



Lublóy Éva, Hlavička Viktor, Nagy Balázs, Biró András, Burai Balázs, Balázs L. György

KÖRÜREGES FÖDÉMPALLÓ TERMIKUS VIZSGÁLATA ÉS MODELLEZÉSE

Absztrakt

A körüreges födempallók kedvelt szerkezeti elemek, hiszen nagy teherbírású elemeket lehet létrehozni viszonylag kis szerkezeti súllyal. A bennük található üregek miatt azonban tűzhatásra máshogy viselkednek, mint a hagyományos födémek, ezért kiemelten fontos a tűzeseti viselkedésükkel foglalkozni. Az üregek hatására az ilyen típusú elemek gyorsabban átmelegszenek, és emiatt tönkremenetelük is gyorsabb, mint a hagyományos sík födémeknek. Jelen cikkünkben egy körüreges födempalló magas hőmérsékleten való viselkedését mutatjuk be laboratóriumi kísérletek és kiegészítő numerikus modelleken keresztül.

Kulcsszavak: tűz, körüreges födempalló, nagyelemes kísérlet, numerikus modell

THE MODELLING AND THERMAL BEHAVIOR OF HOLLOWCORE SLAB UNDER FIRE CONDITIONS

Abstract

The hollowcore slabs are popular structural elements, since they are high capacity elements with small structural weight. However due to the hollows in them, they behave differently in a case of fire than the conventional slabs, so it is of great importance to observe their fire behaviour. Due to the hollows, these slabs warm up faster and therefore their failure is also faster than conventional slabs. In our article, we show the behaviour of hollowcore slabs under fire conditions by laboratory tests and numerical analysis.

Keywords: fire, hollowcore slabs, real structure element test, numerical analysis



1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

A teherbírás számításához ismernünk szükséges az egyes szerkezeti elemek erőjátékát és a tönkremeneteli formáját. A körüreges födempallók tűzterhelése során a következő tönkremenetelek alakulhatnak ki:

- hajlítási tönkremenetel (felső öv tönkremenetele nélkül, felső öv tönkremenetelével),
- nyírási tönkremenetel (hajlítási nyírási tönkremenetel, gerinc nyírási tönkremenetele hosszirányban, illetve függőlegesen),
- a lehorgonyzás tönkremenetele,
- a betonfelület leválása,
- a megengedett maximális lehajlási érték túllépése.

A körüreges födempallók méretezésének kérdésével a CEB [1], FIP [2] és a prEN [3] foglalkoztak. Ezen méretezési szabványok azonban nem térnek ki a tűzeseti viselkedésre.

Tűzeset alatti különleges viselkedésük miatt viszonylag sok kutató végzett kísérleteket, és állított fel a kísérletek alapján különböző számítási modelleket.

Borgogno [4] megállapította, hogy mind normál hőmérsékleten, mind tűz alatt a feltámasztás módja jelentősen befolyásolja a tönkremeneteli módot.

Shakya és Kodur [5] 6 darab körüreges födém pallót vizsgált tűzterherre. A födempallók hossza 4 m, a szélessége 1,2 m magasságuk pedig 200 mm volt. A pallók 6 darab 150 mm átmérőjű üreget tartalmaztak. Az üregek távolsága az elem szélétől 132,5 mm, az üregek közötti távolság 187 mm volt. Az alsó sorban 7 darab feszítópászma került elhelyezésre. Az alkalmazott betonfedés 44 mm volt.

Megfigyelték, hogy:

- A lehajlás- felfűtési idő görbe 3 részre osztható. Az 1. szakasz 20 percig tart ezen a szakaszon a lehajlás növekedését figyelhetjük meg a hőmérséklet növekedésével. A második szakaszon



20 és 75 perc között lajlás növekmény nagyobb lesz, mint az első 20 percben. 75 perc után (3. szakasz) a lehajlás még erőteljesebb növekedése következik be.

Shakya, Kodur [5] kísérleteik alapján a következő megállapításokat tették:

- 1.) a körüreges fődémpallók két órás tűzállósággal rendelkeztek, 20% teherszint mellett,
- 2.) a megtámasztási viszonyok befolyásolják a tűzállóságot,
- 3.) a mészkő adalékanyagú betonok jobb nyírási teherbírást adtak tűz esetén, mint a hagyományos kvarckavics adalékanyagú betonok.

A kísérleti eredmények alapján a körüreges fődémpallók numerikus modellezését is elvégezték. A modellhez ANSYS végeelem szimulációs szoftvert használtak. A beton elemek hőtechnikai modellezéséhez SOLID 70 majd a mechanikai modellhez SOLID 65 elemeket használtak. A feszítőbetét hőtechnikai modellje LINK 33, a mechanikai modellje LINK 180 elemmel készült. Az elemek hőtechnikai modellje SURF 152, majd a mechanikai modell SURF 154 elemmel készült. A beton és a feszítőbetétek hőmérséklet emelkedésének hatására bekövetkező szilárdságcsökkenést az Eurocode (MSZ EN 1992-1-2) alapján vették fel. A beton modell plasztikus részét Willam Warnke modellje alapján alakították ki. A numerikus modell validálása a kísérleti eredmények alapján történt. A modell és a kísérlet eredményei jó egyezést mutattak.

Más kutató a végeelemes számítás kiváltására analitikus számítási modellt javasolnak. Borgongo [4] megállapította, hogy a körüreges fődémpallók esetén az egyik leggyakoribb tönkremeneteli forma a nyírás, ennek számítására az alábbi számítási módszert javasolja:

$$V_{uk,fi} = 0,068b_w d \xi \left[1 + \frac{50A_p f_{pu fi}}{b_w d f_{pu}} \right] \sqrt{f_{ct}}$$

ahol:

V_{uk} a nyírás tervezési határértéke (karakterisztikus értéke)

b_w gerinc vastagság

d hatékony magasság

ξ $1,6-d \geq 1$



- A_p a feszítő pászmák keresztmetszeti területe az alsó övben
- $f_{pu,fi}$ a feszítőpázmák magas hőmérsékleten mért szakítószilárdsági értéke
- f_{pu} a feszítőpázmák szakítószilárdsági értéke
- f_{ct} a beton nyomószilárdságának értéke magas hőmérsékleten.

A körüreges födémfallók nyírási teherbírás számítására Acker (2003) is adott egy számítási javaslatot:

$$V_{RD,c,fi} = [C_{RD,c}k(100\rho_{l,fi}f_{c,fi,m})^{1/3} + k_l\sigma_{cp,fi}]b_wd$$

ahol:

$V_{RD,c,fi}$ a nyírási teherbírás tervezési határértéke

$C_{RD,c}$ 0,18/ γ_c (γ_c a beton biztonsági tényezője)

$$k = 1 + \sqrt{200/d}$$

d hatékony magasság

$\rho_{l,fi}$ a hosszirányú vasalás aránya

$$= \frac{A_{sl}}{b_wd} \leq 0,02$$

A_{sl} a húzott vasalás keresztmetszeti terület

b_w gerinc vastagság

$f_{c,fi,m}$ a beton nyomószilárdságának értéke magas hőmérsékleten

$k_l=0,15$

$$\sigma_{cp,fi}=N_{Ed}/A_c$$

N_{Ed} a feszítőerő nagysága

A_c a beton keresztmetszeti területe mm²-ben.



Ezen számítási képletek alkalmazása esetén, a keresztmetszeten belüli hőmérséklet eloszlást ismerni kell, aminek modellezése nem egyszerű feladat, hiszen az üregekben a meleg levegő áramlásának hatására a beton gyorsabban melegszik át, mint az üreg nélküli szerkezeteknél.

2. TŰZVIZSGÁLAT EREDMÉNYEI

A fődémpalló tűzvizsgálatával egyidejűleg a fődémpalló betonjából készült kockák és hasábok hőterhelését majd a maradó szilárdság vizsgálatát is elvégeztük. A kísérleteink (kiselemes és nagyelemes vizsgálatok) során a szabványos (standard), vagyis a magasépítési szerkezetekre, és a csarnokokra alkalmazható tűzgörbéhez közeli felfűtési görbét alkalmaztunk.

2.1 Kiselemes vizsgálatok beton próbatesteken

A fődémpalló vizsgálata során alkalmazott betonösszetételt az 1. táblázatban adjuk meg. A tervezett betonminőség C50/60-XC1-11-S1. A fődémpallók gyártása hosszúpályás technológiával, extruderes betonsajtólással, pályafűtéssel, 12-16 órás érlelési idővel történik. Ehhez a technológiához szükséges a zúzott kő mint adalékanyag alkalmazása, ezért a receptúrában a 4/11 frakció zúzott dolomit volt.

1. táblázat: Az alkalmazott betonösszetétel

Anyag	Fajta vagy frakció		Tömeg (kg/m ³)
Adalékanyag	0/4 mm frakció	46%	879
	4/8 mm frakció	26%	496
	dolomit NZ 4/11	28%	555
	Összesen	100%	1912
Cement	CEM I 42,5 R		370
Víz	$m_w/m_c=$	40,0%	148
Adalékszer cem. m%	Murasan BWA 16	0,35%	1,3
Levegő			-
Összesen			2431



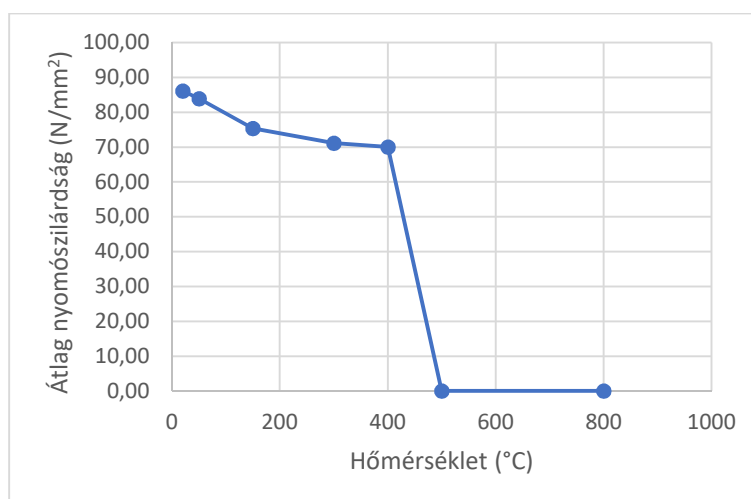
A kiseleemes beton próbatesteket a kizsaluzás után 7 napig vízben, majd a hőterhelésig (28 napos korig) laboratóriumi körülmények között tároltuk.

A próbatestek hőterhelése után a nyomószilárdság vizsgálatot 150x150x150 mm élhosszúságú a laborlevegőn már lehűlt próbakockákon végeztük el, ALPHA 3-3000 S típusú törőgéppel. A törőgép terhelési sebessége 11,25 kN/s volt.

A hőterhelés után a 250x70x70 mm-es hasáb próbatesteket központos hajlító-húzószilárdsági vizsgálatnak vetettük alá. A hasábokat is a hőterhelést követően laborlevegőn lehűlt állapotban terheltük.

Az 1. ábrán a beton nyomószilárdságának alakulását adjuk meg a hőmérséklet függvényében. 500 °C-ig a betonszilárdság egyenletes csökkenését figyelhetjük meg, 500 °C felett a próbatestek a hőterhelés hatására felrobbantak ezért a szilárdság értékét itt 0 N/mm²-re vettük fel.

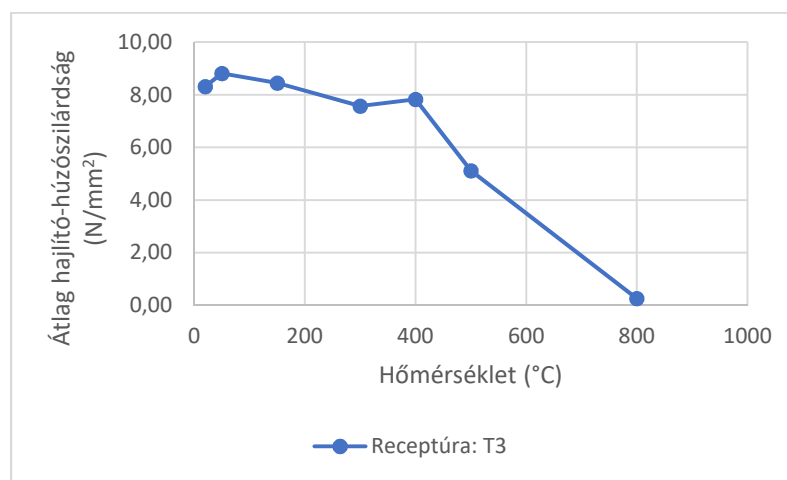
A beton próbatestek 500 °C-os hőterhelés hatására való felrobbanásának magyarázata a beton magas nyomószilárdsága 85 N/mm² lehet. Ez a szilárdság jóval, mintegy 50 %-kal meghaladja a tervezett szilárdsági értéket. Normál hőmérsékleten ez előnyös lehet a teherbírás szempontjából, tűz alatt azonban a szerkezet idő előtti tönkremenetelét okozhatja.



1. ábra: A beton nyomószilárdsága-a hőterhelés hőmérsékletének függvényében (minden pont három mérés átlaga)



A 2. ábrán a beton hajlító-húzószilárdságának alakulását adjuk meg a hőmérséklet függvényében. 500 °C-ig a betonszilárdság egyenletes csökkenését figyelhetjük meg, 500 °C felett viszont lényegesen erőteljesebb szilárdságcsökkenést tapasztaltunk.



2. ábra: A beton hajlító-húzószilárdsága-a hőterhelés hőmérsékletének függvényében (minden pont három mérés átlaga)

2.2 Nagyelemes vizsgálat

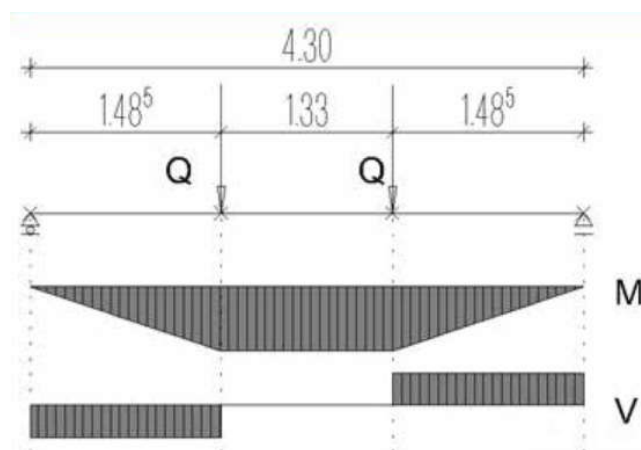
2.2.1 Szerkezeti kialakítás

A vizsgált földempallók hossza 4,3 m a szélessége 1,2 m magasságuk pedig 200 mm volt. A pallók 6 darab 155 mm átmérőjű üreget tartalmaztak Az üregek távolsága az elem szélétől 41 mm, valamint az üregek közötti távolság 34 mm volt. Az alsó sorban 7 darab feszítőpászma került elhelyezésre. Az alkalmazott betonfedés 25 mm volt.



2.2.2 Alkalmazott terhelés

A statikai modell kéttámaszú tartó volt, két vonalmenti terheléssel (3. ábra). A terhelő erő értéke $Q = 36$ kN volt. Ezzel a terheléssel a tartó tűz estén alkalmazható terhelhetőségét határoztuk meg, a normál hőmérsékleten meghatározott (gyártói ajánlás) teherbírás alapján.



3. ábra: A tűzvizsgálatnál alkalmazott statikai modell

2.2.3 Szemrevételezés a tűzterhelés után

A födépallót vízszintes kemencében hőterheltük. A hőterhelés alatt több ponton mértük a hőmérséklet alakulását, valamint a födépalló lehajlását. A tűzvizsgálat során folyamatosan figyeltük a födépallók károsodásának jeleit.

A szemrevételezés során a következő károsodásokat figyeltük meg:

- 5.-6. perc: hosszirányú nyírási repedés
- 14. perc: megjelennek az első hosszirányú repedések
- 18. perc: vízszintes repedések
- 29. perc: a födépalló tönkrementetele.

A tűzterhelés alatt a körüreges födépallókon látható károsodásokat fényképekkel dokumentáltuk. A 4-6. ábrán láthatjuk a tűzterhelés alatti károsodásokat.



A tűzvizsgálat alatt a következő károsodások következtek be:

1. A körüreges födémfalló felemelésére kialakított elkeskenyített részen megjelent egy hosszirányú nyírási repedés (4. ábra), a tűzvizsgálat 5.-6. percében.



4. ábra: A körüreges födémfalló első repedése a tűzvizsgálat 5.-6. percében (2017. 12. 07.)

2. A tűzvizsgálat 14. percében megjelennek az első hosszirányú repedések, amik 1,59-5,31 mm pászmabehúzóással járnak (5. ábra). A repedések vagy a körüregek közepénél, vagyis a tartó legvékonyabb keresztmetszeti részénél, vagy a pászmák középpontjából kiindulva futnak. A pászmák jelentős behúzóása volt tapasztalható.





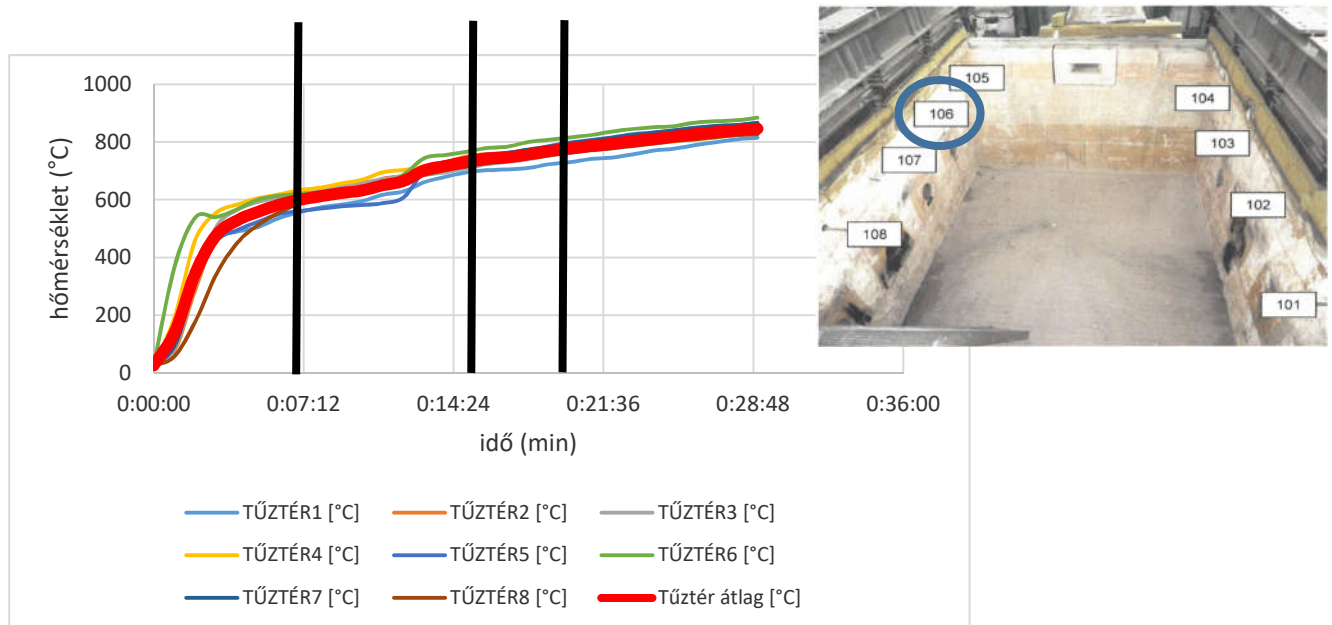
5. ábra: A körüreges födempallón megjelenő hosszirányú repedések és pászma behúzódás
(2017. 12. 07.)

3. A körüreges födempallón vízszintes repedések jelenek meg a tűzvizsgálat 18. percében (6. ábra)



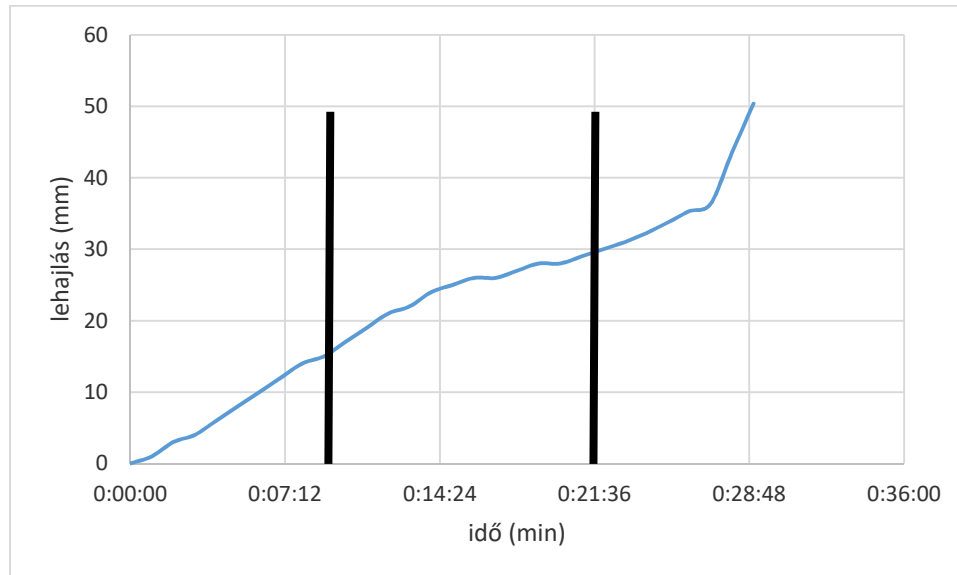


6. ábra: A körüreges földempallón megjelenő vízszintes és függőleges repedések (2017. 12. 07.)



7. ábra: A hőmérséklet alakulása a vizsgálat alatt (2017. 12. 07.)

A 7. ábrán a tűztér hőmérsékletének alakulását adjuk meg, függőleges vonalakkal jelöltük a repedések kialakulásának időpontjait. Jól látható, hogy 6 jelű ponton a kezdeti hőmérséklet emelkedés mértéke a kezdeti szakaszban jóval nagyobb volt, mintegy 100 °C magasabb, mint a többi ponton ez a hőmérséklet különbség okozhatta az első repedés megjelenését (3. ábra). A panelem hosszirányú repedésének megjelenése után a hőmérséklet kismértékű növekedését figyelhetjük meg a diagramon.



8. ábra: A lehajlás alakulása a vizsgálat alatt (2017. 12. 07.)

A 8. ábrán a lehajlás alakulását adjuk meg a vizsgálat időtartama alatt. Megállapíthatjuk, hogy a hosszirányú repedések (2. vonal) megjelenése után a lehajlás sebessége (görbe meredeksége) megváltozott. A következő változás a vizsgálat végén következett be, amikor a lehajlás sebességének erőteljes növekedését figyelhetjük meg. Ezek alapján a lehajlás-idő görbe 3 részre osztható.

3. MODELLEZÉSI KÉRDÉSEK

3.1 Alkalmazott anyagjellemzők

Az alkalmazott modellekben betont és acélt használtunk. Az anyagok hőtechnikai paramétereit az MSZ EN 1992-1-2 és az MSZ EN 1993-1-2 alapján határoztuk meg.

A beton és az acél esetén a sűrűség, a hővezetési tényező, a fajhő, mint hőtechnikai jellemzők hőmérséklet függő értékei kerültek be a modellbe. A beton esetén a hővezetési tényező felső határértékét alkalmaztuk, míg a fajhőt 3%-os nedvességtartalomhoz adtuk meg.



3.2 Hőtechnikai modellezés

A hőtechnikai modellezés során a tranziens hőtranszport parciális differenciálegyenletét oldottuk meg, melyet a következőképpen írhatunk fel:

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}$$

ahol:

a	hődiffúziós tényező
	$= \frac{\lambda}{\rho c}$
	λ hővezetési tényező
	ρ sűrűség
	c fajhő
T	hőmérséklet
t	idő
x, y	irány

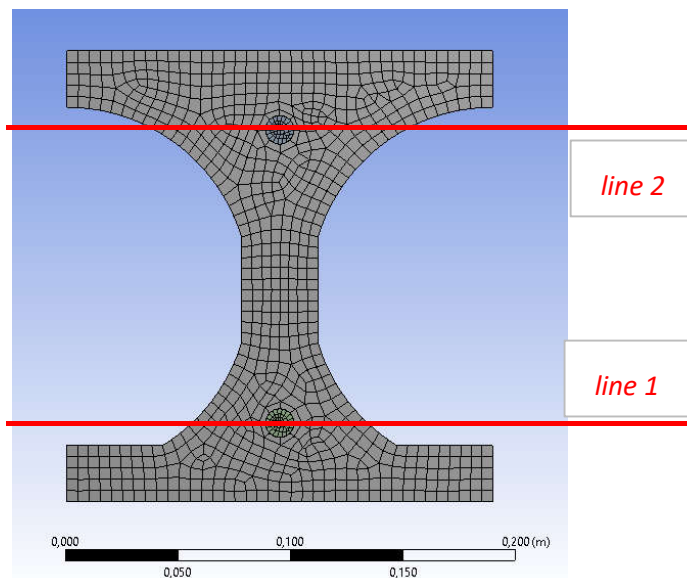
A modell elkészítéséhez ANSYS végelelemes szoftvert használtunk. A 2D modellekben a teljes tartó egy szelete került kialakításra, kihasználva a szimmetriát, ezzel csökkentve a számítási igényt. A modelleknél alkalmazott végelelemes háló mérete 5,0 mm volt (9. ábra).

A modellekben a peremfeltételeket a hőterheléssel közvetlenül nem érintett peremek esetén az MSZ EN ISO 6946, míg a tűz miatt hőterhelést kapó peremek esetén az MSZ EN 1992-1 szabványok szerint vettük fel. A panelek tetején konvektív hőátadást, az üregekben és a panel alján egyidejűleg konvektív hőátadást és hőszigetelést is felteleltünk. A tartókat ért hőterhelést az ISO 834-1 belső hőmérsékleti görbe alapján határoztuk meg.

Az elemzés során saját kísérleti tapasztalatok és a szakirodalom alapján feltételeztük a panelek alsó övének vízszintes irányú berepedését. Itt meg kell említenünk, hogy a berepedés hatására a külső meleg levegő bejut az üregekbe, ennek következtében az üreg fala is megkapja ugyan azt a hőterhelést mint a panel alsó öve, tehát gyorsabban melegszik át. Mivel a berepedés

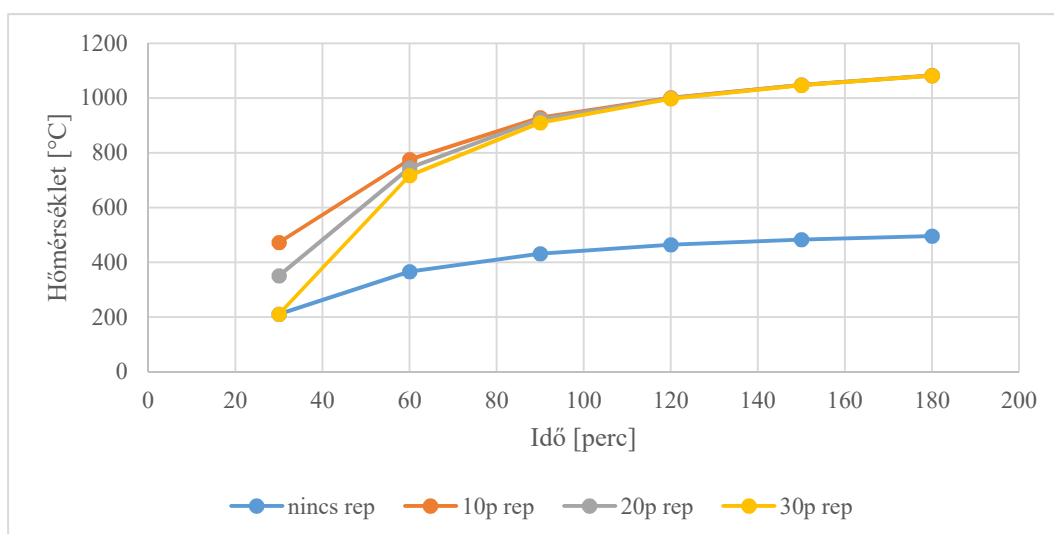


időpontja változó a terhelés és a betonminőségtől függően ezért az elemzés során több lehetséges esetet is vizsgáltunk (alsó öv berepedésének vizsgált időpontja a hőterhelés kezdetétől számítva: 10. perc, 20. perc, 30. perc, 60. perc).



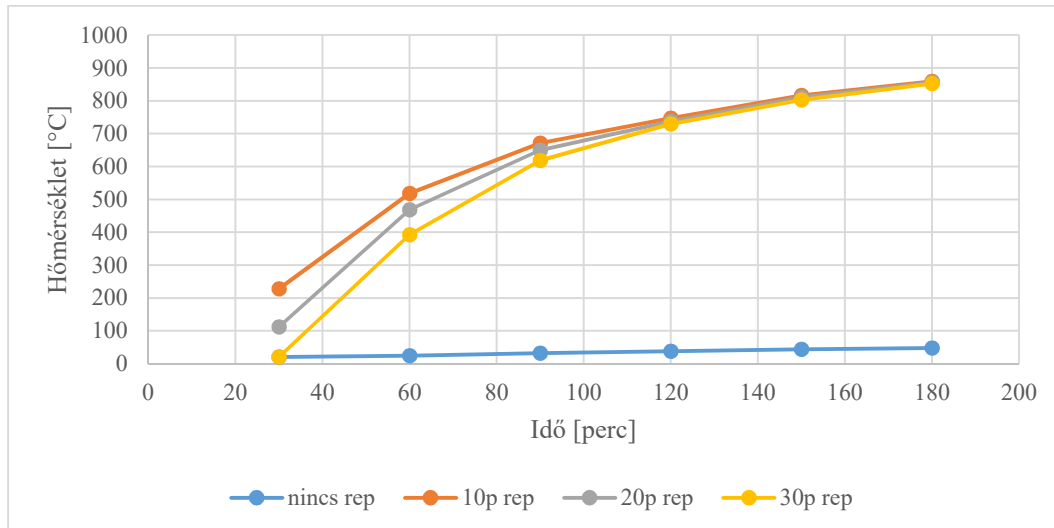
9. ábra: Végeselemes elem modellje

A vizsgálat során az alsó (line 1) és a felső (line 2) pászma hőmérsékletének időbeli alakulását vizsgáltuk. A 10. és a 11. ábra az alsó és a felső pászma hőmérséklet változását szemlélteti az alsó öv berepedésétől függően.



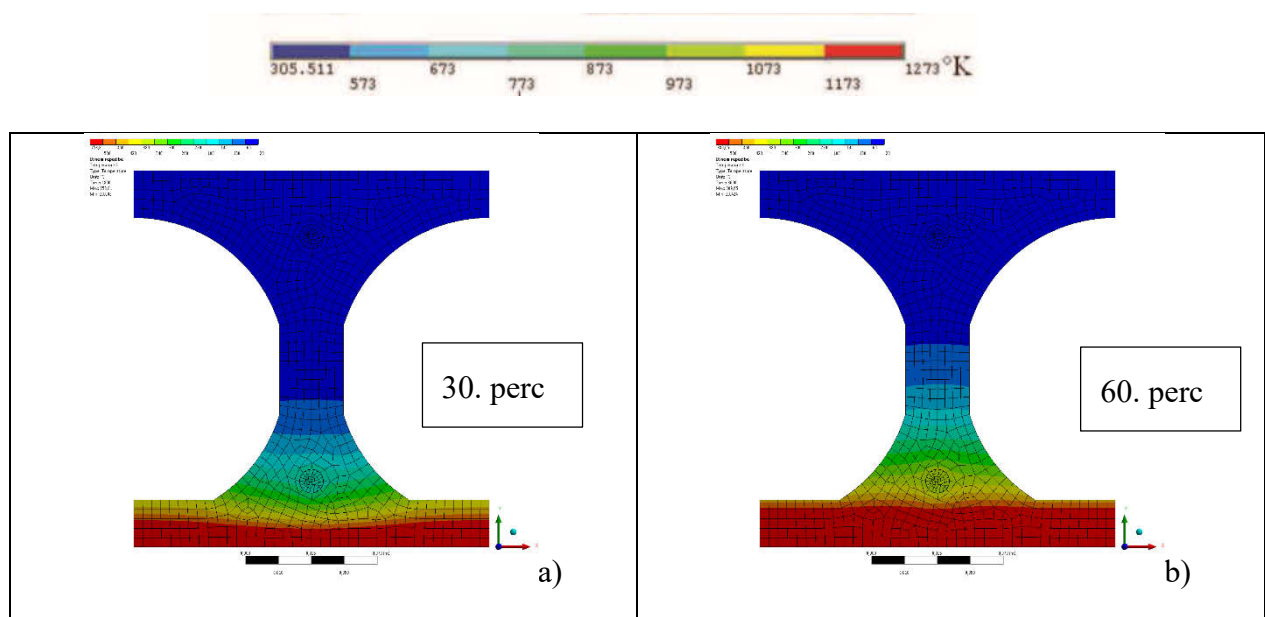


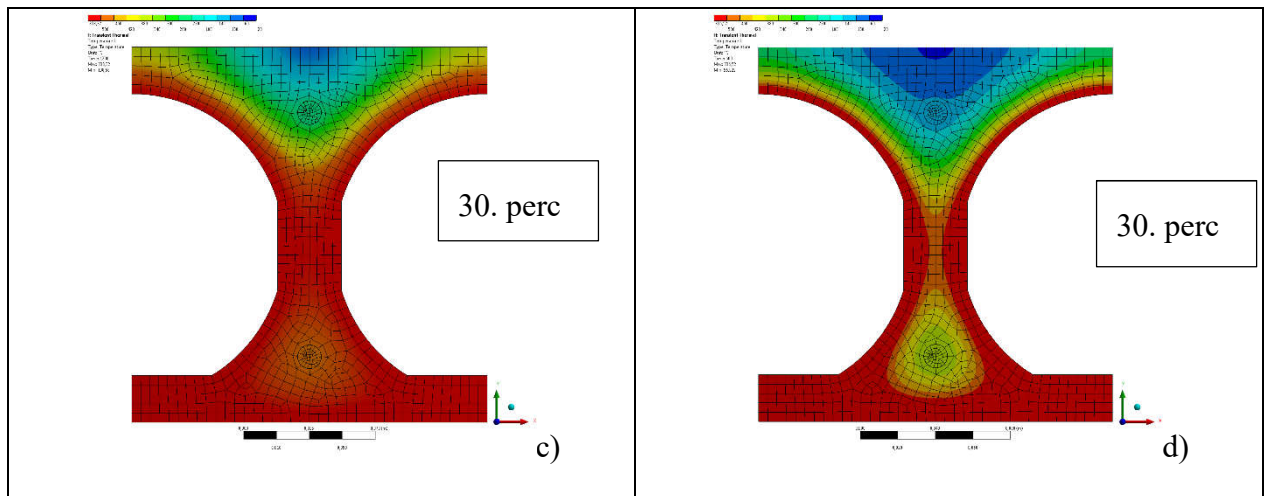
10. ábra: Az alsó pászmasor hőmérséklet változása



11. ábra: A felső pászmasor hőmérséklet változása

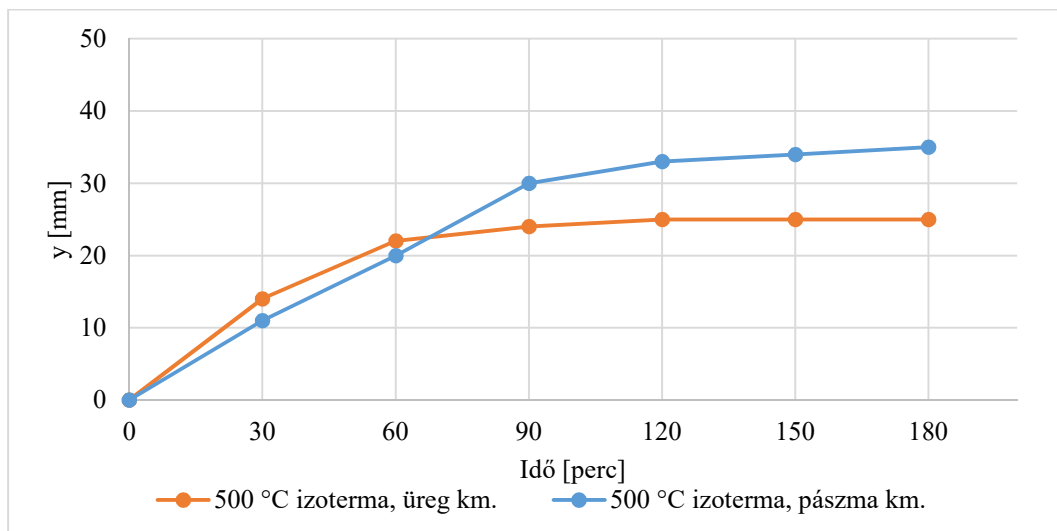
A 12. ábra a körüreges födémpanel átmelegedését szemlélteti a hőterhelés kezdetétől számított 30. és 60. percen. A 12 a) és a b) ábrák azt az esetet adják meg, amikor nem reped át az alsó öv. A 12. c) ábra azt az esetet szemlélteti, amikor azt feltételeztük, hogy a tartó alsó öve a 10. perc után reped át. A 12. d) ábra azt az esetet szemlélteti, amikor az feltételeztük, hogy a tartó alsó öve a 20. perc után reped át.





12. ábra: körüreges földémpanel izotermavonalai, a) nem berepedt állapot 30. perce, b) nem berepedt állapot 60. perce, c) a 10. percben berepedt állapot 30. perce, d) a 20. percben berepedt állapot 30. perce

A 12. a) ábrán jól látható, hogy 30. perc után a tartó alsó öve jelentős mértékben átmelegedett. Ezért megvizsgáltuk a körüreges földémpanelen belül az 500 °C-os izoterma vonalának helyzetét. A 12. ábra az 500 °C izoterma vonal helyét mutatja az alsó, azaz a tűznek kitett felülettől számítva az az üregnél és a pászmánál felvett keresztmetszetben.



12. ábra: A körüreges földémpanel, 500 °C-os izoterma vonalának helyzete a hőterhelésnek kitett felülettől számítva az üregnél és a pászmánál felvett keresztmetszetben



A berepedés pillanatát az alsó öv 500 °C-ra történő átmelegedését tekintjük. A 2. táblázatban adjuk meg a további statikai számítás bemenő adatait. Ezek alapján a tartó berepedése 20 perc után következik be. A modell ilyen jellegű átalakítása jól tükrözi a tűzvizsgálat eredményeit, hiszen ebben az esetben a várható tönkremenetel röviddel 20 perc után következhet be.

2. táblázat: Statikai számítás bemenő adatai

Név	Alsó öv vastagsága [mm]	Berepedés pillanata [perc]	Keresztmetszet csökkenésének értéke [mm]	Alsó sorban lévő pászmák hőmérséklete [°C]	Felső sorban lévő pászmák hőmérséklete [°C]
M200	25	20	25	351	112

3.3 Kapcsolt hő- és áramlástanai modellezés

Az eddigiekben végzett kétdimenziós, tranziens hőtechnikai szimulációk során az üregekben található levegő konvektív-, valamint az üregfelületek peremén lévő felületek sugárzásos hőtranszportfolyamatait peremfeltételként kezeltük. A modellünk tisztán izotropikus szilárdtest alapú, hővezetési feladatot megoldó modell volt.

A továbbiakban célunk a modell fejlesztése Nagy és Tóth [6] numerikus modellezése alapján. Egy kapcsolt hő- és áramlástanai modell segítségével, az üregekben lévő zárt légréteg természetes áramlása modellezhetővé válik, aminek segítségével a szerkezet átmelegedése még pontosabban leírható.



4. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A körüreges födempallók az üregek miatt tűzhatásra máshogy viselkednek, mint a hagyományos födémek. Ezért fontos a tűzeseti viselkedésükkel foglalkozni. Jelen cikkünkben egy körüreges födempalló magas hőmérsékleten való viselkedését mutatjuk be laboratóriumi kísérletek és kiegészítő numerikus modelleken keresztül.

A födempalló tűzvizsgálatával egyidejűleg a födempalló betonjából készült kockák és hasábok hőterhelését majd szilárdságvizsgálatát is elvégeztük. A kísérleteink (kiselemes és nagyelemes vizsgálatok) során a szabványos (standard), vagyis a magasépítési szerkezetekre, és a csarnokokra alkalmazható tűzgörbéhez közeli felfűtési görbét alkalmaztunk

A födempallók vízszintes kemencében hőterheltük. A hőterhelés alatt több ponton mértük a hőmérséklet alakulását, valamint a födempalló lehajlását. A tűzvizsgálat alatt a födempallók károsodását folyamatosan jegyeztük.

A szemrevételezés során a következő károsodásokat figyeltük meg:

- 5-6. perc hosszirányú nyírási repedés
- 14. perc megjelennek az első hosszirányú repedések
- 18. perc vízszintes repedések
- 29. perc a födempalló leszakadása.

A 6. jelű hőterhelési ponton a hőmérséklet emelkedés mértéke a kezdeti szakaszban jóval nagyobb volt, mintegy 100 °C magasabb, mint a többi ponton. Ez a hőmérséklet különbség okozhatta az első repedés megjelenését. A panelem hosszirányú repedésének megjelenése után a hőmérséklet kismértékű növekedését és a lehajlási sebesség változását figyeltük meg. A lehajlás sebességének erőteljes növekedése a vizsgálat végén következett be.

A hőtechnikai modellből kapott izoterma vonalakon, jól látható, hogy 30 perc után a tartó alsó öve jelentős mértékben átmelegedett. Ezért megvizsgáltuk a körüreges födémpanelen belül az 500 °C-os izoterma vonalának helyzetét. Ez alapján a modellt módosítottuk és a berepedés pillanatának az alsó öv 500 °C-ra történő átmelegedését tekintjük. Ezek alapján a tartó berepedése 20 perc után következik be.



A modell ilyen jellegű átalakítása jól tükrözi a tűzvizsgálat eredményeit, hiszen ebben az esetben a várható tönkremenetel rövidebbel 20 perc után következhet be.

Köszönetnyilvánítás

A cikk szerzői köszönetet mondanak az NVKP_16-1-0019 "Fokozott ellenálló képességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése" című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért. Ezen kutatás a Bolyai János és Bolyai+ Felsőoktatási Fiatal Oktatói, Kutatói (ÚNKP-18-4) Ösztöndíj támogatásával készült. A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Emberi Erőforrások Minisztériuma által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program támogatta, a BME FIKP-VÍZ tématerületi programja keretében.

A szerzők köszönetüket fejezik ki a Bolyai János Ösztöndíjon keresztül kapott kutatási támogatásért.

HIVATKOZÁS

- [1] CEB (1978) N° 137.1980. Compléments au Code-Modèle CEB-FIP 1978, CEB-FIP Model Code 1978
- [2] FIP (1988) Precast prestressed hollow core floors, 48 pages, ISBN 978-0-7277-1375-9)
- [3] EN 1993-1-2 (Eurocode 3): Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints
- [4] Borgogno W. (1997), Structural Behavior of Slim Floor Covering with Concrete Hollow Slabs at Room Temperature and Elevated Temperature, Dissertation, Swiss Federal Institute of Technology, 1997.
- [5] Shakya, A. M., Kodur, V. K. R. (2015): Response of precast prestressed concrete hollowcore slabs under fire conditions, Engineering Structures, Volume 87, 2015, Pages 126-138, ISSN 0141-0296, <http://dx.doi.org/10.1016/j.engstruct.2015.01.018>.



[6] Nagy B., Tóth E. (2017): „Finite Element Analysis of Composite Ceramic-Concrete Slab Constructions Exposed to Fire”, Applied Mechanics and Materials, Volume 861, Pages 88-95 DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.861.88

Dr. Lublós Éva PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

lubloy.eva@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-9628-1318

Hlavička Viktor

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

hlavicka.viktor@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0001-5435-4400

Nagy Balázs

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.



nagy.balazs@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0003-1373-5930

Dr. Balázs L. György, PhD

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3

Budapest University of Technology and Economics, Department of Construction Materials and
Technologies, H-1111 Budapest, Műegyetem rkp 3.

balazs.gyorgy@epito.bme.hu

ORCID: 0000-0003-0951-6217