

VASBETON MŰTÁRGYAK KÖTÉS KÖZBENI HŐMÉRSÉKLET KÜLÖNBSÉGE ELTÉRŐ BETONACÉL MENNYISÉGEK ESETÉN

THE TEMPERATURE DIFFERENCE OF THE REINFORCED MASS CONCRETE STRUCTURES IN A FUNCTION OF THE APPLIED REBAR QUANTITY

Domonyi Erzsébet domonyi.erzsebet@bgk.uni-obuda.hu, Prof. Dr. M. Csizmadia Béla csizmadia.bela@gek.szie.hu, Prof. Dr. habil Telekes Gábor telekes.gabor@ybl.szie.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

The concrete and the reinforced concrete structures capacity have been defined by external loads, environmental effect, mechanical strength and durability. The heat generation of the chemical bond causes the thermal cracks in a case of mass concrete structures is one of the main designing problem. In this paper the authors calculate the temperature distortion in the case of different amount of reinforced steel with the help of finite element modelling and the maximum temperature differences have been compared with the rebar quantity of the reinforced mass concrete structure.

1. BEVEZETÉS

A beton kötőanyaga a cement, amely a keverővízzel kémiai reakciót indít. A kötéshez szükséges vízmennyiség betonban tartásáról vagy pótlásáról utókezeléssel kell gondoskodni. A folyamat során keletkező hidratációs hő a korai kötési szakaszban a legjelentősebb mértékű, amely a keverővíz mennyiségének gyors csökkenését elősegíti. A normál szerkezeti vastagságú betonoknál az utókezelés felszíni vízutánpótlással vagy filmképző utókezelő szerek alkalmazásával megoldható, ezzel elkerülve a beton víztartalmának túl korai elvesztését.

Tömegbetonok esetében, amely szerkezetek a 40 cm-es vastagságot meghaladják, már a fent említett utókezelési eljárások nem alkalmazhatók megbízhatóan, további intézkedéseket kell megtenni a repedésveszély kialakulásának megelőzése érdekében. A tömegbetonok belsejében kialakuló adiabatikus környezet a korai kötési szakaszban hőelvezetési problémát okoz. Amennyiben a betontest magja és a felszíne között kialakuló hőmérséklet különbség hatására létrejövő húzófeszültség magasabb, mint a beton saját húzófeszültsége, úgy a szerkezet károsodása elkerülhetetlen [1].

A mérnöki gyakorlat és a szabvány ezt a ΔT hőmérséklet különbséget 20 °C-ban maximalizálta. A szerkezettervezés és kivitelezés során betontechnológiai szempontból a betonkeverék összeállítása mellett figyelembe kell venni a betonozáskori környezeti hőmérsékletet (téli és nyári betonozás) valamint a bedolgozásra váró betonkeverék hőmérsékletét egyaránt, a kialakítandó geometriára tekintettel [2].

A tartós beton készítésének alapvető ismérvei: alacsony víztartalom, minél nagyobb tömörség és gondos utókezelés. Az utókezelés a beton bedolgozását követően azonnal meg kell kezdeni, vízzel történő permetezéssel, elárasztással, fóliatakarással, zsaluzatban tartással. A környezeti hőmérséklettől és a betonszerkezet típusától függően a beton nedvesen tartásáról 7-21 napon keresztül kell gondoskodni.

A tömegbetonok legtöbbször vasbeton szerkezetek (hídpillérek, silók, tartályok, életvédelmi létesítmények), ahol a beton és betonacél hőtágulási együtthatója közel azonos, így a tömegbetonok esetén a kötéskori - anyagtól függő - hőtágulás számottevő többlet feszültséget nem okoz.

B. Klemczak és mtsa [3] cikkükben vasbeton tartály és vasbeton híd-elem repedéseinek okait vizsgálják. A szerkezet szilárdságát biztosító betonösszetétel eléréséhez CEM I típusú kötőanyagot előíró szabályozás figyelmen kívül hagyta a cement típus nagy hőtermelését, amelynek használata nagyobb repedéskockázatot jelent. Állításait numerikus modellel igazolják.

X. Song. és mtsai. [4] arra hívják fel a figyelmet, hogy a vasbeton szerkezeteken kialakuló repeséseken keresztül a betonacélt érő hatások az acél korrózióját elősegíthetik. Vizsgálataik a beton és a betonacél közötti kötéskori kapcsolatot célozzák; az idő függvényében állapítják meg a kötéskori

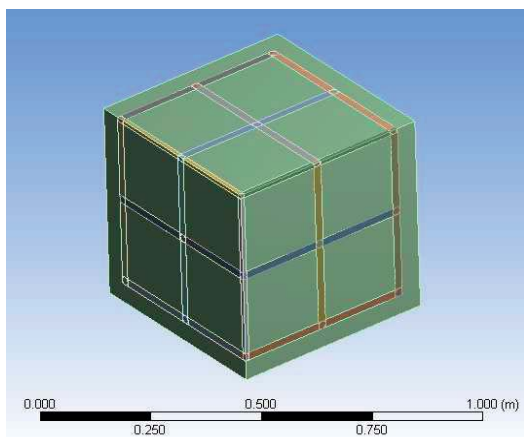
összetartó erőket, nyomószilárdságot a fiatal betonban.

Korábbi cikkükben a szerzők [5] betonacél nélküli és betonacélokkal erősített tömegbeton modellt készítettek és vizsgálták végelem módszerrel a vasalás befolyásoló hatását. Megállapították, hogy a betonacélok alacsony környezeti hőmérséklet és magas hőátadási tényező esetében is jelentősen csökkenthetik a repedésveszélyt.

Cikkünkben a vasbeton szerkezetek hőelvezető tulajdonságait megismerve azt vizsgáljuk, hogy a betontest magjában és felszínén kialakuló minimum és maximum hőmérsékletek, ill. hőmérséklet különbség hogyan változik eltérő mennyiségű betonacél esetében.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

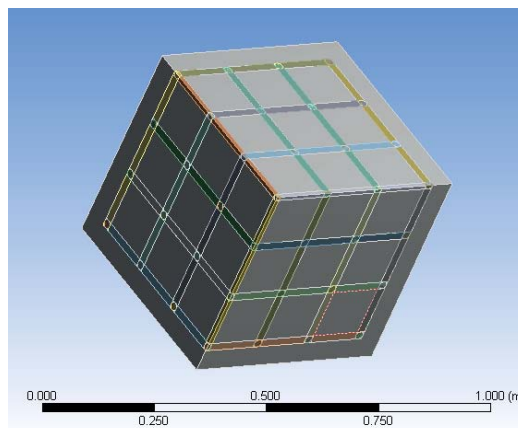
A vizsgálatot nemlineáris végelem modell segítségével végeztük el Ansys 12.0 keretrendszerben.



1. ábra. A betonacélok elhelyezkedése a modellben 22,5 cm osztásközzel

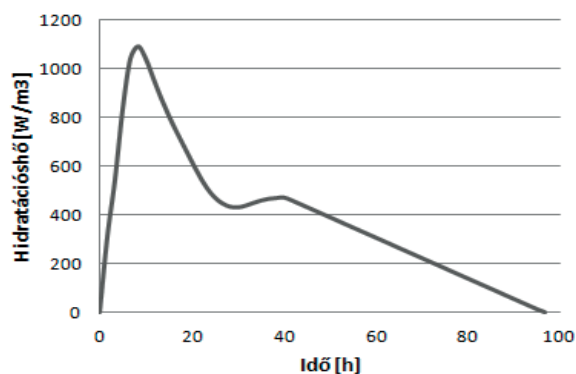
A vizsgált rendszerben a betonmodell, beton és vasbeton szerkezet készítésére alkalmas $\rho_t = 2400 \text{ kg/m}^3$ testsűrűségű, képlékeny konzisztenciájú betonkeverék.

A végelem modell 20 mm-es átmérőjű, egymástól 14,5 cm illetve 22,5 cm osztásközzel elhelyezkedő, egyenletes eloszlású szerkezeti betonacélokat tartalmaz, amelyek betonban lévő helyzete az 1. és 2. ábrán láthatók. A minimális betontakarás szabályait figyelembe vettük a modell kialakításakor. A ritkább osztásközü betonacél mennyisége is kielégíti a minimális vasalás követelményeit az ahhoz tartozó beton keresztmetszetben.



2. ábra. A betonacélok elhelyezkedése a modellben 14,5 cm osztásközzel

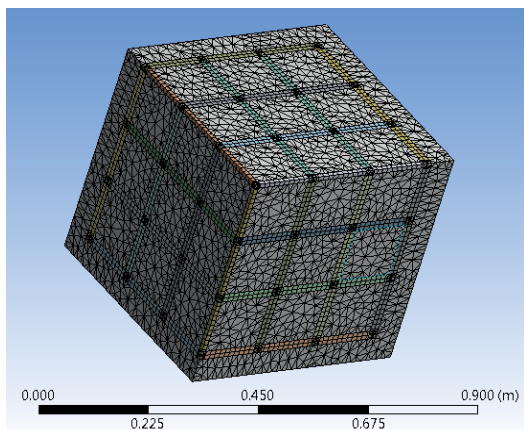
A betonkeverék összeállításánál tömegbetonok készítéséhez ajánlott, CEM III B 32,5 N jelű, mérsékelt kezdőszilárdságú, jelentős utószilárdulású, kis hőfejlesztésű cementet használtunk, amelynek hőtermelését a 3. ábra szemlélteti. A hidratációs hő a 8,3 órában éri el a maximumát.



3. ábra. A CEM III B 32,5 N jelű cement hőtermelése az idő függvényében

A végelemes modellnél kialakított geometria mindkét esetben 1 méteres élhosszúságú kocka. A modellezéskor a vizsgált térfogat nyolcadát készítettük el, amelyre a folytonossági kritériumokat peremfeltételekkel definiáltuk. A geometriai modell két szilárdtestet tartalmaz - beton és betonacél - azonos finomságú hálózással és peremfeltételekkel. A hálózás méretét tekintve a pontosabb eredmények érdekében finomhálózást (4. ábra) választottunk az elemzéshez.

A kísérlettér meghatározásakor, az anyagjellemzőket és a peremfeltételeket definiáltuk.



4. ábra. A végeelem modell hálózása

Azonos betonösszetétel mellett, a környezeti hőmérséklet és a hőátadási tényező értékeit a lehetséges szigetelési és utókezelési megoldások tekintetében vettük figyelembe, amelyeket az 1. táblázatban foglaltuk össze.

1. táblázat. A vizsgálatkor használt anyagjellemzők és peremfeltételek

Anyagjellemzők	Beton		Betonacél	
	Fajhő [J/(kgK)]	1228		434
Hővezetési tényező [W/(m ² K)]	3,5		60,5	
Testsűrűség [kg/m ³]	2400		7850	
Peremfeltételek	Hőszigetelés		Évszak	
	van	nincs	tél	nyár
Hőátadási tényező [W/m ² K]	5	30	-	-
Környezeti hőmérséklet [°C]	-	-	5	30

A frissbeton bedolgozási hőmérséklete minden esetben 25 °C volt. A téli betonozáskor ezt a hőmérsékletet legtöbb esetben meleg keverővíz hozzáadásával biztosítják.

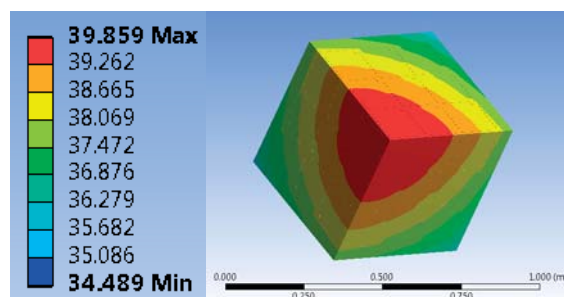
Az eredmények kiértékelésekor a peremfeltételeket változtatva, az egyes beállításokra vonatkoztatva a kialakult minimum és maximum hőmérsékletek időbeni változását vizsgáltuk mindkét modellenél.

3. EREDMÉNYEK

A vizsgálat eredményeit az eltérő mennyiségű betonacéllal elkészített modellek esetén a 2. táblázatban foglaltuk össze.

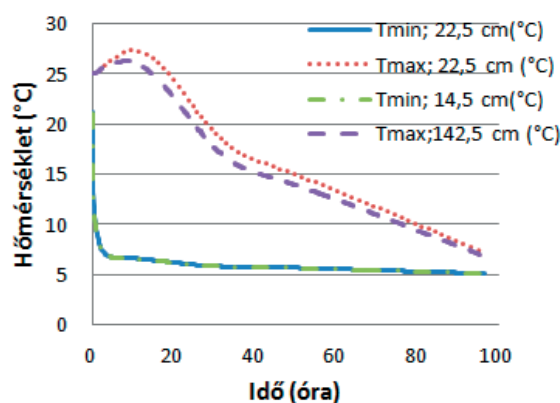
Az elemzés eredményeképpen elmondható, hogy mindkét modell esetében a minimum és maximum hőmérséklet időbeni változása hasonló volt. A vizsgált geometria középpontjában alakult ki a legmagasabb, a

sarokpontokon pedig a legalacsonyabb hőmérséklet (5. ábra).



5. ábra. A vasbeton modell szimmetriasíkjában a hőmérséklet eloszlás $h=5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, valamint $T=30^\circ\text{C}$ esetén

A 6. ábrán látható diagram is jól szemlélteti, hogy a hőmérsékleti minimumok alig mutatnak eltérést a különböző mennyiségű betonacélok esetén. A hőmérsékleti maximumok viszont jellemzően a 22,5 cm-es osztásközű betonacélok esetében magasabbak, mint a 14,5 cm-es osztásköz esetén.



6. ábra. A minimum és maximum hőmérsékletek alakulása $h=30 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, valamint $T=5^\circ\text{C}$ esetén az idő függvényében

Az 6. ábrán bemutatott és a többi, vizsgált esetben is elmondható, hogy a ΔT hőmérséklet különbség mértékét a betontestben kialakuló hőmérsékleti maximumok határozzák meg.

Az elemzés során az is kiderült, hogy a két modell esetében a sűrűbb osztásközű betonacél alkalmazásakor a ΔT hőmérséklet különbség korábbi időpontban érte el maximumát, mint a ritkább vasalás esetén.

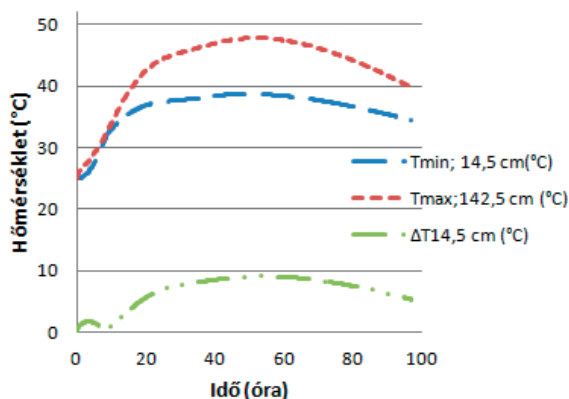
A téli betonozás esetén, ahol a környezeti hőmérséklet $T=5 \text{ [}^\circ\text{C]}$ már jelentősen befolyásolja a hőmérséklet különbségek alakulását. A szigetelés alkalmazásakor, ahol $h=5 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ és $T=5 \text{ [}^\circ\text{C]}$ a sűrűbb osztásközű betonacél alkalmazása mellett a betonban kialakuló $36,77 \text{ }^\circ\text{C}$ -os maximális hőmérséklet a 21,67. órában tapasztalható. A 15.-16. órában

fellépő maximális hőmérséklet különbség viszont így sem éri el a repedéskockázattal járó 20 °C-ot.

2. táblázat. A vizsgálat eredményei

Peremfeltételek	Betonacélok távolsága: 22,5 [cm]		Betonacélok távolsága: 14,5 [cm]	
	ΔT_{\max} [°C]	Idő [h]	ΔT_{\max} [°C]	Idő [h]
h=5 [W/m ² K] T=5 [°C]	16,23	23,41	15,06	22,73
h=5 [W/m ² K] T=30 [°C]	10,00	54,06	9,12	53,73
h=30 [W/m ² K] T=5 [°C]	20,77	10,56	19,61	8,73
h=30 [W/m ² K] T=30 [°C]	11,09	23,06	10,24	22,04

A legkisebb hőmérséklet különbség a h=5 [W/m²K] T=30 [°C] peremfeltételek esetén alakult ki (7. ábra), ami nyári betonozást szemléltetett, ahol a zsaluzatot hőszigetelő lemezekkel egészítették ki. Annak ellenére, hogy a hőmérsékleti maximum az 51,68 órában a 47,81°C-os hőmérsékletet is elérte a hőszigetelő lemezek hatására az elnyújtott hőtermelés következtében nem tudott kialakulni 10 °C -nál magasabb hőmérséklet különbség a betonmodellben.



7. ábra. A minimum és maximum hőmérsékletek valamint a hőmérséklet különbség alakulása h=5 W/(m²K), valamint T=30°C esetén az idő függvényében

Ehhez hasonlóan a nyári betonozást feltételező h=30 [W/m²K] és T=30 [°C] peremfeltételek mellett, szigetetlen zsaluzat esetében sem tudott kialakulni a repedésveszélyt

előidéző hőmérséklet különbség, annak időbeni maximuma viszont a 22.-23. órában alakult ki, mindkét modell esetén.

Az elemzés eredményeképpen elmondható, hogy a repedés kialakulása a h=30 [W/m²K] hőátadási tényező és T=5 [°C] környezeti hőmérsékleti feltételek esetén a legvalószínűbb, amely a szerkezet károsodását okozhatja. A hőszigetelés nélkül hagyott zsaluzat a téli betonozáskor előidézheti a tönkremenetelt. A kialakult 20,77 °C-os hőmérséklet különbség a megengedett 20 °C-os hőmérsékleti különbséget meghaladta a 10,56. órában. Viszont a 14,5 cm-es osztásközü vasalás esetén a ΔT hőmérséklet különbség 19,61 °C-ra csökkent a 8,73. órában.

4. KÖVETKEZTETÉSEK

A vizsgált betontérfogatban eltérő mennyiségű betonacélok hatása az alkalmazott kezdeti és peremfeltételek esetében hőtani szempontból mutatott eltérést.

Egyértelműen igazolást nyert, hogy a nagyobb mennyiségű betonacél használata a környezeti hőmérséklettől és a hőátadási tényezőtől függetlenül minden esetben csökkentette a szerkezetben kialakuló maximális hőmérséklet különbséget. Ennek következtében már a tartószerkezet előre jelezhető a betonacél mennyiségének ismeretében a repedéskockázat.

5. 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] Yunus Ballim: A numerical model and associated calorimeter for predicting temperature profiles in mass concrete, Cement & Concrete Compositors 26, 2004, pp. 695-703
- [3] B. Klemczak, Agnieszka Knoppik-Wróbel: Reinforced concrete tank walls and bridge abutments: Early-age behaviour, analytic approaches and numerical models, Engineering Structures 84 (2015) pp. 233–251
- [4] Xiaobin Song, Yeqi Li, Chao Chen, Feng Lin, Susu Shang: Modeling early age RC slab cracking considering time-dependent bond behaviour, Engineering Structures 138 (2017) pp. 27–34
- [5] 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)