjen ki a betont jellemző kismérvű hővezetési tulajdonságának köszönhetően. A szerkezet belseje és felszíne között kialakuló hőmérséklet különbség hőfeszültséget okoz, így növelve a repedési hajlamot. A végeelem modell lehetőséget kínál a kutatók számára a repedésveszély még megépítés előtti vizsgálatára, figyelembe véve a modell geometriáját, a környezeti és beépítési anyagtulajdonságokat.

M. Azenha [1] és mtsai numerikus modelljük helyességét laboratóriumi kísérletekkel igazolták, melyben a fiatal beton hőfeszültség okozta alakváltozását vizsgálták. Ezen eredményeket figyelembe véve B. Kuriakose [2] és mtsai. dolgozták ki szimulációs modelljüket és elemezték a szakaszos öntés hatását a szerkezet repedésmentességét biztosítandó.

T. Honorio [3] és mtsai cikkükben ismert geometriájú modellen már az előző cikkekhez viszonyítva több paramétert is vizsgáltak. A környezeti hőmérséklet, a napsugárzás és visszاسugárzás, valamint a különböző hővezetési tényezőjú zsaluzatok figyelembevétele

mellett a fiatal beton mechanikai és hőtani viselkedésének hatását is felhasználták számításaikban.

A fentiek alapján látható, hogy a végelem modell segítségével az ismert geometriájú szimulált modelleken előre tervezhető a repedési hajlam csökkentése, így biztosítható a betonszerkezet tartóssága.

A cikkben a szerző arra a kérdésre keresi a választ, hogy milyen magasságú az az optimális 1 m x 1 m alapterületű hasáb, amelynél a külső tényezők (levegő és talaj által elvont hő) hatása egymástól szétválasztva vizsgálható.

## 2 Anyag és módszer

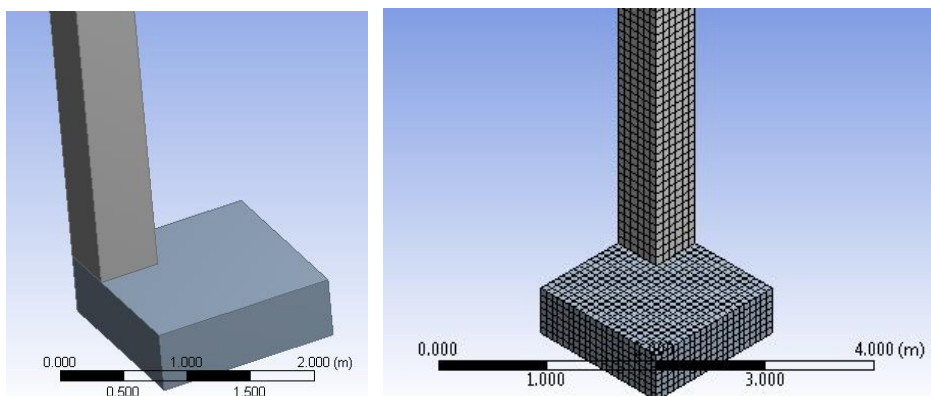
A tömegbetonok általános hőtani modelljének elemzéséhez az anyagtulajdonságokat, a geometriai modellt és a kezdeti- és peremfeltételeket határoztam meg az alábbiak szerint. Az elemzést az Ansys 12.0 végelem programcsomaggal végeztem.

### 2.1 Anyagtulajdonságok

A modellezéskor egyrésztől kis hőfejlesztésű CEM III B 32,5 N kohósalak cementet tartalmazó normál testsűrűségű ( $\rho_t = 2400 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_p = 1228 \text{ J/kgK}$ ,  $\lambda = 3,5 \text{ W/mK}$ ) betont, továbbá általános fizikai és hőtani tulajdonságú ( $\rho_t = 1400 \text{ kg/m}^3$ ,  $c_p = 1140 \text{ J/kgK}$ ,  $\lambda = 0,75 \text{ W/mK}$ ) talajt választottam.

### 2.2 Geometriai modell

A geometriai modell alapegységeként az 1 m x 1 m -es alapterületű hasábot tekintettem, melynek optimális magasságát kívánom meghatározni. Ennek tekintetében a kiindulási



1. ábra: A modell kiindulási geometriája és hálózása

geometria két szilárd testet tartalmazó (betontest és talaj) lett, ahol a talaj 1,5m x 1,5m - es alapterületű , 0,5m vastag hasáb, közepes finomságú hálózással (1. ábra). Az analízis során az 1m x 1m -es alapterületű betontest modellt 3 ill. 10m-es magassággal vizsgáltam. Mindkét esetben a vizsgálati térfogat negyede került lemodellezésre.

### 2.3 Kezdeti - és peremfeltételek

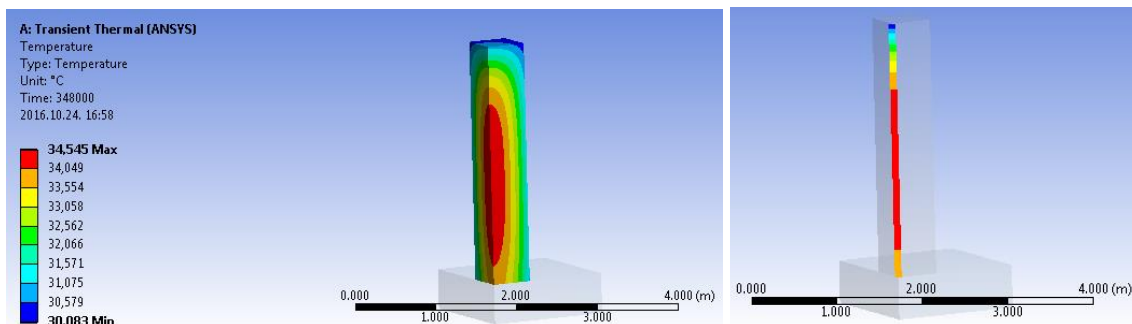
A vizsgálat során a beton bedolgozási hőmérsékletét 25 °C-on állandónak tekintettem.

Az elemzések során - a gyakorlati szempontokat is figyelembe véve - a külső hőmérséklet minimumát 5 °C-ban, a maximumát pedig 30 °C-ban határoztam meg téli illetve nyári betonozást feltételezve.

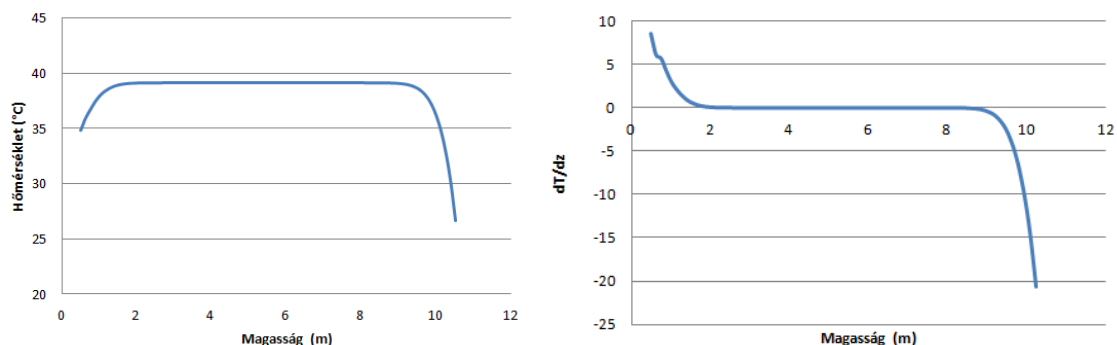
További paraméterként a betontest és a környezet hőátadási tényezőjét ( $h$ ) definiáltam, figyelembe véve az általános betonozási szabályokat. A betontest hőátadási tényezője pedig a zsaluzott (változó vastagságú és minőségű anyaghasználat) és a szabadon álló felületeket egyaránt figyelembe véve  $h= 5$  és  $30 \text{ W/m}^2\text{K}$  értéken. A kísérletterv így egy 2 x 2-os mátrix-szal írható le, melynek minden pontjában elvégeztem az elemzést.

## 3 Eredmények

Az analízis a 3 és a 10 méter magas modell esetén is közel azonos eredményt hozott. Első lépésben azt az időpillanatot kerestem meg, amikor a betontestnél a maximális hőmérséklet különbség kialakul. Ezután az ebben az időpillanatban a modell belsejében a függőleges tengelyen számolt hőmérséklet változásokat vizsgáltam (2. ábra). Az analízis eredményei az 1. táblázatban kerültek összefoglalásra, melyből jól látható, hogy a betontest magassága 3 szakaszra bontható hőtani viselkedését tekintve. Az első szakasz a talaj és a betontest, a harmadik szakasz a betontest és a környezeti levegő / szabadon álló betonfelület kapcsolatát jellemzi.



2. ábra: A hőmérséklet eloszlás a 3 méter magas modellen



3. ábra A hőmérséklet alakulása  $h=5$  ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ),  $T=5$  °C a 10 méter magas modellben

Ezen két szakaszon a hőmérséklet változás más sebességgel zajlik le, attól függően, hogy milyen a betonnal érintkező közeg hőátadási tényezője ill. a környezeti hőmérséklet. Az egyes határokat a méterenkénti  $1^\circ\text{C}$ -kal történő hőmérsékletváltozás segítségével határoztam meg (3. ábra). A modellekben található  $1^\circ\text{C}/\text{m}$  hőmérséklet változási sebességtől kisebb változású sebességű rész magasságára jellemző, hogy itt a talajjal, illetve hasáb tetejének a levegővel való érintkezése nem befolyásolja jelentősen a hőmérséklet eloszlást.

1. táblázat: A 3 illetve 10 méter magas modellek eredményei

|   | 3 méter magas modell       |                                      |                           |  | 10 méter magas modell      |                                      |                           |   |
|---|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|--|----------------------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
|   | Talajtól való távolság (m) | A modell tetejétől való távolság (m) | Modell min. magassága (m) | Max. hőmérséklet különbség időpontja (h) | Talajtól való távolság (m) | A modell tetejétől való távolság (m) | Modell min. magassága (m) | Maxi. hőmérséklet különbség időpontja (h) |
| $h=5$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )<br>$t=5$ ( $^\circ\text{C}$ )   | 0,9                        | 1,2                                  | 2,1                       | 46,1                                     | 0,9                        | 1,3                                  | 2,2                       | 46,9                                      |
| $h=5$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )<br>$t=30$ ( $^\circ\text{C}$ )  | 1,0                        | 1,0                                  | 2,0                       | 58,3                                     | 1,0                        | 1,0                                  | 2,0                       | 59,2                                      |
| $h=30$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )<br>$t=5$ ( $^\circ\text{C}$ )  | 0,3                        | 1,0                                  | 1,3                       | 15,6                                     | 0,4                        | 0,9                                  | 1,3                       | 15,4                                      |
| $h=30$ ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )<br>$t=30$ ( $^\circ\text{C}$ ) | 1,1                        | 0,8                                  | 1,9                       | 27,4                                     | 0,6                        | 0,8                                  | 1,4                       | 28,0                                      |

## 4 Következtetések

A végeelem modell általános, minimális térfogatú geometriája meghatározható, adott kezdeti és peremfeltételek mellett. Általánosságban elmondható a modellről, hogy állandó hőmérséklet ( $T$ ) és növekvő hőátadási tényező ( $h$ ) értékek mellett a magasság nő, illetve állandó hővezetési tényező ( $h$ ) és növekvő hőmérséklet ( $T$ ) mellett a magasság csökken a geometria felső szakaszát illetően. Ezzel ellentétben állandó hőmérséklet ( $T$ ) és növekvő hőátadási tényező ( $h$ ) értékek mellett a magasság csökken, illetve állandó hővezetési tényező ( $h$ ) és növekvő hőmérséklet ( $T$ ) mellett a magasság nő a talajjal érintkező szakaszán a modellnek.

Az eredmények alapján belátható, hogy a modell magassági koordinátáihoz tartozó, adott hosszúságú szakaszon a hőmérséklet változás sebessége közel konstans, így a modelltől - valamint ezek alapján a technológiai próbákból - hőtani szempontból elhagyható. Tehát adott anyagjellemzőkkel és az általam vizsgált hőtani feltételek mellett a betontest vizsgálatára alkalmas geometriai modell minimális magassága 1,3 méter és 2,2 méter közötti érték (természetesen az adott  $T$  és  $h$  értékek figyelembevételével).

A kísérletterv eredményeinek értékelése alapján továbbá megállapítható, hogy a hőátadási tényező ( $h$ ) értéke a minimális modell magasságot jobban befolyásolja, mint a környezeti hőmérséklet.

Abban az esetben, ha  $t=30$  (°C) és  $h=5$  (W/m<sup>2</sup>K), akkor a talaj és levegő hőelvonó képessége hasonló, így a geometriai modell talajtól és a szabad - azaz levegővel / zsaluzattal érintkező - felülettől is azonos, 1 méteres távolságot határoz meg.

### Irodalomjegyzék

- [1] Azenha M, Faria R, Ferreira D. Identification of early-age concrete temperatures and strains: monitoring and numerical simulation. *Cement & Concrete Comp* 2009; 31(6):369-378.
- [2] Bennet Kuriakose, B. Nageswara Rao, G. R. Dodagoudar :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
- [3] T. Honorio (2014) et al.: Evaluation of the contribution of boundary and initial conditions in the chemo-thermal analysis of a massive concrete structure, *Engineering Structures* 80 (2014), pp 173-188