



I. évfolyam, 3. szám – 2016. október

Lublóy Éva - Hlavica Viktor

A KAPCSOLATI SZILÁRDSÁG MAGAS H MÉRSEKLET HATÁSÁRA TÖRTÉN VÁLTOZÁSÁNAK MODELLEZÉSE

Absztrakt

Vasbeton szerkezetek alkalmazása esetén lényeges szerepe van a beton és az acélbetétek együttműködésének. A két anyag közötti kapcsolat változása nemcsak a teherbírást, hanem a repedések kialakulásának módját és mélységét is befolyásolja. Normál t hőmérsékleten a beton és az acélbetétek jó együttműködése a közel azonos α hőtágulási együtthatók miatt lehetséges. Magas t hőmérsékleten a beton és az acélbetétek a α hőtágulási együtthatója különböző mértékben változik meg. A vasbeton szerkezetek tervezésénél, építésénél fontos kérdés, hogy a két anyag közti kapcsolat, hogyan és milyen mértékben módosul magas t hőmérséklet hatására. Ezt vizsgáltuk kísérleti módon és numerikus szimulációval.

Kulcsszavak: t , α , magas t hőmérséklet, beton, betonacél, tapadószilárdság

MODELLING OF THE CONTACT BETWEEN CONCRETE AND STEEL AT HIGH-TEMPERATURE

Abstract

Bond between concrete and steel reinforcement is a key issue in the application of reinforced concrete structures. Change of the bond not only affects the resistance, but also influences the method of crack propagation and the types of cracks. At normal operational temperature adequate bond between steel and concrete is possible because of their similar thermal expansion coefficient. On the contrary, at high temperature thermal expansion coefficient of steel and concrete changes differently. Consequently it is important from design and constructional point of view to analyse the possible change of the bond between the two materials at high temperatures. In our research this topic was examined by experimental tests and numerical simulations.

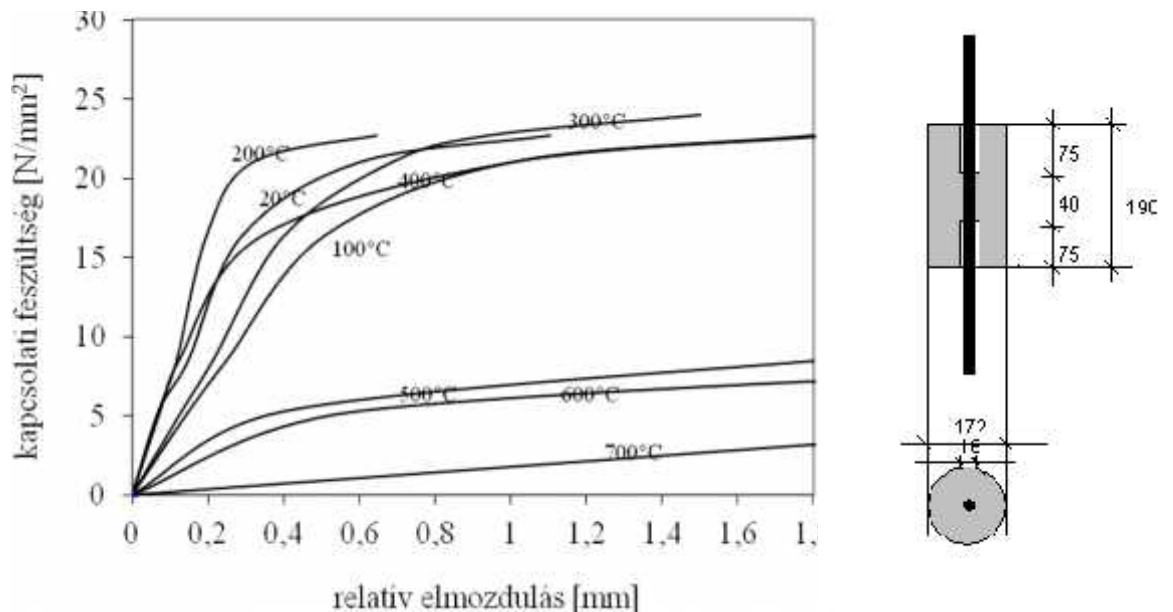
Key words: fire, high temperature, concrete, steel, bond strength

1. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

Vasbeton szerkezetek alkalmazása esetén lényeges szerepe van a beton és az acélbetétek együttműködésének. A két anyag közötti kapcsolat változása nemcsak a teherbírást, hanem a repedések kialakulásának módját és milyenségét is befolyásolja (*fib* bulletin 10, 2000). Normál, szokásos hőmérsékleten a beton és az acélbetétek jó együttműködése a közel azonos hőtágulási együtthatók miatt lehetséges. Magas hőmérsékleten a beton és az acélbetétek hőtágulási együtthatója különböző mértékben változik meg. A vasbetontervezés, -építés fontos kérdése, hogy a két anyag közti kapcsolat, hogyan és milyen mértékben módosul magas hőmérséklet hatására. Viszonylag kevés szakirodalmi adat áll rendelkezésre a hozzá tartozó kísérlet elvégzésének bonyolultsága miatt.

Az 1. ábrán a hőmérséklet emelkedés hatását lehet érzékelni a relatív elmozdulás és a kapcsolati feszültség összefüggésére. Jól látható, hogy a hőmérséklet emelkedésének hatására a kapcsolati feszültség és a relatív elmozdulás megváltozik, 500 °C felett a kapcsolati feszültség jelentősen csökken, a beton és betonacél közötti relatív elmozdulás hirtelen megnövekszik.

A kísérlet elvégzésre az adott t mérsékleten került sor. A próbatestek egyenletes felmelegedését úgy érték el, hogy a próbatesteteket először a kívánt t mérsékletre felmelegítették, majd 3 órán át az adott t mérsékleten tartották. Az elmozdulásokat a próbatest terheletlen végén mérték. A próbatestek henger alakúak voltak, melyeknek átmérője 172 mm, magassága 190 mm volt. A próbatest mindkét végén egy-egy 75 mm hosszú bebetonozatlan szakasz készült, a bebetonozott rész pedig 40 mm-es volt (Diderichs, 1981).



1. ábra: A kapcsolati szilárdság változása a t mérséklet hatására (kvarckavics adalékanyagú beton, Ø8 mm bordázott betonacél; Diderichs U, 1981)

A kapcsolati szilárdságra ugyanazok az összefüggések alkalmazhatók, mint szobahőmérsékleten. A kapcsolati feszültség értékét a relatív bordafelület és a beton szilárdsági értékei befolyásolják. Természetesen nem szabad figyelmen kívül hagynunk, hogy a betonszilárdság a t mérséklet függvényében folyamatosan változik.

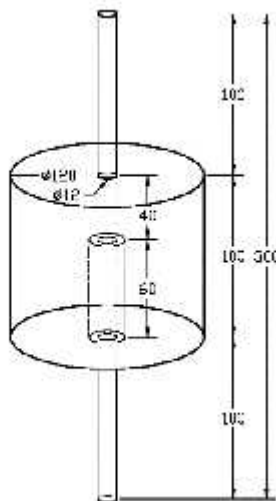
2. SAJÁT KÍSÉRLETEK

A beton és a betonacél t terhelés utáni kapcsolati szilárdságát 120 mm átmérőjű, 100 mm magas henger alakú próbatesteken mértük (2. ábra). A próbatest alakjának meghatározásakor

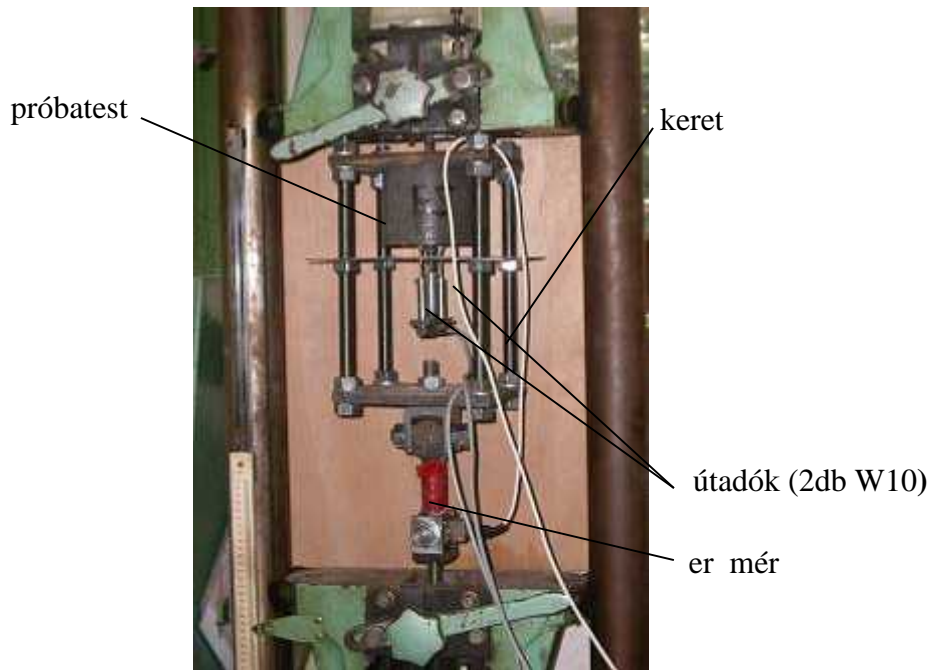
dönt szerepet játszott az, hogy a próbatetek lehet leg egyenletesen melegedjenek át. A 60 mm hosszú tapadásmentes szakasz kialakításához, a m anyag megolvadása és esetleg a leh lés során történ ismételt megszilárdulása miatt, nem az általában alkalmazott bentmaradó m anyagcsöves megoldást választottuk. A m anyagcsöves megoldás helyett kizsaluzható acéls vel biztosítottuk a tapadásmentes részt.

A próbateteket h terhelés, majd leh lés után terheltük. Az alkalmazott h lépcs k a 20°C, 50°C, 150°C, 300°C, 400°C, 500°C és 800°C voltak.

A kihúzó kísérletet szakítógéppel végeztük és a relatív elmozdulást két darab, egymással átellenesen elhelyezett útagóval mértük, amelyeket a betonacélhoz és a betonfelülethez rögzítettük, így a betonacél er -relatív elmozdulás összefüggését ábrázolni tudtuk. A kísérleti elrendezés a 3. ábrán látható.



2. ábra: A betonacél tapadószilárdság vizsgálatához használt próbatetek geometriája (a méretek mm-ben adottak)



3. ábra: A betonacél kihúzó kísérletének elrendezése

A próbatetekhez öt különböző betonból készült keveréket alkalmaztunk. Az alkalmazott betonösszetételeket az 1. táblázatban adjuk meg.

1 táblázat: Alkalmazott betonösszetétel (kg/m³)

	Mix 0	Mix 1	Mix 3	Mix 4	Mix 5
Cement	350	350	386	386	350
Víz	151	151	181	181	151
Adalékanyag: 0-4 mm	912	912	1024	1015	912
Adalékanyag: 4-8 mm	485	485	302 LW	390	485
Adalékanyag: 8-16 mm	544	544	-	-	544
Képlékenyít	1.4	1.4	5	5	1.4
Szálak	-	1 PP	-	-	35 A

PP - polipropylene szál (l=18 mm, d= 0.032),

A – acélszál (l=40 mm, d= 1,1 mm),

LW – könnyű adalékanyag

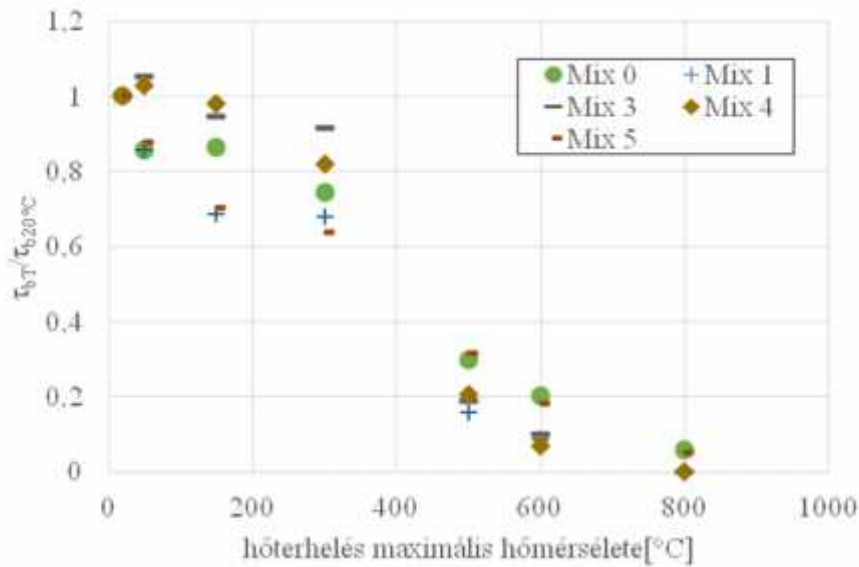
A betonacél és a könnyű adalékanyag felhasználásával készült beton közti tapadás vizsgálatával több kutatás is foglalkozik, mivel a tapadást nagyban befolyásolhatja az adalékanyag szilárdsága is (Nemes - Török, 2014; Nemes, 2010; Nemes, 2015).

A beton száltartalma hatással van a repedések kialakulására. Ez a hatás kihasználható a magas hőmérsékletben előadódó egyenlőtlen hőmérsékletelosztás okozta repedések áthidalására is (Balázs - Czoboly, 2016; Czoboly - Balázs, 2016).

A kapcsolati szilárdság alakulását a 4. ábrán adjuk meg. Az ábrán megadott ordináták a 20°C-ra vonatkoztatott relatív értékeket mutatják. A 4. ábra alapján a következő megállapításokat tehetjük (Lublóy, 2008):

- A beton adalékanyagától és a keverékhez adagolt szálaktól függetlenül 400°C-ig a nyomó- és a kapcsolati szilárdság csökkenése közel azonos. *400°C felett azonban a relatív kapcsolati szilárdság drasztikusan lecsökkent, míg a nyomószilárdság esetén ilyen jelentős változás nem volt megfigyelhető.*
- *400°C-os hőterhelés felett a kapcsolati szilárdság jelentős csökkenése az adalékanyagtól függetlenül megfigyelhető, ami a hőterheléssel, majd a lehűlés hatására a betonban kialakuló repedésekkel és a Ca(OH)_2 (portlandit) bomlásával (450°C körül) magyarázható.*

A fentiek alapján megállapítható, hogy a hőterhelés hatására a beton és betonacél határfelületének kémiai összetétele és ezáltal a kapcsolati szilárdsága is megváltozik.



4. ábra: A tapadószilárdság alakulása a hőmérséklet függvényében (minden mérési pont 3 mérés átlaga)

3. NUMERIKUS MODELLEZÉS

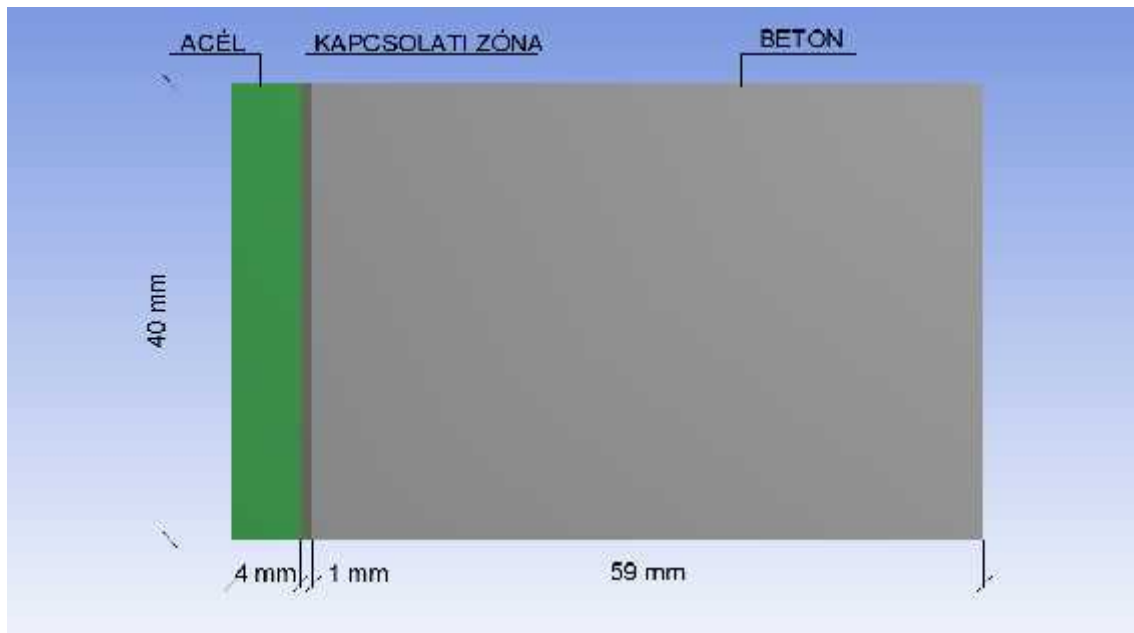
A laboratóriumi vizsgálatokból kapott eredmények további igazolására egy numerikus modell is készült.

A numerikus analízishez az ANSYS 15 nemlineáris végeleemes szoftvert használtuk. A számítás két különálló részben történik össze. Az első részben a próbatest hővezetése lett modellezve az idő függvényben (Termikus modell), majd ezekhez az eredményekhez társítva a második részben a test statikus terhelése is megtörtént (Statikus modell). A próbatest geometriája és felhasznált anyagok paraméterei mind a két modellrészben megegyeztek.

3.1 Geometria

A modell geometriai méretei követték a laboratóriumi összeállítás méreteit, viszont sok esetben jelentős egyszerűsítésre volt szükség.

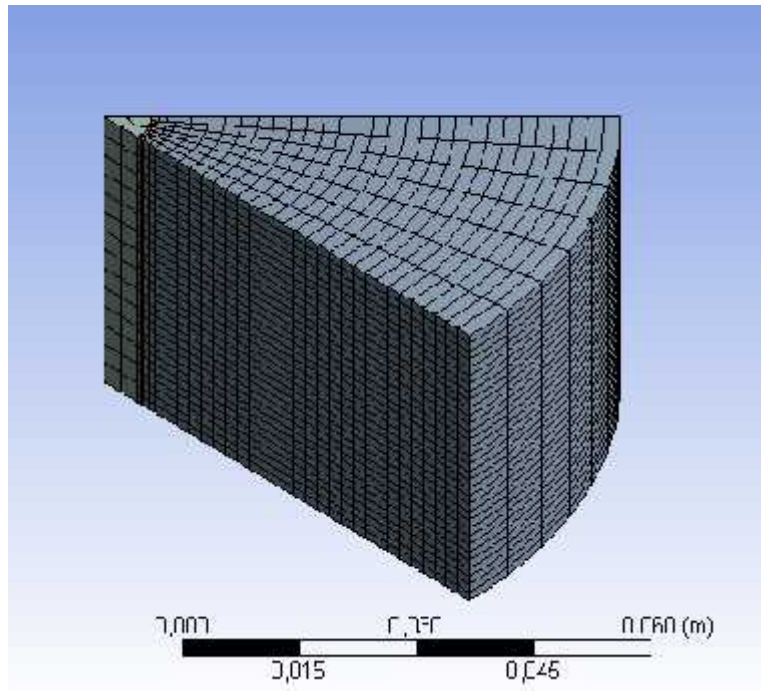
A laboratóriumi vizsgálatoknál használt próbatest modellezésénél a szimmetria miatt csak a keresztmetszet nyolcada lett modellezve, ahol három különböző anyag lett definiálva (5. ábra).



5. ábra: A modell geometriája és a definiált anyagok

Az 1 mm vastagságú „*kapcsolati zóna*” elnevezés anyaggal definiáltuk a megfelelő kapcsolatot a bordás betonacél és a beton között a h mérséklet függvényében.

Tekintet arra, hogy a próbatestünk körszimmetrikus volt, a numerikus modellben csak a mérési összeállítás nyolcadát modelleztük, azért, hogy a későbbiekben csökkentsük az elemek számát és ezzel a számítási időt. A végelem háló generálása négyszögelemekkel történt, ügyelve arra, hogy a kapcsolatot definiáló 1 mm vastag réteg legalább 2 elembe épüljön fel. Ezzel biztosítottuk, hogy a statikus terhelésnél az átmeneti réteg deformációja is minél jobban közelítse a valóságot. A 6. ábrán a numerikus modell teljes geometriája, és az alkalmazott végelem háló látható.



6. ábra: Az alkalmazott végelem háló

3.2 Definiált anyagok

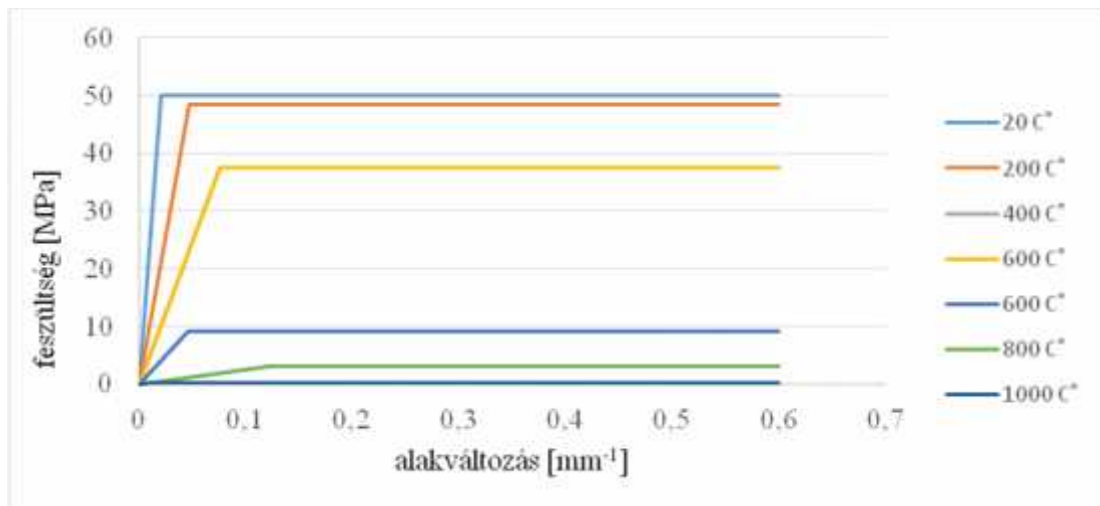
A modellben használt anyagok közül a beton és a betonacél α hőmérsékletfüggő paraméterei megegyeznek a szakirodalomban is megtalálható anyagjellemzőkkel (MSZ EN 1992-1-2).

A kapcsolat modellezéséhez használt átmeneti zóna α hőmérsékletfüggő anyagjellemzői közül a szilárdság, a rugalmassági modulus, az ún. *Poisson* tényező, a hővezetési tényező, és fajhő megegyezik a betonnál definiált paraméterekkel. Ugyanakkor, az átmeneti zóna szilárdságának meghatározásánál a következő összefüggést használtuk (Lublóy, 2008):

$$20\text{ C}^\circ \text{ és } 400\text{ C}^\circ \text{ között: } \alpha = 2,5 f_{ck}^{0,5}$$

$$500\text{ C}^\circ \text{ és } 800\text{ C}^\circ \text{ között: } \alpha = 2,5 f_{ck}^{0,4}$$

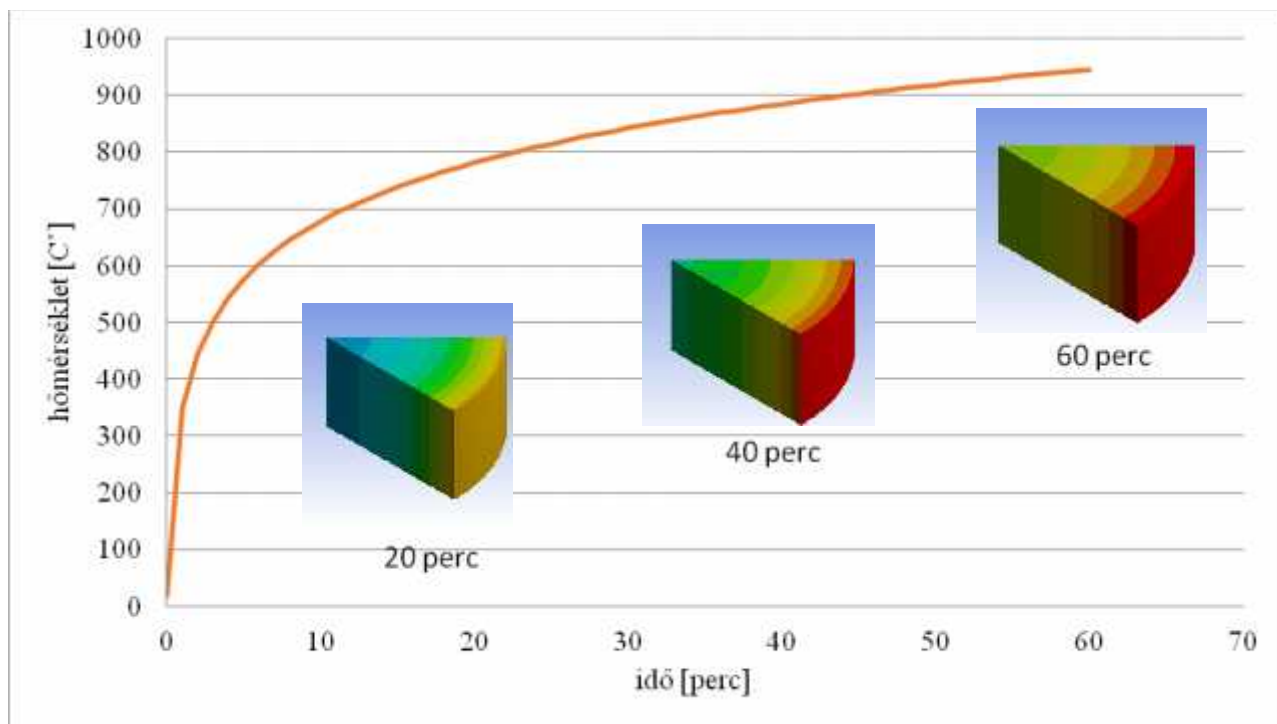
Az így kapott α hőmérsékletfüggő szilárdsági anyagjellemzőket a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: Az átmeneti zóna szilárdsága a ϵ_p mérséklet függvényében

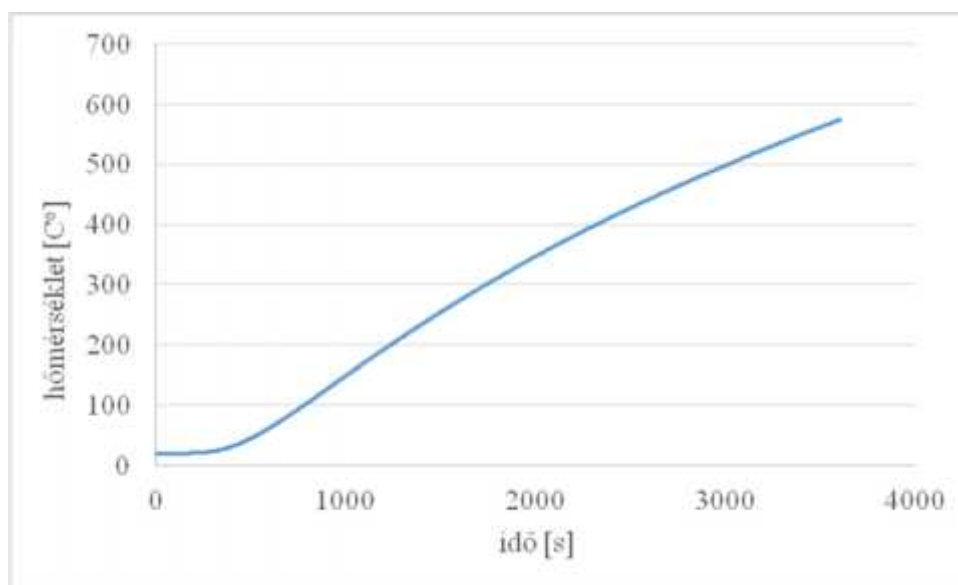
3.3 Termikus analízis

A számítás során a ϵ_p terhelés a próbatest külső palástján lett definiálva. Ez megfelel a laboratóriumi kísérletek során alkalmazott ϵ_p terhelési beállításoknak. A ϵ_p terhelés időben változóként lett definiálva. A terhelés összesen 60 percig (3600 másodperc) tartott és a ϵ_p mérséklet változása megfelelt a szabványos ISO ϵ_p görbének (Kerekes, 2008), amit a laboratóriumi kísérletnél is használtunk (8. ábra). A termikus analízis során a próbatestben történő ϵ_p mérsékletváltozás kaptuk eredményül.



8. ábra: H teher id beli változása (ISO t zgörbe)

A program lehet vé tette, hogy adatokat gy jtsünk egy pont, felület, vagy térfogat h mérséklet változásáról. Így külön mérni tudtuk az kapcsolati zóna h mérsékletváltozását a h terhelés során az id függvényében (9. ábra).

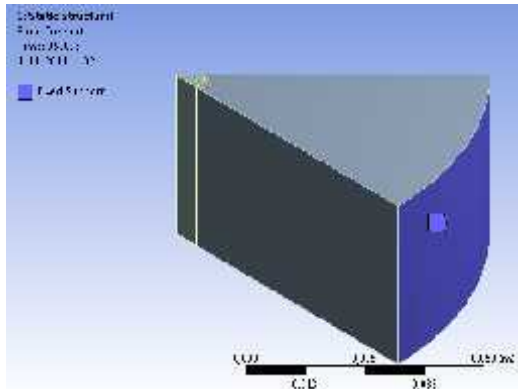


9. ábra: A kapcsolati zóna h mérséklet változása

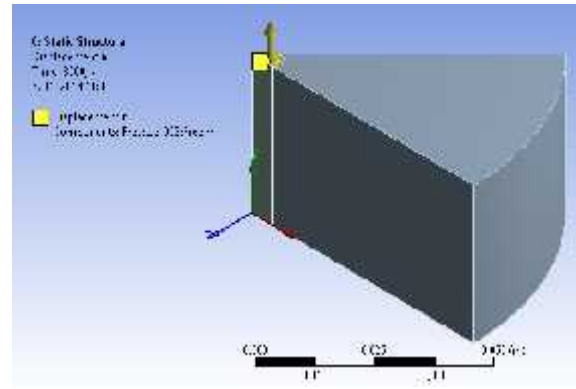
3.4 Statikus modell

A numerikus számítás második felében a modellen egy elmozdulás terhet m ködtettünk. A program lehet séget nyújt arra, hogy az elmozdulás terhet mellett a modellben lejátszódo h mérséklet változás is figyelembe legyen véve, ami beolvasható a termikus analízisb l.

A statikus terhet esetén a test fix megtámasztása az elem palástján történt (10a. ábra), míg az elmozdulás terhet az acél elem fels síkján hatott (10b. ábra).



10a. ábra – Fix megtámasztás

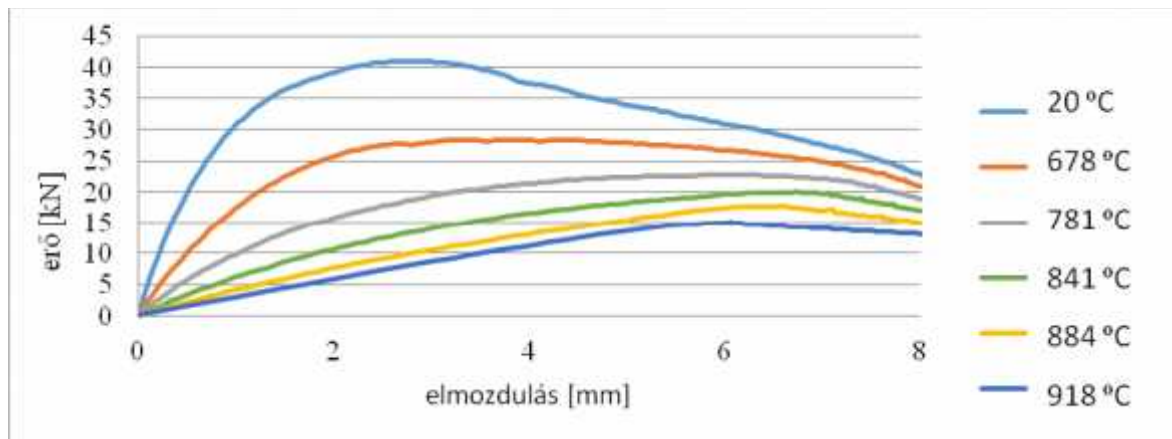


10b. ábra – Elmozdulás terhet

Az elmozdulás terhet maximális mértéke 10 cm volt, ami lineárisan emelkedett az analízis során. A számítások során több különböz id pontban indított elmozdulás terhettel is számoltunk (0. perc, 10. perc, 20. perc, 30. perc, 40. perc, 50. perc), hogy megtudjuk, hogyan viselkedik a próbatest különböz h mérsékleteken. A terhelés teljes id tartama itt is 60 perc volt, ugyan úgy, mint a termikus analízis esetén.

3.5 Numerikus modell eredményei

A numerikus analízisben az elmozdulás terhet során az elmozdulást az acél fels síkján, míg a reakciót az elmozdulás terhet síkjában olvastuk le. A különböz id pontokban elindított terhelés er -elmozdulás diagramjai a 11. ábrán láthatók.



11. ábra: A különböző statikus terhelések erő-elmozdulás diagramjai

A kapott eredményeket összevetve a laboratóriumi kísérlet eredményeivel elmondható, hogy azok nagyon jó egyezést adtak, amivel sikerült igazolni, hogy a végeslemes módszer jól használható a beton, betonacél tapadásának modellezésére is.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

Szerkezetek tervezésénél egyre fontosabb követelményé válik a t zzel szembeni ellenállás megfeleltetése. Magas h mérsékleten, mind a beton, mind az acél szilárdsága megváltozik. Ezzel a területtel már sok kutatás, vizsgálat foglalkozott a múltban, ugyanakkor a vasbetonszerkezeteknél az acél és a beton közti kapcsolat h mérséklet hatására való változása még kérdéses és keveset kutatott téma. A beton és az acél közti tapadás változásának megismerése és leírása a tervezés szempontjából ugyanolyan jelent s lehet, mint az anyagok jellemz inek változása.

Kutatásunk során a beton és az acél közti kapcsolat vizsgálatára, mind laboratóriumi, mind numerikus vizsgálatokat végeztünk. A laboratóriumi vizsgálatok alapján megállapítható, hogy:

- A beton adalékanyagától és a keverékhez adagolt szálaktól függetlenül 400°C-ig a nyomó- és a kapcsolati szilárdság csökkenése közel azonos. 400°C felett azonban a relatív kapcsolati szilárdság drasztikusan lecsökkent, míg a nyomószilárdság esetén ilyen jelent s változás nem volt megfigyelhet .

- 400°C-os h terhelés felett a kapcsolati szilárdság jelentős csökkenése az adalékanyagtól függetlenül megfigyelhető, ami a h terheléssel, majd a lehéls hatására a betonban kialakuló repedésekkel és a Ca(OH)₂ (portlandit) bomlásával (450°C körül) magyarázható. A fentiek alapján megállapítható, hogy a h terhelés hatására a beton és betonacél határfelületének kémia összetétele és ezáltal kapcsolati szilárdsága is megváltozik.

Numerikus vizsgálatnál a laboratóriumi mérések alapján validáltuk a modellt. A modellben a kapcsolatot egy olyan anyaggal definiáltuk, aminek jellemzői a h mérséklet hatására a következőképpen változtak:

$$20\text{ C}^\circ \text{ és } 400\text{ C}^\circ \text{ között: } \sigma_1 = 2,5 f_{ck}^{0,5}$$

$$500\text{ C}^\circ \text{ és } 800\text{ C}^\circ \text{ között: } \sigma_1 = 2,5 f_{ck}^{0,4}$$

A fenti eredményeket összevetve a laboratóriumi kísérlet eredményeivel megállapítható, hogy azok nagyon jó egyezést adtak, amivel igazoltuk, hogy a végeslemes módszer jól használható a beton, betonacél tapadásának modellezésére is.

HIVATKOZÁSOK

Balázs L. Gy., Czoboly O. (2016): Fibre Cocktail to Improve Fire Resistance, Key Engineering Materials, Vol. 711, DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.711.480, pp. 480-487, 2016

Czoboly O., Balázs L. Gy. (2016): Influence of mixing time to the properties of steel fibres and steel fibres reinforced concrete, Concrete Structures, HU ISSN 2062-7904, online ISSN: 1586-0361, Vol. 17., <http://www.fib.bme.hu/folyoirat/cs/cs2016.pdf>

Diderichs, U. (1981): Untersuchungen über den Verbund zwischen Stahl und Beton bei hohen Temperaturen, Dissertation, Braunschweig, 1981

fib bulletin 10, (2000): Bond of reinforcement in concrete, ISBN: 2-88394-050-9

Kerekes Zs. (2008): Épít anyagok új „Euroclass” szerinti tűzveszélyességi minősítése és hazai bevezetése, SZIE Tudományos közlemények, V.évf.,1.sz.,47-57.o.

Majorosné Lublóy É.(2008): Tűz hatása a vasbetonszerkezetek anyagaira. PhD értekezés, 2008

MSZ ENV 1992-1-2: 2005 Betonszerkezetek tervezése, Általános szabályok, Tervezés
t zterhelésre

Nemes R. (2010): Szerkezeti könny betonok tervezési kérdései 1. Általános jellemz k,
adalékanyagok, VASBETONÉPÍTÉS: A FIB MAGYAR TAGOZAT LAPJA: M SZAKI
FOLYÓIRAT 12:(2) pp. 34-42. 2010

Nemes R. (2015): Könny betonok fagyasztásvizsgálatának érdekességei,
ÉPÍT ANYAG 67:(1) pp. 24-27. 2015

Nemes R., Török B. (2014): Betonacél tapadása különböz adalékanyagok alkalmazása esetén,
ÉPÍT ANYAG 66:(1) pp. 7-12. 2014

Lublóy Éva habilitált adjunktus, Budapesti M szaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Épít mérnöki Kar, Épít anyag és Magasépítés Tanszék, H-1111, Budapest M egyetem rkp. 1-3,
email: lubloy.eva@bme.epito.hu

orcid: 0000-0001-5435-4400

Éva Lublóy, professor assistante, Budapest University of Technology and Economics, Department
of Construction Materials and Technologies, H-1111 Budapest, M egyetem rkp 1- 3,
lubloy.eva@bme.epito.hu

orcid: 0000-0001-5435-4400

Hlavicka Viktor, PhD hallgató Budapesti M szaki és Gazdaságtudományi Egyetem,
Épít mérnöki Kar, Épít anyag és Magasépítés Tanszék, H-1111, Budapest M egyetem rkp. 1-3,
email: hlavicka.viktor@epito.bme.hu .

orcid: 0000-0001-5435-4400

Viktor Hlavicka, PhD student, Budapest University of Technology and Economics, Department
of Construction Materials and Technologies, H-1111 Budapest, M egyetem rkp 1- 3,
hlavicka.viktor@epito.bme.hu.

orcid: 0000-0001-5435-4400

A kézirat benyújtása: 2016.09.10.

A kézirat elfogadása: 2016.09.24.

Lektorálta: Restás Ágoston