

Vasbeton szerkezetek tűzállósága

Kedvező tulajdonságainak köszönhetően napjainkra a vasbeton az egyik legjelentősebb építőanyaggá vált. Térhódításának egyik oka, hogy nemcsak az egyszerű, de különleges szerkezeteket egyaránt lehet készíteni vasbetonból. Ugyanakkor tűz esetén a viselkedése számos, a tervezés szempontjából fontos tanulsággal szolgál. Ennek jelentőségét és a hőterhelés során bekövetkező változásokat mutatják be szerzőink.

1. Vasbetonszerkezetek tűzállóságának jelentősége

A betonösszetétel tervezése hosszú időn át az előírt nyomószilárdság teljesítésére korlátozódott. A növekvő mérnöki kihívásokkal azonban a beton tulajdonságai és tervezésének szempontjai is folyamatosan változnak. Mára a betontechnológiában a tervezett nyomószilárdságon túl a betonok egyéb tulajdonságaira (pl.: várható használati élettartamára, fagyállóságára, tűzállóságára) is nagy hangsúlyt fektetnek.

A szerkezetek tűzállósága is egyre fontosabbá vált. Ennek oka lehet az is, hogy az elmúlt évtizedekben számos épület-, alagút- és fűtorony tűz történt világszerte. Ezek közül csak néhány nagyobb került be a köztudatba. Elég csak az egész világot megrázó New York-i World Trade Center 2001. szeptember 11-i katasztrófájára gondolni. A szakértők vizsgálatai szerint az acél keretvázis épület a repülőgép becsapódását még elviselte volna, azonban a közben keletkezett tüzet már nem.

A sok tüzeset miatt világszerte kiemelt téma a szerkezetek megfelelő tűzállóságának biztosítása. Európában az EUROCODE bevezetésével kötelezővé vált az épületek tűzállósági méretezése, így 2011 óta Magyarországon a szerkezetek erőtani méretezése, tervezése mellett el kell végezni a tűzállósági méretezést, és tervezést is.

Mélygarázs, magas épület, alagút

Vasbetonszerkezetek esetén is jelentősen károsodhat a szerkezet egy tüzeset közben. 2004. november 27-én Gretzenbachban (Svájc) keletkezett tűz egy mélygarázsban. A tűz hatására 54 perc után a garázs födéme leszakadt. Az építmény födémátszúródás miatt ment tönkre (*1. ábra*) [1].



1. ábra: Gretzenbach-i mélygarázs tönkremenetele, 2004 [2]

A részben vasbeton szerkezetű madridi Torre Windsor torony 2005. február 15-i tüzesét is gyakran említik épülettüzekkel kapcsolatban (2. ábra). A sors iróniája, hogy a tűz pont a tűzvédelmi berendezések és tűzgátló ajtók beépítése közben keletkezett. Az épület 21. emeletén volt a tűzfészek, ahonnan a legfelső szintig terjedt a tűz; ennek pusztító hatására jellemző, hogy még a 4. emeletig is lejutottak a lángok, mire a tüzet meg tudták fékezni.



2. ábra: Madrid Torre Windsor torony [3]

A jellemzően vasbeton szerkezetű alagutak tervezése során is fokozott figyelmet kell szentelni a tartószerkezetek tűzterherre történő tervezésére, mivel az alagutakban viszonylag gyorsan magas hőmérséklet alakulhat ki. Ezt megtörtént esetek is bizonyítják: a Montblanc-alagútban 1999. március 24-én, míg a Szent Gotthárd-alagútban 2001. október 24-én következett be tűz [4]. Alagúttüzeknél gyakori tönkremeneteli mód a teljes összeomlás mellett a betonfelület réteges leválása is (3. ábra), amit a gyorsan emelkedő léghőmérséklettel lehet magyarázni.



3. ábra: Gotthárd-alagút betonfelületének réteges leválása [5]

Hazai esetek

Megdöbbenő adat, hogy Magyarországon 2000. és 2005. között évi átlagban 24 ezernél is több tüzesetet regisztráltak. Ebből 6300-nál több érintett lakóingatlant [6].

Az idei évben is több tüzesetről olvashattunk. Többek között Budapest XVIII. kerületében gyulladt ki egy családi ház és a hozzá tartozó két műhely 2012. július 20-án kora este. A tűzben több palack felrobbant, egyet mesterlövészek lőttek ki. A ház mintegy 300 m² tetőszerkezete teljes terjedelmében leégett, akárcsak a mellette lévő két, használaton kívüli autószerelő-műhely [7].

2. Vasbeton szerkezetekben hőterhelés során bekövetkező átalakulások

A vasbeton szerkezetekben a tűz hatására a következő változások következnek be [8]:

- **anyagszerkezeti változások**, amelynek okai lehetnek:
 - a cement és az adalékanyag eltérő hőtágulása,
 - belső vízgőznyomás, vagy annak hirtelen növekedése,
 - a keresztmetszeten belüli, illetve az elem menti eltérő hőmérsékletek,
- **túlzott lehajlások** (beleértve a hő hatására bekövetkező kúszás és fajlagos alakváltozás okozta növekményt),
- **túlzott repedezettség**,
- a beton és a betonacél közötti **tapadás** és lehorgonyzókéesség leromlása,
- betonfedés **réteges leválása**,
- **teherbírásvesztés** (beleértve a stabilitásvesztést és az átszúródást).

A vasbeton szerkezetek tűzállósági méretezését nehezíti, hogy a hőmérséklet emelkedésével a beton szilárdsági jellemzői megváltoznak. Sőt, a beton lehűlése után sem nyeri vissza eredeti

tulajdonságait, mivel a hőterhelés hatására a beton szerkezetében visszafordíthatatlan folyamatok játszódnak le.

A vasbetonszerkezetek tönkremenetele alapvetően a következő két okra vezethető vissza [9]:

- (1) a beton alkotóelemeinek kémiai és fizikai átalakulására (1. táblázat),
- (2) a betonfelület réteges leválására (3. ábra).

2.1. A beton alkotóelemeinek kémiai és fizikai átalakulása

Thielen [10] megállapította, hogy a beton hőterhelés hatására való szilárdsági tulajdonságainak változása a cement típusától, az adalékanyag típusától, a v/c tényezőtől, az adalékanyag-cement tényezőtől, a beton kezdeti nedvességtartalmától és a hőterhelés módjától függ.

Magas hőmérsékleten a beton szerkezete megváltozik. A különböző hőmérsékleti tartományokban a betonban lejátszódó legfontosabb fizikai és kémiai folyamatok az 1. táblázatban vannak összefoglalva [11].

Azonban más kutatások nagy hangsúlyt fektetnek a betonok hőterhelés utáni maradó nyomószilárdságánál a beton pórusrendszerének alakulására. Hinrichsmeyer [12] szerint: a kvarckavics adalékanyagú betonoknál 150°C-ig a cementkő porozitása, valamint az adalékanyag és a cementkő közötti kontaktzóna porozitása nő. A kontaktzónában 150°C-ig repedések keletkezhetnek, amit az adalékanyag és a cementkő különböző hőtágulásával magyarázhatunk. A cementkő struktúrája 450°C-ig stabil, de mikrorepedések már e hőmérséklet alatt is kialakulhatnak. 450°C-550°C között azonban a portlandit bomlása miatt a pórusok száma megnő. Ezután 650°C-ig a cementkő felépítése nem változik. E felett a CSH vegyületek bomlása megkezdődik és a kapillárisok száma megnő. 750°C felett a pórusok átmérője nagymértékben növekszik. Mindezen változások mellett a maradó szilárdság változását figyelhetjük meg a hőmérséklet függvényében.

1. táblázat: A betonban lejátszódó folyamatok a hőmérséklet függvényében [11]

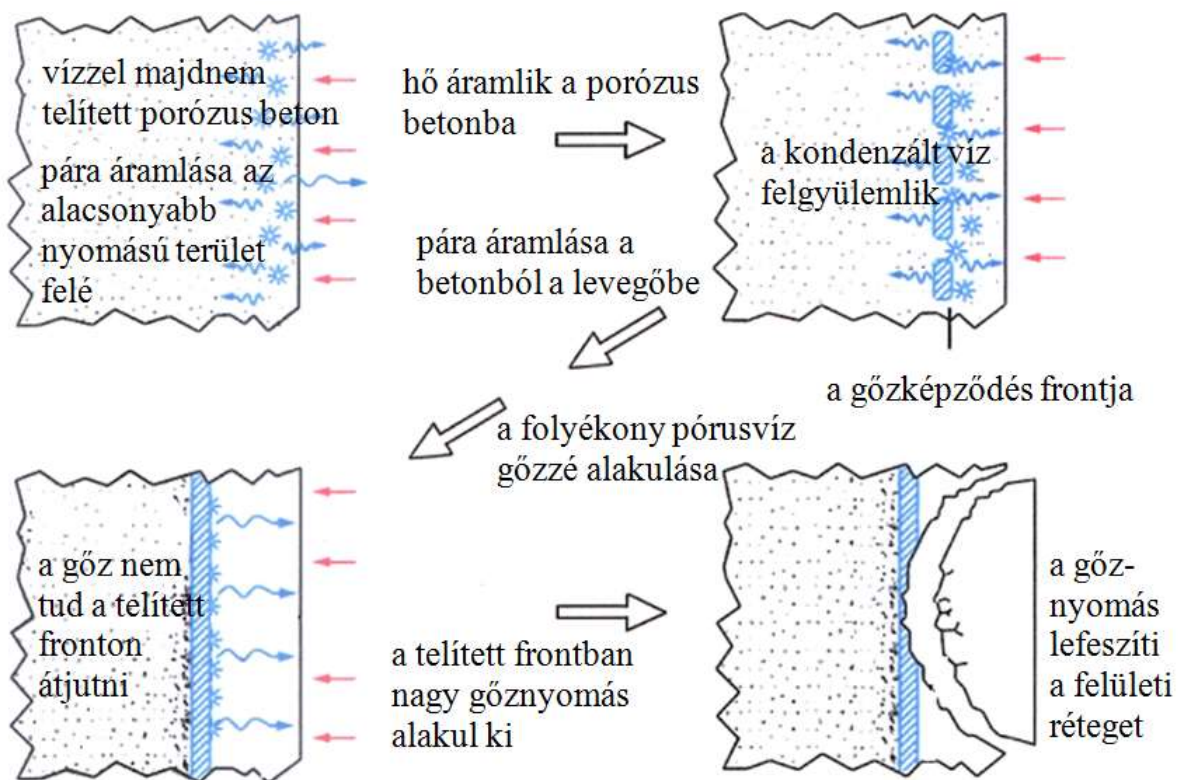
<i>a beton hőmérséklete</i>	<i>Folyamat</i>
1200°C	az olvadás kezdete
800°C	kerámiai kötés bomlása
700°C	kalcium-szilikát-hidrátok
600°C	a kúszás erőteljes növekedése
500°C	kalcium-hidroxid bomlása
100–400°C	a betonfelületek réteges leválása szempontjából kritikus tartomány

300°C	a kvarckavics adalékanyagú betonok szilárdságvesztésének kezdete, néhány adalékanyag dehidratációja
100°C	hidro-termikus reakciók, a kémiaailag kötött víz távozásának kezdete

A szerkezetek hőterhelése miatt jelentős alakváltozások alakulnak ki, melyek összegződése miatt akár a közvetlenül tűzterhek ki nem tett szerkezeti elemek is károsodhatnak.

2.2. A betonfelület réteges leválása

A betonfelület réteges leválása (ún. spalling) miatt a betonacélok tűzhatás elleni védelme megszűnik, ezek gyors felmelegedése és szilárdságcsökkentése pedig a szerkezet statikai rendszerének átalakulását is eredményezheti, ezért el kell kerülni. A betonfelület réteges leválásának mechanizmusát a 4. ábrán mutatjuk be.



4. ábra: A beton felület leválásának mechanizmusa [11]

A betonfelület réteges leválását a következő tényezők befolyásolják:

- külső tényezők: a tűz jellege, a szerkezetre ható külső terhek nagysága;
- geometriai jellemzők: a szerkezet geometriai adatai, a betonfedés nagysága, a vasbetétek száma és elhelyezkedése;
- a beton összetétele: az adalékanyag mérete és típusa, a cement és a kiegészítő anyag típusa, a pórusok száma, az esetleges polipropilén-szál, illetve acélszál adagolás

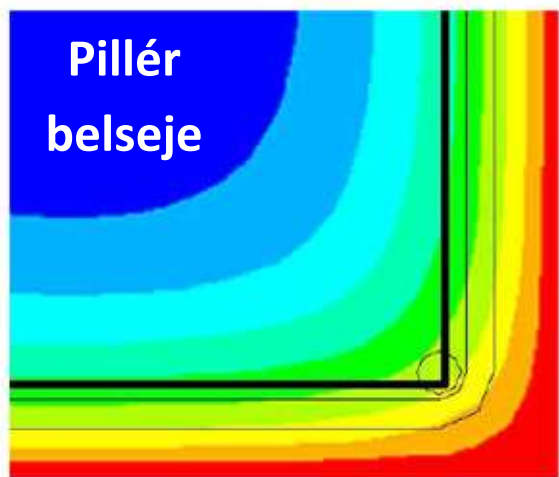
mértéke, valamint a beton nedvességtartalma, áteresztőképessége és szilárdsága [13].

A betonban ébredő feszültség függvényében változik a felület réteges leválásának veszélye. Kisebb nyomóerő esetén kisebb keresztmetszeti méret előírása is elegendő a betonfelület réteges leválásának elkerülésére.



5. ábra: 1000°C hőterhelést követően az épen maradt henger alakú próbatestek, illetve a tönkrement hasáb alakú próbatestek

A spalling vizsgálata kis méretű próbatesteken is lehetséges, azonban tudni kell, hogy a különböző alakú próbatestek hőterhelés hatására eltérően viselkednek. A hasáb alakú próbatesteknél nagyobb számban figyeltük meg a próbatest robbanásszerű tönkremenetelét, mint a henger alakú próbatesteknél (5. ábra). Ez azzal magyarázható, hogy a csúcsok és az élek környezetében ugyanakkora hőbevitel esetén magasabb hőmérséklet alakul ki, mint az elemek más részein (6. ábra), így a különböző alakú próbatesteknél eltérő feszültségeloszlás alakul ki. Ezzel magyarázható, hogy hasáb alakú próbatesteken nagyobb mértékben figyeltük meg a spalling, azaz a felület réteges leválásának jelenségét.



6. ábra: Ansys modell 120 perces hőterhelés hatására kialakuló betonhőmérséklet eloszlásáról egy vasbeton pillér élénél



7. ábra: Betonfedés sajátos leválása az ablak mentén, sarokban, a Miskolc, középster u. 20 sz. alatti paneles lakóépület 2009. augusztus 15-i tüzeseténél [14]

3. Összefoglalás

Napjainkra a vasbeton kedvező tulajdonságai miatt az egyik legjelentősebb építőanyaggá vált. A gyakori tüzesetek miatt a vasbeton szerkezetek tervezése és ellenőrzése során is kiemelt jelentőségűvé vált a tűzterherre való méretezés, ellenőrzés.

A vasbeton szerkezetek tűzállósági méretezését nehezíti, hogy a hőmérséklet emelkedésével a beton szilárdsági jellemzői megváltoznak, sőt a beton lehülése után sem nyeri vissza eredeti tulajdonságait, mivel a hőterhelés hatására a beton szerkezetében visszafordíthatatlan folyamatok játszódnak le.

A vasbetonszerkezetek tönkremenetele alapvetően a beton alkotóelemeinek kémiai és fizikai átalakulása, illetve a betonfelület réteges leválása miatt következik be. A betonfelület réteges leválása miatt a betonacélok tűzhatás elleni védelme megszűnik, ezek gyors felmelegedése és szilárdságsökkentése pedig a szerkezet statikai rendszerének átalakulását is eredményezheti, ezért törekedni kell annak elkerülésére.

4. Hivatkozások

- [1] <http://www.feuerwehrmagazin.de/magazin/2009/11/27/erinnerung-an-sieben-tote-einsatzkrafte/>
- [2] Gambarova P. P. (2004): Opening Adresses on Some Key Issues Concerning R/C Fire Desing, Proceedings for Fire design of Concrete Structures: What now?, What next?
- [3] <http://forum.skyscraperpage.com/showthread.php?t=118065>
- [4] Vass E. (2001): „Alagúttűz Svájcban, Kamionok ütköztek a kétszer egysávos úton”, <http://index.hu/kulfold/alagut1024/>
- [5] <http://www.polizia.ti.ch>
- [7] Leégett egy családi ház Budapesten (<http://www.origo.hu/itthon/20120620-tuz-budapest-en-kigyulladt-egy-csaladi-haz-a-xviii-keruletben.html>)
- [8] Balázs L. Gy., Lublós É. (2009), „Magas hőmérséklet hatása a vasbeton szerkezetek anyagaira” *VASBETONÉPÍTÉS* 2009/2, pp. 48-54
- [9] Kordina K. (1997): Über das Brandverhalten punktgestützter Stahbetonbalkaen, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 479, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin
- [10] Thielen K. Ch. (1994): Strength and Deformation of Concrete Subjected to high Temperature and Biaxial Stress-Test and Modelling, (Festigkeit und Verformung von Beton bei hoher Temperatur und biaxialer Beanspruchung – Versuche und Modellbildung), Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, Heft 437, ISSN 0171-7197, Beuth Verlag GmbH, Berlin

- [11] Balázs L. Gy., Horváth L., Kulcsár B., Lublós É., Maros J., Mészöly T., Sas V., Takács L., Vígh L. G. (2010): Szerkezetek tervezése tűzterherre az MSZ EN szerint (beton, vasbeton, acél, fa) Oktatási segédlet
- [12] Hinrichsmeyer K. (1987): Strukturorientierte Analyse und Modellbeschreibung der thermischen Schädigung von Beton, Heft 74 IBMB, Braunschweig
- [13] Silfwerbrand J. (2004): Guidelines for preventing explosive spalling in concrete structures exposed to fire, Proceedings of Keep Concrete Attractive, Hungarian Group of fib. 23-25 Mai 2005, Budapest University of Technology and Economics, Budapest: 2005, pp. 1148-1156. - ISBN 963 420 837 1
- [14] Szikra Cs., Takács L. (2010): Specialities of a Fire Case in a Residential Building at Miskolc, Középszer str. 20. A Miskolc, Középszer u. 20 sz. alatti lakóépület tüzesetének sajátosságai. Proceedings of ÉPKO, International Conference of Civil Engineering and Architecture 2010, Csíksomlyó, Romania

Czoboly Olivér Attila tanszéki mérnök, Majorosné Dr. Lublós Éva adjunktus

BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék