Nagy Balázs, Paulik Emese

Vasbeton szerkezetek hővezetési tulajdonságai

Az épülethatároló szerkezetek és az őket alkotó rétegek hőtechnikai viselkedésének lehető legpontosabb ismerete elengedhetetlenül fontos napjaink magasépítési gyakorlatában, melyet mind az épületeink épületszerkezeti vagy energetikai tervezésénél és tanúsításánál számításba kell vennünk, de tartószerkezeti tervezésénél is oda kell figyelnünk rá.

1. Bevezetés

A vasbeton szerkezetű épületek esetében a gyakorlati tervezés során energiahatékonysági szempontok azonban ritkán kerülnek előtérbe. Pedig felmerülhet a kérdés, hogy van-e ráhatása a tartószerkezeti tervezésnek, a vasalás kialakításának a vasbeton födémek és oszlopok hőtechnikai tulajdonságaiban. A szakemberek a vasbeton szerkezetek hőtechnikai számításai során jelenleg a hatályos szabványokra, azaz az MSZ 24140:2015 [1] és az MSZ EN ISO 10456:2008 [2] szabványokban megtalálható hővezetési tényezőkre hagyatkozhatnak. Előbbiben csupán egy érték található a vasbetonra, de számos érték a további különféle betonokra, utóbbiban pedig a hővezetési tényező értékek testsűrűség-alapú bontásban vonatkoznak betonokra és vasbetonokra (utóbbi esetben csupán 1, illetve 2%-os vashányadra térnek ki), egyéb tulajdonságokat (pl. szerkezeti kialakítás, vasalás iránya, összetétele stb.) egyáltalán nem említenek.

Cikkünkben vasbeton szerkezetű záróföldémek és oszlopok hővezetésének vizsgálatával, laboratóriumi, valamint szimulációs modellezésével foglalkozunk, mely során a vasbeton szerkezet kialakításával és modellezésével kapcsolatos részletekkel is foglalkozni kívánunk.

2. Szakirodalom és szabványok

A hazai szakemberek jelenleg is nagyszámban alkalmazzák a 2012-ben visszavont MSZ 04-140/2:1991 szabványt [3] az épületenergetikai számítások, valamint a tartószerkezeti, illetve gépészeti méretezés esetén. A probléma alapja, hogy a jelenleg hatályban lévő szabványokban eltérő hővezetési tulajdonságokkal szerepelnek a beton és vasbeton szerkezetek, a különbség pedig igencsak jelentős, lásd az *1. táblázatban* szereplő értékeket.

1-es indexszel a deklarált értékeket, míg 2-es indexszel a tervezési értékeket jelöljük. Ha tehát a szabványban megadott 2,5 W/mK hővezetési tényezőjű vasbetonunkat a deklarált 10 °C és száraz állapot helyett 23 °C-on és 50%-os relatív légnedvesség melletti nedvességtartalom esetén (mely a szabványban közöltek alapján 0,025 m^3/m^3) alkalmazzuk (például egy zárófödém esetén, amelyen külső oldali hőszigetelés került elhelyezésre), akkor $2{,}5 \cdot e^{0{,}001 \cdot (23-10)} \cdot e^{4 \cdot (0{,}025-0)} =$ 2,8 W/mK-t kapunk.

Szabvány	Megnevezés	Testsűrűség ρ [kg/m³]	Hővezetési tényező λ [W/mK]
MSZ 04-140/2:1991	vasbeton	2400	1,55
	kavicsbeton	2200	1,28
MSZ 24140:2015	vasbeton	2400	2,5
	kavicsbeton	2200	2,0
MSZ EN ISO 10456:2008	közepes testsűrűségű betonok	1800	1,15
		2000	1,35
		2200	1,65
	nagy testsűrűségű beton	2400	2,0
	vasbeton (1%-os vashányaddal)	2300	2,3
	vasbeton (2%-os vashányaddal)	2400	2,5
	acél	7800	50
	rozsdamentes – ausztenites vagy ausztenites ferrites	7900	17
	rozsdamentes – ferrites vagy martenzites	7900	30

1. táblázat: **Magyar szabványokban található hővezetési tényezők kavicsbeton, vasbeton, illetve acél esetén**

Az MSZ EN ISO szabvány értékei alkalmazásuk esetén további korrekciókra szorulnak, a szabvány deklarált hővezetési tényezőket közöl. A korrekt számításokhoz háromféle korrekciót kell elvégeznünk: hőmérsékleti, nedvességtartalmi valamint öregedési korrekciókat, melyek közül az utóbbit mind a szabvány, mind a szakemberek el szokták hanyagolni. A konverziókat a következő képletek alkalmazásával végezhetjük el:

$$F_T = e^{f_T(T_2-T_1)} \quad (1)$$

$$F_m = e^{f_\psi(\psi_2-\psi_1)} \quad (2)$$

$$\lambda_2 = \lambda_1 \cdot F_T \cdot F_m \cdot F_a \quad (3)$$

ahol F_T, F_m és F_a a hőmérsékleti, a nedvességtartalom- és az avulási (öregedési) átszámítási tényezők, utóbbi szabványos értéke F_a=1. Az átszámítási tényezőket az anyagokra jellemző f_T hőmérsékleti és f_ψ nedvességtartalmi konverziós együtthatókkal számíthatjuk, melyek értéke beton- és vasbeton szerkezetek esetén f_T = 0,001 1/K és f_ψ = 4 m^3/m^3. Az összefüggésekben

A táblázatosan összegyűjtött hővezetési tényezők mellett a szakirodalomban, valamint a tervezési gyakorlatban további értékek is előfordulnak. A mechanikai, valamint hőtechnikai szimulációk alkalmazott ANSYS szoftverben például a beépített anyagtárban a betont csupán 0,72 W/mK értékkel találhatjuk meg, a szerkezeti acél anyagtulajdonságai között azonban 60,5 W/mK-es hővezetési tényező szerepel. Ez azt jelenti, hogy azon gyakorló szerkezettervező mérnökök, akik egyben hőtechnikai vizsgálatokat is futtatnak „gyári" beállítások mellett, egyáltalán nem szabványos értékekkel veszik figyelembe a hőtechnikai tulajdonságokat. Hugo Hens *Applied Building Physics* (Alkalmazott Épületfizika) című könyvében [3] összefoglalja a különböző szabványokban megtalálható, valamint kutatásokon alapuló hőtechnikai adatokat. A hazánkban is érvényben lévő EN ISO 10456-os szabvány mellett meg kell említenünk a holland NBN B 62-002:2001 szabványt, mely kifejezetten részletesen tárgyalja az anyagjellemzőket. Testsűrűségek szerint csoportokba sorolva különbséget tesz a külső és belső hővezetési tényezőben azáltal, hogy belső oldalon 23 °C és 50%-os relatív légnedvesség-tartalom, míg a külső oldalon 10 °C és 80%-os relatív légnedvesség-tartalom melletti anyagnedvességet ad meg, melyeket a *2. táblázatban* közlünk. Az értékek ilyen módon való közlésével a holland szabvány gyakorlatilag megkíméli a szakembereket a hőmérsékleti és nedvességtartalmi konverziós számítások elvégzésétől.

Nemzetközi tudományos folyóiratokban is számos kutatást publikáltak a betonok és vasbetonok hővezetési tulajdonságaival kapcsolatban, melyek azonban leginkább a könnyűbetonok hőszigetelő képességének vizsgálatával, vagy a beton és vasbeton szerkezetek emelt hőmérsékleten (pl. tűzteher) való viselkedésével foglalkoznak. Például Tasdemir [5] tanulmányozta a könnyűbetonok hővezetési tulajdonságait, Yun és társai [6] a hőszigetelt betonok adalékanyag-függő hőtechnikai tulajdonságaival kapcsolatban folytattak vizsgálatokat. Mindketten lineáris összefüggést állapítottak meg a tulajdonságok változtatásával kapcsolatban. Toman és Cerny [7] a nagy szilárdságú betonok hővezetési tulajdonságát vizsgálták 200 °C és 1000 °C között, és bemutatták, hogy a nagy szilárdságú betonok minimális hővezetési tényezője megközelítőleg 400 °C-on van. Cowan [8] a vasbeton szerkezetek tűzzel szembeni hőtechnikai viselkedését kutatta numerikus szimulációs technikával.

Szabvány	Megnevezés	Testsűrűség ρ [kg/m³]	Belső hővezetési tényező λ_{ui} [W/mK]	Külső hővezetési tényező λ_{ue} [W/mK]
NBN B 62-002:2001	kavicsbeton	2000-2100	1,44	1,86
	kavicsbeton	2100-2200	1,57	2,04
	kavicsbeton	2200-2300	1,72	2,24
	acél	7800	45	45

2. táblázat: **Holland szabványban található hővezetési tényező értékek**

Kanbur és társai [9] egy hűtővíztartály vasbeton pilléreinek részleteit vizsgálták hőtechnikai szempontokból laboratóriumban, valamint számítógépes szimulációval. Három különböző próbatestet készítettek, egy etalont (vasalás nélkülit), valamint egy 10 mm és egy 12 mm-es átmérőjű betonacéllal tervezettet. A próbatestek elkészítése és vizsgálata után a számítógépes modelleket ANSYS szoftverkörnyezetben modellezték. Eredményeik bemutatták, hogy a vizsgált szerkezetnél a hővezetés lényegesen nagyobb, mint az etalon modellekben, azonban a török kutatók a hőmérsékleti peremfeltételeket nem szabványosan vették fel és vizsgálataikat egy vasalásra merőleges keresztmetszetben végezték, így a hőterhekkel követlenül, betonfedés nélkül érintkeztek a betonacélok.

Cikkünk további részében vasbeton szerkezetek hővezetési tulajdonságainak kísérleti és szimulációs meghatározásának bemutatásával, valamint a kutatási eredmények ismertetésével folytatjuk, mely kutatást 2015–2016-ban, a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékének Anyagvizsgáló Laboratóriumában, valamint Épületfizika Laboratóriumában végeztünk. A szerkezettervezésben Laczák Lili (a BME Hidak és Szerkezetek Tanszékének doktorandusza), a beton próbatestek elkészítésében pedig Salem G. Nehme (a BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszékének egyetemi docense) működött közre.

3. Vasbeton szerkezetek vasalásfüggő hővezetési tényezőjének meghatározása

3.1 A laboratóriumi kísérletek bemutatása

A laboratóriumi vizsgálatok során hővezetésitényező-méréseket végeztünk kicsinyített 1:2 méretarányú födémelemeken, mely eredmények azon túl, hogy önmagukban is értékesek, további információkat nyújtottak számunkra a szimulációs kísérleteink igazolásához.

A vizsgálatokhoz a próbatesteket 20 cm × 20 cm × 10 cm méretben készítettük el a Taurus TLP 300 hővezetésitényező-mérő berendezés befogadó képességei miatt. A műszer miatt tehát kicsinyítenünk kellett, az 1:2-es méretarány miatt pedig a próbatesteinket 4, 5 és 6 mm-es átmérőjű betonacélokkal és C30/37-es szilárdsági osztályú betont terveztünk és készítettük el, azaz

1. ábra: **A próbatestek készítésének folyamata**

a vizsgálati eredményeink olyan vasbeton födémekre vonatkoznak, melyek 8, 10 vagy 12 mm-es betonacélokkal készülnek. A kicsinyítés arányának megfelelően a beton maximális adalékanyagszemnagyságát is a felére csökkentettük ($d_{max,eredeti}$ = 16 mm, míg $d_{max,kicsinyített}$ = 8 mm). A födémrészek zsaluzatát 30 cm × 30 cm × 10 cm-es zsaluzatból, kiszorításos módszerrel készítettük el, így lehetőségünk nyílt a betonacélokat a kiszorító PS-hab idomokban rögzíteni, azok a próbatestek betonozása során nem mozdultak el. A betonozás során a beton vibrálásához tűvibrátort alkalmaztunk. A próbatesteket 1 napos korban kizsaluzás után az alsó és felső oldalukon párhuzamosra csiszoltuk, hogy a peremvédett segédfűtőlapos hővezetésitényező-mérő berendezés érzékelői tökéletesen illeszkedjenek a mérendő felületekre. A födémrészeket vegyesen tároltuk, hét napig vízben, majd huszonegy napig kondicionált (23 °C és 50% relatív légnedvesség) laborlevegőn. A betonozás során szabványos próbakockákat is készítettünk, melyeket huszonnyolc napos korban vizsgálva a beton a tervezettnek megfelelőnek minősült. A folyamatot az *1. ábra* szemlélteti.

A hővezetési tényező mérését megelőzően a próbatesteket tömegállandóságig szárítottuk, majd a vizsgálat előtt 23 °C fokosra kondicionáltuk vissza 0% közeli relatív légnedvességű zárt tárolóban. A műszerbe helyezés előtt a próbatestek méretét és tömegét ismét lemértük, majd kiegészítő peremvédelemmel láttuk el: alumíniumfóliával és üveggyapot hőszigeteléssel. Előbbi a laborlevegő nedvességtartalmának, utóbbi a laborhőmérséklet zavaró hatásainak kiszűrésére alkalmas. Próbatestenként három mérést végeztünk (15/25 és 20/30 hőlépcsőkkel), az eredményeket ezután 23 °C-on és 0%-os relatív légnedvesség értéken (száraz állapotban), azaz az MSZ EN ISO 10456:2008 szabvány szerinti II. a) deklarálási osztály szerint állapítottuk meg. A mérés folyamatát a *2. ábra* mutatja be, mely során az MSZ EN 12664:2001 szabvány [10] szerint jártunk el. A deklarált hővezetési tényezőket a *3. táblázatban* összegeztük, vastaggal szedve jelöltük a mérés során közvetlenül kapott értékeket, míg a többi eredmény az előbbiekben bemutatott (1), (2) és (3)-as egyenletek felhasználásával átszámított értékek különböző környezeti körülmények esetére. A jelölésben RC elnevezés után az acélbetétek irányonkénti mennyisége, valamint átmérője szerepel. Megfigyelhető, hogy az általunk mért és számított értékek alatta maradnak a jelenleg hatályos szabványos értékeknek, azonban meg kell jegyeznünk, hogy a betonok hővezetési tényezőjét jelentősen képes befolyásolni a testsűrűségük, valamint az adalékanyag, a cement, az adalékszerek, illetve a porozitásuk is, melyekről a szabványban nem esik szó.

2. ábra: **A próbatestek készítésének folyamata**

szemléltetünk. A mérés és szimuláció során látható, hogy a próbatesteket elforgatva vizsgálatuk, mivel a Taurus berendezés fűtőlapja felül, a hűtőlap pedig alul helyezkedik el.

A numerikus szimulációval kapott eredmények tehát validáltuk. Ez azt jelenti, hogy a szoftverrel készített szimulációk eredményei vasbeton szerkezetek esetén megegyeznének a laboratóriumban mért értékekkel. Utóbbira csak kis próbatestek esetén van lehetőség laboratóriumban. Helyszíni méréseket pedig igen nagy körültekintéssel, ráadásul csak kvázi homogénnek tekinthető szerkezetek esetén tudunk végezni, a vasbeton szerkezetek vasalásfüggő tulajdonságait csak rendkívül költségesen (nagymodell-kísérlet, hőáramszenzorok stb.) vagy hibásan tudnánk csak vizsgálni (pl. pontbeli felületi mérésekkel).

A körülmények miatt tehát a továbbiakban numerikus szimulációs kísérleteket végeztünk zárófödémek, illetve oszlopok esetén, különböző betonacél átmérők és kialakítások eseteire.

Először megterveztük a szerkezetek vasalását, mely során a 6 m × 6 m-es zárófödém lemezt extenzív, illetve intenzív zöldtetős felépítményre méreteztük, az oszlopunkat pedig eltérő kengyelezésekkel vizsgáltuk. Azonban a szimuláció során a számítási kapacitás végessége miatt (a szimulációk futtatását 2 × 16 logikai processzoros Intel Xeon szimulációs munkaállomáson, 64 GB RAM foglalása mellett végezhettük NVidia Quadro grafikus kiegészítő kártya alkalmazása mellett) egyszerűsítéseket kellett tennünk.

Az egyik egyszerűsítés a betonacél geometriai egyszerűsítése volt, mely során vizsgáltuk a valós kialakítású betonacél (MSZ EN 10080:2005) helyettesíthetőségét henger, valamint nyolcszög alapú hasáb esetén is. Mivel a nyolcszög alapú hasábbal modellezett szerkezetek nem adtak számottevő eltérést (az eredmény kevesebb mint 1%-kal tért csupán el), de mind a végeselemes hálófelbontás, mind pedig a futtatási idő drasztikusan csökkent, ezért a továbbiakban a betonacélokat leegyszerűsítettük.

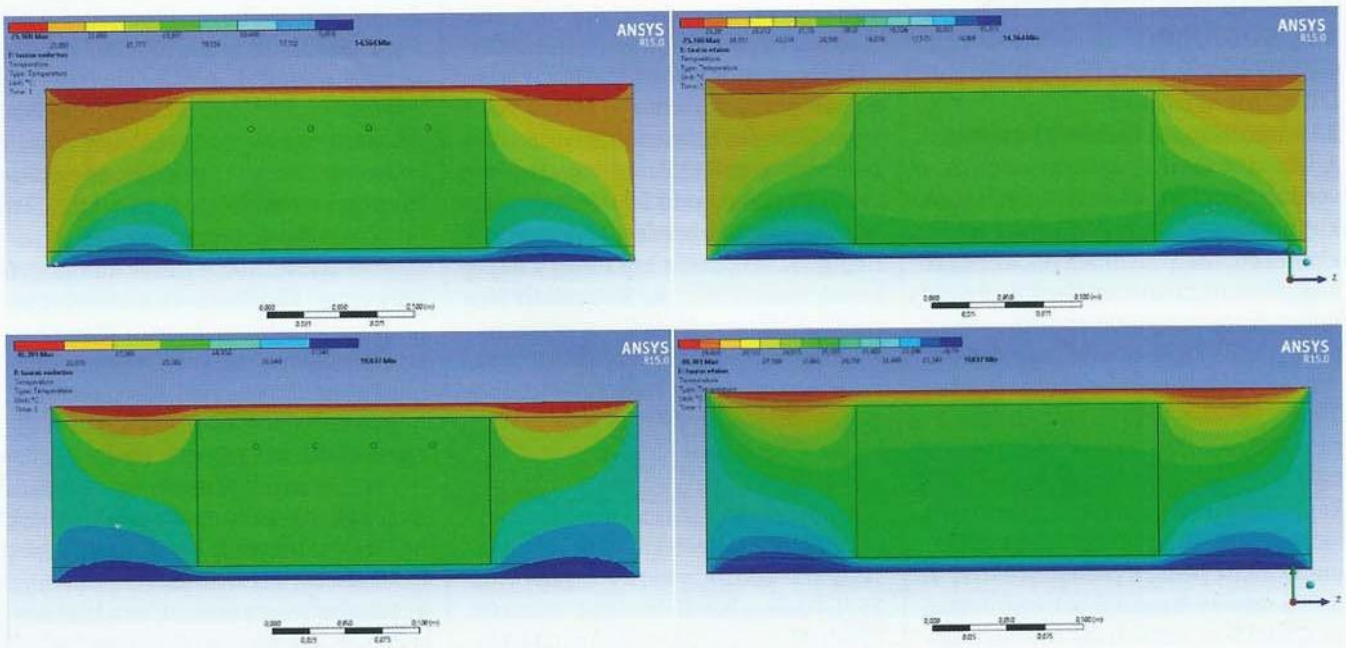
Vizsgáltuk továbbá, hogy a zárófödém esetén elhanyagolhatjuk-e a zsámolyvasakat a modellből, mellyel számottevő számítási időt tudunk ismételten spórolni. A vizsgálat érdekessége, hogy födémlemezek a zsámolyvason kívül gyakorlatilag számottevően csak a hőáramokkal párhuzamos vasalást tartalmaznak. A vizsgálataink igazolták, hogy a zsámolyvasak elhanyagolása abban az esetben nem befolyásolja az eredményt (azaz 2%-kal kisebb eltérést tapasztalunk a vasbeton födémek hővezetési tényezőjében),

Körülmények		RC-0		RC-4 8mm		RC-2 10mm		RC-1 12mm	
		23 °C	10 °C	23 °C	10 °C	23 °C	10 °C	23 °C	10 °C
Légnedvesség	0%	**1,46**	1,44	**1,48**	1,46	**1,47**	1,45	**1,47**	1,45
	50%	1,61	1,59	1,63	1,61	1,62	1,60	1,62	1,60
	80%	1,71	1,69	1,73	1,71	1,72	1,70	1,72	1,70

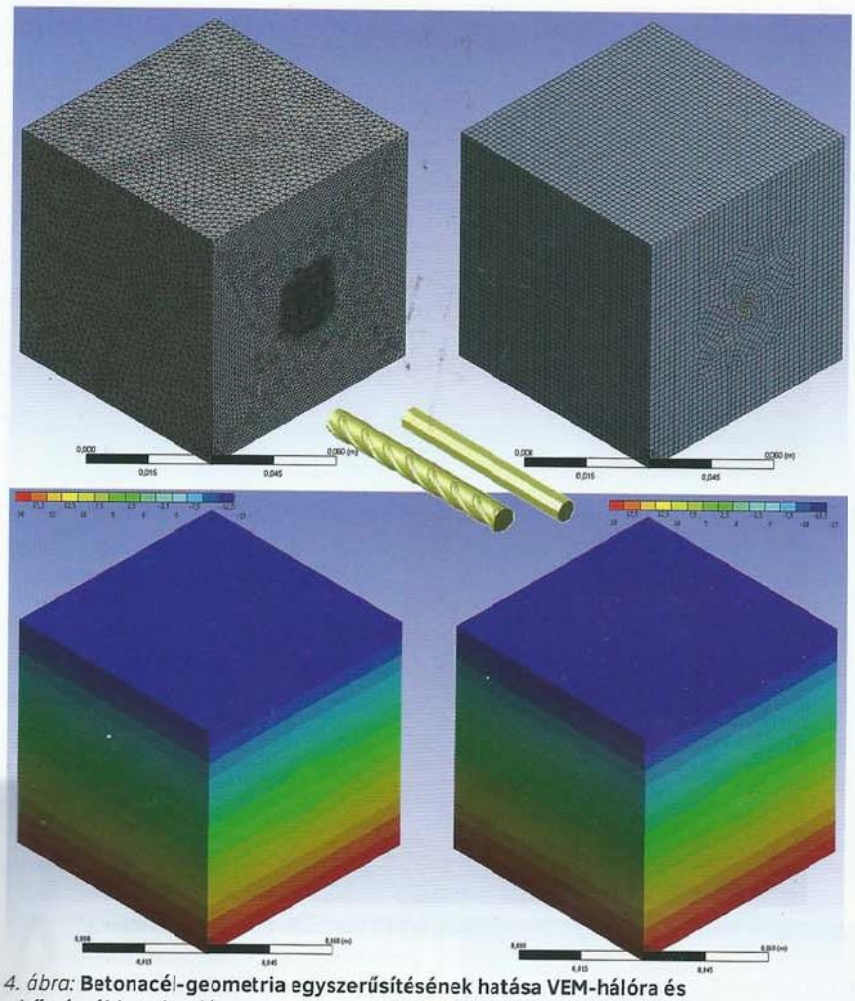
3. táblázat: **Mért és számított hővezetési tényezők, λ [W/mK]**

3.2 A szimulációs vizsgálatok bemutatása

A szimulációs vizsgálatok elvégzésére ANSYS szoftverkörnyezetet választottunk. A laborvizsgálatokkal kapott eredményekkel először ellenőriztük a szoftver Mechanical moduljának hőtechnikai számításait, azaz elkészítettük a próbatesteink háromdimenziós modelljeit, majd a labormérés paramétereivel és a mérés során kapott anyagtulajdonságokkal futattunk szimulációkat, melyeket a *3. ábrán*



3. ábra: **A laboratóriumi mérések szimulációs vizsgálata és igazolása, a hőmérséklet-eloszlás ábrája**



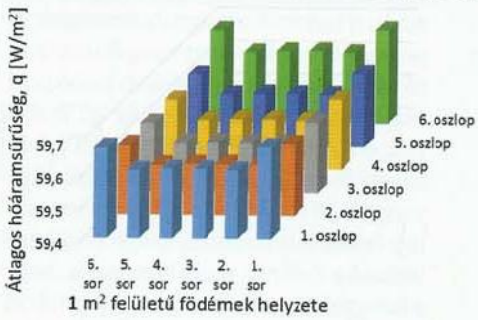
4. ábra: **Betonacél-geometria egyszerűsítésének hatása VEM-hálóra és a hőmérséklet-eloszlásra**

ha legalább 10 mm betonfedést alkalmazunk. Mivel a zárófödémek esetén 25 mm betonfedés alkalmazása szükséges, így a zsámolyvasak elhanyagolása egyáltalán nem rontja az eredményeinket, mivel a betonfedés gyakorlatilag elszigeteli a hőáramokkal párhuzamos betonacélokat a külső környezettől (megfigyelhető az *5. ábrán*).

3.3 A vasbeton szerkezetek eredményei

Az előbbiekben bemutatott egyszerűsítéseket felhasználva 3D-s modellt készítettünk 8, 10 és 12 mm-es betonacélokkal, intenzív vagy extenzív zöldtető-teherre méretezett vasbeton zárófödémekről. A 6 m × 6 m × 0,2 m-es födémeket 1 m × 1 m × 0,2 méterenként virtuálisan tovább osztottuk, hogy négyzetméterenkénti átlagos hőáramsűrűséget is le tudjunk kérdezni. A futtatások során az MSZ EN ISO 10456:2008 szabvány 2,0 W/mK-es beton, valamint 50 W/mK-es betonacél hővezetési tényezőit alkalmaztuk, hogy az eredményeink szabványosnak tekinthetőek legyenek.

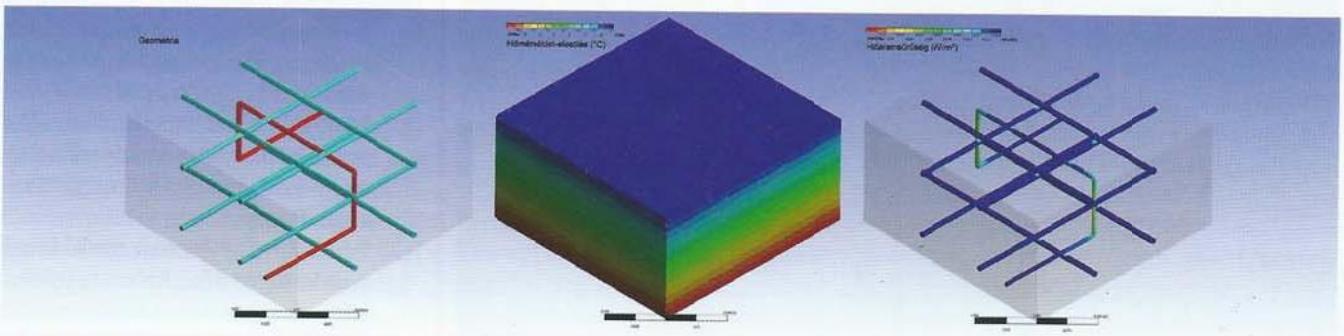
8 mm-es betonacállal bevasalt 6 m x 6 m x 0,2 m-es intenzív zöldtetős vasbeton zárófödém hőáramsűrűségei



6. ábra: **Intezív zöldtetővel rendelkező zárófödém hőáramsűrűségei négyzetméterenként**

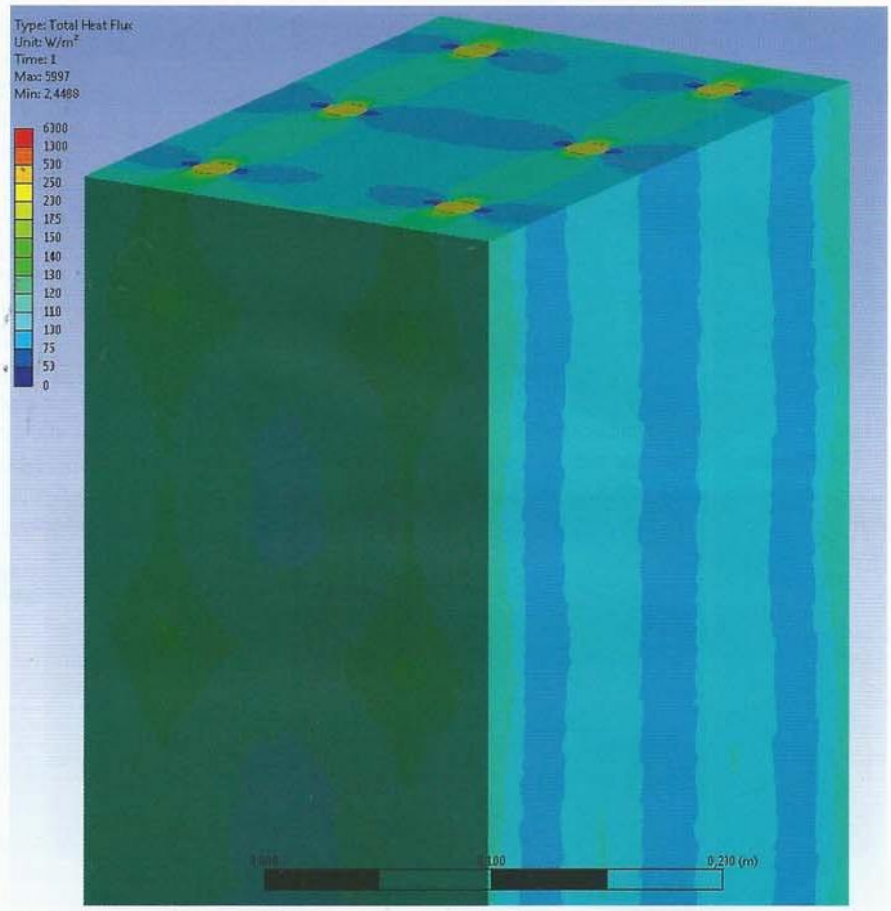
A szimuláció eredményeit a cikkben a *6. ábra* szemlélteti. A futtatások és eredmények kiértékelése után megállapíthattuk, hogy a födémszerkezetek esetén a hőáramokkal merőlegesen elhelyezett betonacélok számottevően nem befolyásolják a vasbeton szerkezetek hővezetési tényezőjét, mivel minden esetben 2%-nál kisebb eltérést tapasztaltunk a vasbeton szerkezet egyenértékű hővezetési tényezője, valamint a szimulációnál alkalmazott beton hővezetési tényezője között. Látszik azonban összefüggés, még ha minimálisan is, a födémben elhelyezett vasalás mennyisége és a hőveszteségek között. A hőtechnikai számítások során tehát helyesebb volna a vízszintes teherhordó vasbeton szerkezetek esetén az alkalmazott beton szerinti hővezetési tényezőt alkalmazni, amennyiben az előírások szerinti betonfedést betartjuk. Jelen vizsgálatunk alapján tehát a vasbeton födémszerkezetekre szintén a szabványos beton hővezetési tényezőt javasoljuk alkalmazni, ami 2,0 W/mK-t jelent.

A vasbeton oszlopok vizsgálatánál ezzel szemben már számottevő hatása van a vasalás kialakításának a hőveszteségekre, és ezzel együtt az egyenértékű hővezetési tényezőre is. Az oszlopok esetén ugyanis a hőáramokkal párhuzamos irányú



5. ábra: **Zsámolyvas hatásának vizsgálata, balról jobbra: geometriai modell, hőmérséklet-eloszlás, hőáramsűrűség-eloszlás az acélbetétekben**

kengyeleket hőtechnikai szempontokból sem hanyagolhatjuk el. A vizsgálataink során a hasonló anyagtulajdonságok és peremfeltételek mellett vizsgáltunk eltérő vasalással (kengyelezéssel) kialakított oszlopokat, eredményül pedig 2,1 W/mK és 2,4 W/mK közötti egyenértékű hővezetési tényező értékeket kaptunk. Egy vizsgált 30 cm × 20 cm × 250 cm-es oszlop felületi hőáramsűrűsége található látható a *7. ábrán*, mely bemutatja, hogy a kengyelezés miatt azokon a pontokon alakulnak ki kiemelkedően jelentős többdimenziós hőáramok (vasalás közvetlen környezete mellett), ahol a függőlegesen elhelyezett vasalás és a kengyelek érintkeznek, a szerkezetileg megfelelő betonfedés pedig már nem nyújt elegendő hőszigetelést a kengyelezés esetén. Megfigyelhető továbbá, hogy a függőleges vasalás a hőáramokra párhuzamos irányban hőáramsűrűség-csökkenést eredményez. A vasbeton szerkezetekre vonatkozó szabványos hővezetési tényező értékeket tehát a kengyelezés sűrűségének függvényében javasolt megválasztani, a biztonságra való törekvés miatt megengedhető a szabványos 2,3 W/mK és 2,5 W/mK-es érték.



7. ábra: **Felületi hőáramsűrűség 20 cm × 30 cm × 250 cm vasbeton oszlop esetén**

4. Összefoglalás és konklúziók

Cikkünk első felében a vasbeton szerkezetek hőtechnikai számításai esetén jelenleg alkalmazott, illetve szabványos hővezetési értékek foglaltuk össze. Kutatásunk során pedig numerikus szimulációs számítási megoldásokat dolgoztunk ki, és laboratóriumi mérésekkel is validáltuk őket, melyekkel a jelenlegi szabványnál részletesebben meghatározhatóak a vasbeton szerkezetek (pl. födémek, oszlopok) vasalásfüggő egyenértékű hővezetési tényezői. Kutatásunkkal bemutattuk, hogy a jelenlegi szabványos értékek nem minden esetben egyeznek meg az alkalmazásra javasolt értékekkel, födémszerkezetek esetén a hőáramokkal párhuzamos vasalások (zsámolyvasak) hőtechnikai hatása elhanyagolható, ezáltal a vízszintes vasbeton szerkezetek hőtechnikai teljesítőképességét a beton paraméterei határozzák meg elsősorban. Függőleges szerkezetek esetén azonban leginkább a hőáramokkal párhuzamos vasalás a mérvadó, az oszlopok esetén a szabványos vasbetonra vonatkozó értékek a kengyelezés sűrűségének és kialakításának függvényében vehetőek fel. ◈

Irodalomjegyzék

[1] MSZ 24140:2015 *Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai,* Magyar Szabványügyi Testület, Budapest

[2] MSZ EN ISO 10456:2008 Építési anyagok és termékek. Hő- és nedvességtechnikai tulajdonságok, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest

[3] MSZ 04-140/2:1991 Épületek és épülethatároló szerkezetek hőtechnikai számításai, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest

[4] Hens, H.: *Applied Building Physics, Boundary Conditions, Building Performance and Material Properties*, Wilhelm Ernst & Sohn, Berlin, 2011.

[5] Tasdemir, C. (): *The Thermal Insulation and Strength Properties of Light Concretes*, The Journal of Turkey Engineering News, 2003. Vol. 5, No. 427, 57–61. oldal

[6] Yun, T. S., Jeong, Y. J., Han, T. S., Youm, K. S.: *Evaluation of Thermal Conductivity for Thermally Insulated Concretes, Energy and Buildings*, 2013. Vol. 61, 125–132. oldal

[7] Toman, J., Cerny, R.: *Thermal Conductivity of High Performance Concrete in Wide Temperature and Moisture Ranges*, Acta Polytechnica, 2001. Vol. 41, 8–10. oldal

[8] Cowan, M.: *Numerical Modeling of Heat Transfer in Reinforced Concrete*, University of Notre Dame, Indiana, USA, 2009

[9] Kanbur, B. B., Atayilmaz, S. O., Demir, H., Koca, A., Gemici, Z.: *Investigating the Thermal Conductivity of Different Concrete and Reinforced Concrete Models with Numerical and Experimental Methods*, 7th International Advanced Technologies Symposium, Isztambul, Törökország, 2013. 95–101. oldal

[10] MSZ EN 12664:2001 *Thermal performance of building materials and products.*, European Committee for Standardization, Brüsszel

[11] MSZ EN 10080:2005 *Betonacél. Hegeszthető betonacél. Általános követelmények*, Magyar Szabványügyi Testület, Budapest

[12] Paulik Emese: *Vasbeton zárófödémek vasalásfüggő hőtechnikai tulajdonságai és végeselemes modellezésük*, TDK-dolgozat, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék, 2015