

Nagy teljesítőképességű betonok – definíciók, lehetőségek

High performance concretes – definitions, possibilities

Prof. Dr. habil BALÁZS L. György

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Építőmérnöki Kar,
Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3., H-1521 Budapest
balazs.gyorgy@epito.be.hu

ABSTRACT

The High Performance Concrete (HPC) as well as Ultra High Performance Concrete (UHPC) provide a major step in the development the different concrete types. This definition reflects properties that are beyond the the properties of conventional concretes (see details in the article). A special form of HPC-UHPC concretes is the tailor made concrete. These types of concretes are finding their ways both to new structures and to retrofitting of existing structures.

KIVONAT

A nagy teljesítőképességű beton, ill. ultra nagy teljesítőképességű beton a betonok fejlődésének fontos állomásait jelentik. Definíciójuk magában foglalja mindazokat a beton tulajdonságokat, amik a szokványos betonok tulajdonságain túlmutatnak (lásd részletesen a cikkben). A nagy teljesítőképességű betonok egy megjelenési formája az előre megadott tulajdonságokra készülő (tailor made concrete) betonokat jelentik. Mindezen beton típusok előnyösek új szerkezetek építéséhez valamint szerkezetek rekonstrukciójához.

Kulcsszavak: HPC, UHPC, teljesítőképesség, szálak, w/c, tömörség

1. BEVEZETÉS

A nagy teljesítőképesség, ill. ultra nagy teljesítőképesség fogalma a betonok világában fokozatosan módosult, alakult az elvárások és igények tükrében. Az angolszász eredetű szóhasználat kezdetben okozott némi nehézséget a magyar ajkú felhasználóknak, lévén, hogy szokatlan volt. Szokatlanságát az okozta, hogy teljesítmény, ill. munka jellegű terminológiát használunk egy sokkal tágabb fogalomkörre.

Idővel megszokottá vált a magyar nyelvben is ez a szóhasználat. Ezt előidézte elsősorban, hogy bevezetésre kerültek társult fogalmak, mint például *teljesítmény nyilatkozat* stb., aminek aktuális jelentését mindig igazítani kellett a konkrét kérdéskörhöz.

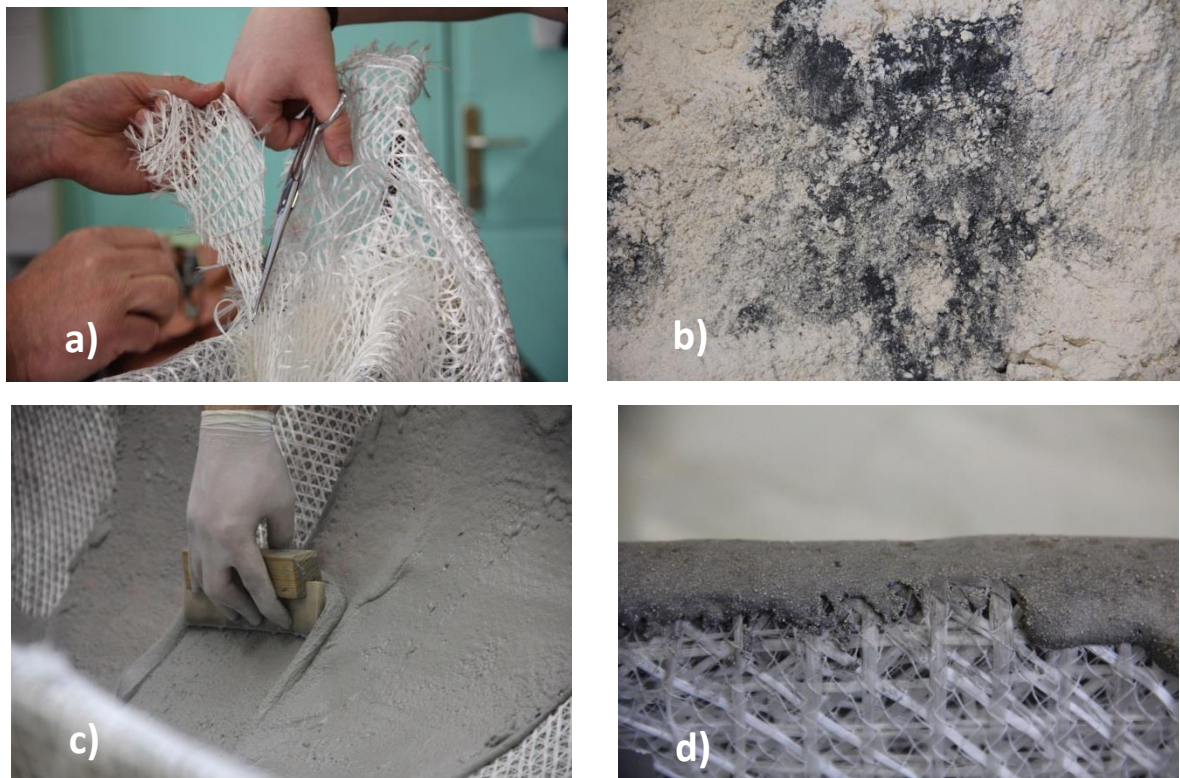
Így mindennapjainkat ma már átszövi teljesítőképesség fogalma különféle formákban. Természetesen ezzel a csupán fogalomkör sokszínűségét kívántam érzékeltetni.

2. ADOTT TULAJDONSÁGOKRA SZABOTT BETON (TAILOR MADE CONCRETE)

Szabad legyen érdekességként előre venni egy viszonylag új fogalmat, ami jól reprezentálja, milyen széleskörű lehetőségeink vannak. Nagyon találó kifejezés jött létre: *tulajdonságra szabott beton (tailor made concrete)*, amivel specifikus tulajdonságok elérését célozzunk meg.

A 1. ábra egy kétszer göbült felület készítését mutatja, amiben betét is lett elhelyezve alkáliálló üvegszálak szövet formájában. A 1 ábrán a betétként használt háló méretre szabását láthatjuk éppen és az elem készítésének különböző fázisait.

A beton lemez anyagával kapcsolatosan követelmények: a nagy húzószilárdság, vízzáróság, kis tömeg és kis zsugorodás. Mindezen követelmények együttes elérésére speciális betonkeverékre van szükség.



1. ábra

Tulajdonságra szabott beton készítése (tailor made concrete) speciális alakok és követelmények kielégítésére (Balázs, 2015)

a) Háló méretre vágása, b) Betokeverés, c) Bedolgozás, d) Szilárdulás – Utókezelés

3. BETONOK NAGY TELJESÍTŐKÉPESSÉGE

A nagy teljesítőképesség fogalma a betonok világában az idők során fokozatosan bővült. Kezdetben a nagy teljesítőképesség fogalmán csupán a nagy szilárdságot értették. Ezért használják még mindig sokan a nagy szilárdság – nagy teljesítőképesség fogalmat.

A tartóssági problémák előtérbe kerülése következtében a teljesítőképesség fokozásán a tartósság fokozott teljesíthetőséget értettek, vagyis a leromlás elkerülhetőségét. A tartósság fokozott figyelembevételében segített aztán nekünk az EN 206:2004-es majd EN 206:2013-as európai betonszabvány megjelenés, ahol a figyelem középpontjába elsődlegesen a tartósságot helyezték.

A *nagy teljesítőképesség beton* fogalmaköre napjainkban már magában foglalja mindazokat a betonokat és beton tulajdonságokat, amik a szokványos betonok tulajdonságain túlmutatnak. Álljon itt egy részletes felsorolás, ami igyekszik áttekintést adni a nagy teljesítőképességnek tekintett beton tulajdonságokról:

- nagy szilárdság
- nagy kezdőszilárdság
- nagy alakváltozóképeség nyomásra – nagy törési összenyomódás
- nagy alakváltozóképeség húzásra – nagy szakadó nyúlás
- kiemelkedő tartósság – hosszú tényleges élettartam jelentős felújítás nélkül (azaz hosszú használati élettartam)
- környezeti hatásokkal szembeni fokozott ellenállóképesség
 - o fokozott fagyállóság
 - o fokozott vízzáróság
 - o fokozott kopásállóság

- agresszív anyagokkal szembeni ellenállóság
- kis víz- és gáz-permeabilitás
- jó bedolgozhatóság
- könnyű alkalmazhatóság
- kiemelkedő tűzállóság
- kiemelkedő földrengésállóság
- korlátozott repedéshajlam
- kis zsugorodás
- kis kúszás
- kis CO₂ lábnyom
- alacsony ár.

Ez a lista továbbfejlesztett változata a Balázs (2015) cikkben megjelentnek. A jövőbeni lehetőségek fejlődése miatt nem kizárt, hogy ez a lista még bővülni fog. Ezek a betonok és beton tulajdonságok előnyösek új szerkezetek építéséhez valamint szerkezetek rekonstrukciójához is.

Jelen cikkben a fenti, részletes lista néhány elemére szeretnék kitérni részleteiben.

4. SZÁLAK A NAGY TELJESÍTŐKÉPESSÉGŰ BETONBAN

A nagy teljesítőképesség kifejtésének nem alapfeltétele a szálak használata a betonhoz, de a tulajdonságok jelentős mértékű megváltozásához – a nagy teljesítőképesség biztosításához – legtöbbször szálak használatával jutunk el. A 20. század végén és a 21. század elején szilárdsági, az alakváltozási, ill. a tartóssági tulajdonságok elérését a szálak alkalmazásával sikerült elérni.

A szálerősítésű betonok (FRC) elterjedése az 1960-as években vált ismeretessé (Romualdi, Mandel, 1964). A beton keverék tervezés és az adalékszerek fejlődése kiváltotta a nagy teljesítőképességű (HPC) és az ultra nagy teljesítőképességű (UHPC) betonok megjelenését. Amennyiben a nagy teljesítőképességű (HPC) és az ultra nagy teljesítőképességű (UHPC) betonok szálakkal készülnek, akkor a pontos megnevezésük nagy teljesítőképességű szálerősítésű betonok (HPFRC), ill. ultra nagy teljesítőképességű szálerősítésű betonok (UHPFRC).

A beton tulajdonságok javulását az acélszál tartalom növelése során is tapasztalhatjuk. Az FRC tartományán keresztül eljuthatunk az UHPFRC betonok tartományáig, a következő változásokat tapasztalva: a szívósság (energia elnyelő képesség) javulása; kedvezőbb repedéskép kialakulása (kisebb távolságú és tágasságú repedések), ami hozzájárul a tartósság fokozásához; a nyírás teherbírás növekedése; majd végül a legnagyobb száltartalmak esetén a nyomó-, ill. a húzószilárdság növekedése.

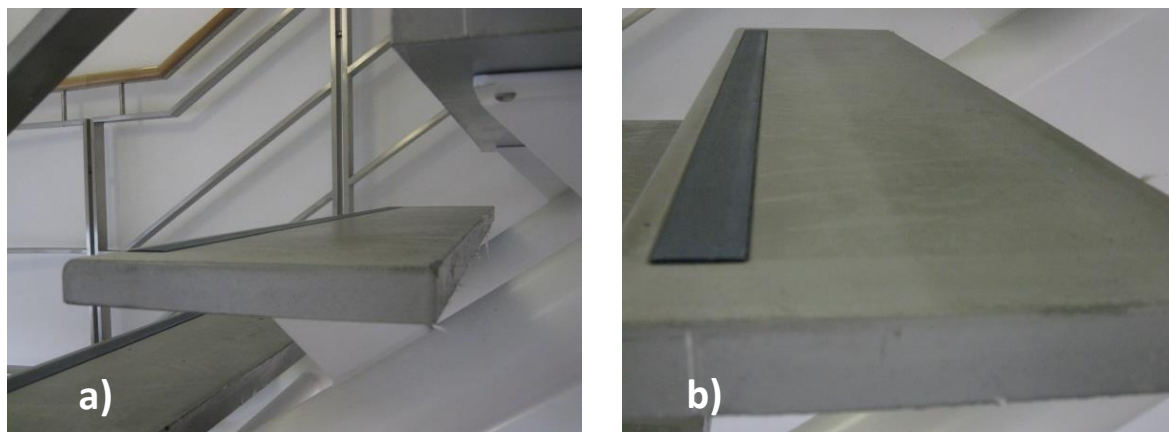
A 2. ábra mutat példát a nagy alakváltozó képességre egy vékony, szálerősítésű beton lemez esetében, ami az ún. SIFCON (Slurry Infiltrated Concrete) módszerrel készült. A szálak kerültek először a zsaluzatban, és azokra öntötték rá a cement habarcsot, ami viszkozitása révén be tudott folyni a szálak közé.



2. ábra

Nagy alakváltozó képesség (Orban, Balázs, 2002)

A 3. ábrán lépcsőkar jó példa műanyag szálerősítésű UHPC esetére, amikor is szerkezetiileg egyszerű elemre elegáns megoldást találtak.



3. ábra
UHPC lépcsőelem

a) Oldalirányú nézet

b) Fölülnézet

5. ADALÉKANYAG TERVEZÉS, TÖMÖRSÉG (PACKING DENSITY)

Az adalékanyag tervezés és a tömörség (angol terminológia szerint: packing density) kulcsszerepet játszik az UHPC betonok tervezésben.

Fennis doktori értekezése (Fennis, 2011) az adalékanyag szemmegoszlásának elemzésén alapszik. Fennis kísérleti eredménye szerint a cement egy része helyettesíthető finom kitöltő anyaggal miközben a víz-cement tényező csökkenthető. A cementre vonatkozó távolsági tényező bevezetését javasolta a vízigény figyelembe vételére és a szilárdság becslésére.

Egy másik doktori kutatásban (Schmidt, Fehling, 2008) beigazolódott, hogy a cementkő tömörsége és a szilárdsága valamit káros közegekkel szembeni ellenálló képessége jelentősen javítható inert, finom szemcsés kitöltő anyagokkal, amik hozzá járulnak a víz-cement tényező kedvező beállításához is. A gázokkal és folyadékokkal szembeni ellenállóképesség elsődlegesen a víz-cement tényezőtől függ. Minél kisebb a víz-cement (víz-kötőanyag) tényező, annál kisebb a kapillaris pórusok mennyisége a megszilárdult cementkőben, és annál nagyobb a beton környezetből bejutó anyagokkal szembeni ellenálló képessége (Schmidt, Fehling, 2008).

6. AZ UHPC ALKALMAZÁS NÉHÁNY SZÉP PÉLDÁJA

Az elő UHPC gyaloghíd 1997-ben épült Sherbrooke-ban, Canadában, 60 m-es fesztávolsággal. Több, mint 20 év után is kiváló állapotban van (4. ábra) (Aitcin, 2014; Walraven, Schumacher, 2005). A kéttámaszú, térváz tartószerkezet gerincét alkotó acél csövek UHPC betonnal lettek kibetonozva, és a szigetelés nélküli pályaszerkezet is UHPC betomból készült (4. ábra). Kis hidratációshőjű cementet választottak, kevesebb, mint 3% C₃A tartalommal, 350 kg/m³ adagolással. A betonhoz 25 mm hosszú és 0,5 mm átmérőjű acélszálakat használtak. A betonhoz hagyományos vasalást nem alkalmaztak, viszont az 5 m hosszúságú térbeli elemek össze lettek feszítve.

A MUCEM (Museum of European and Mediterranean Civilisations Marseille-ban, MUCEM) megközelítésére épült híd a Marseille-i várból érdekes példa a UHPFRC beton felhasználására mind erőtanilag, mind esztétikailag (Toutlemonde, Resplendino, 2013; Mezzacane, Ricciotti, Teply, Tollini, Corvez, 2013) (5. ábra). Két gyaloghíd épült, amelyek fesztávolsága 115 m és 69 m.

7. MÉRETEZÉSI ELŐÍRÁSOK

Az UHPC szerkezetek tervezésére vonatkozóan fellelhetők már ajánlások. A franciaországi AFGC (Association of French Civil Engineers) elsőként adott ki komplett javaslatot UHPFRC tervezésére 2013-ban (AFGC, 2013).

A *fib* (International Federation for Structural Concrete) nemrég jelentette meg a *Bulletin on Constitutive modelling of high strength/high performance concrete* kötetet (*fib*, 2008). Az *fib* Model Code for Concrete Structures 2010 (*fib*, 2013) és a MC2020 kidolgozása során a következő fejezetek kerülnek fejlesztésre: *Fibre reinforced concrete*, *Ultra high performance fibre reinforced concrete* és *Performance-based specifications for concrete structures* (Dehn, Beuhausen, 2014).



4. ábra

Az első UHPC gyalog szerkezeti részletei Sherbrooke-ban (Balázs, 2015)

- a) Oldalnézet b) Az alátámasztás környéke a feszítőbetétek lehorgonyzásával



5. ábra

UHPFRC híd a vár és MUCEM összekapcsolására Marseille-ben

8. MEGÁLLAPÍTÁSOK

A nagy teljesítőképességű betonok tulajdonságai jelentősen eltérnek a szokványos betonok tulajdonságaitól, a következő tulajdonságok valamelyikében: nagy szilárdság, nagy kezdőszilárdság, nagy alakváltozóképeség nyomásra – nagy törési összenyomódás, nagy alakváltozóképeség húzásra – nagy szakadó nyúlás, kiemelkedő tartósság – hosszú tényleges élettartam jelentős felújítás nélkül (azaz hosszú használati élettartam), környezeti hatásokkal szembeni fokozott ellenállóképesség (fokozott fagyállóság, fokozott vízzáróság, fokozott kopásállóság, agresszív anyagokkal szembeni ellenállóság, kis víz- és gáz-permeabilitás), jó bedolgozhatóság, könnyű alkalmazhatóság, kiemelkedő tűzállóság, kiemelkedő földrengésállóság, korlátozott repedési hajlam, kis zsugorodás, kis kúszás, kis CO₂ lábnyom, alacsony ár.

A nagy teljesítőképességű betonok összetételét jelentősen meghatározzák a szemeloszlás és a tömörség (packing density), a cement típus és mennyiség, valamint a szállítási és mennyiség. Tervezési előírások vonalán is már van előrelépés (AFGC, 2013; Resplendino, 2014; JSCE, 2008, Uchida, Kunieda, 2014).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A cikk szerzője köszönetet mond az NVKP_16-1-2016-0019 “Fokozott ellenállóképességű (kémiai korrózióknak ellenálló, tűzálló és fagyálló) beton termékek anyagtudományi, kísérleti fejlesztése” című pályázaton keresztül kapott kutatási támogatásért.

9. HIVATKOZÁSOK

- AFGC (2013): *Ultra High Performance Fibre-reinforced Concrete*, Recommendations – Revised Edition, Association Francaise de Génie Civil, 358 p.
- Aitcin, P.-C. (2014): *The first UHSC structure, 15 years later*, Proceedings of Concrete and Concrete Structures, Vol. of Keynote Speakers, All Russian Conf. Moscow 12-16 May 2014, pp. 15-22.
- Balázs, G. L. (2015): “Material and Structural Properties for Creating High Performance Concrete”, *Key Engineering Materials Vols. 629-630 (2015)* pp 21-27 Online available since 2014/Oct/01 at www.scietific.net Trans Tech Publications, Switzerland, Doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.629-630.21
- Dehn, F.; Beushausen, H. (Eds.) (2011): *Performance-based Specifications for Concrete*, Leipzig, Proceedings, ISBN: 978-3-9814523-0-3, 350 p.
- Fennis, S.A.A.M (2011): *Design of Ecological Concrete by Particel Packing Optimization*, PhD Thesis, Delft University of Technology
- fib* (2008): *Constitutive modelling of high strength/high performance concrete*, International Federation for Structural Concrete (*fib*), Lausanne, Switzerland, *fib* Bulletin 42
- fib* (2013): *fib Model Code for Concrete Structures 2010 (MC2010)*, International Federation for Structural Concrete (*fib*), Lausanne, Switzerland, published by Wiley-Ernst&Sohn
- JSCE Concrete Library International (2008): *Recommendations for Design and Construction of High-performance Fiber-reinforced Cement Composite with Multiple Fine Cracks (HPFRCC)*, Japan Society of Civil Engineers
- Mezzacane, P, Ricciotti, R., Teply, F., Tollini, E., Corvez, D. (2013): *MUCEM: The builders’s perspective*, Proc of UHPFRC 2013 Int. Symp. on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete, PRO 87, Proceedings of RILEM-*fib*-AFGC, Marseille (2013), ISBN: 978-2-35158-130-8, pp. 3-16.
- Orban, Z., Balázs, G. L.: *Rehabilitation of flexural members with high performance concrete*, Chapter of Book to 60th birthday of Rolf Eligehausen, *ibidem Verlag* 2002, pp. 469-480.
- Resplendino, J. (2014): *French recommendations and feedback of experience on ultra high performance fiber-reinforced concrete (UHPFRC)*, Proc. of 1st ACI-*fib* FRC Workshop, July 24-25, 2014 Montreal, pp. 44-57.
- Romualdi, J.P., Mandel, J.A. (1964): Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement, *ACI Journal* 1964/6, pp. 657-671.
- Schmidt, M., Fehling, E. (2008): Influence of the granulometry and the water content on the strength and density of cement stone, Kassel University, *Structura Materials and Engineering Series*, Nr. 12, Thomas Teichmann Press (in German)
- Toutlemonde, F., Resplendino, J. (Eds.) (2013): *UHPFRC 2013 Int. Symp. on Ultra-High Performance Fibre-Reinforced Concrete*, PRO 87, Proceedings of RILEM-*fib*-AFGC, Marseille, ISBN: 978-2-35158-130-8, 810p.
- Uchida, Y., Kunieda, M. Rokugo, K. (2014): *FRCC – Design and application in Japan*, Proc. of 1st ACI-*fib* FRC Workshop, July 24-25, 2014 Montreal, pp. 58-68.
- Walraven, J., Schumacher, P.: *Applications of UHPC*, *Tiefbau* 2005/4 pp. 230-234. (in German)