

# Betonszerkezetek szépsége és alkotó anyagainak célszerűsége

## Beauty of concrete structures and usefulness of concrete materials

*Prof. Dr. habil BALÁZS L. György*

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest  
Építőmérnöki Kar, Építőanyagok és Magasépítés Tanszék,  
1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
[balazs.gyorgy@emk.bme.hu](mailto:balazs.gyorgy@emk.bme.hu)

### Abstract

*There is a considerable development of concrete as a structural material, in view of the codified or non-codified requirements. This development was considerable indicating scientific and practical values. Most important proceedings were: the appearance of prestressing (Feysinet in 1928), to recognize overall importance of water-binder ratio and that of the packing density, favourable admixtures, appearance of fibres which may positively influence the failure mode of concrete and appearance of FRP, non-metallic reinforcement in order to improve durability. For today many types of concretes as well as reinforcements are available to best fit the requirements for a specific application. Examples are discussed for the early application of concrete and for today.*

**Keywords:** concrete development, C, HPC, LC, FRC, UHPFRC, SIFCON, structure aesthetics

### Kivonat

*A portlandcement felfedezése óta folyamatosan fejlődik a beton- anyag és technológia, keresve mindig a lehetőségét annak, hogy az előírásokat és a még nem kodifikált elvárásokat egyre jobban ki tudjuk elégíteni. Ez a fejlődés tudományos és gyakorlati szempontból is jelentős lépéseket tartalmazott. Jelentősebb fejlődést hozott a feszítés megjelenése (ezzel a nagy betonszilárdság és acélszilárdság fontosságának felismerése), a víz-kötőanyag tényező és az adalék váz tömörségének meghatározó szerepének felismerése (packing density), a kedvező tulajdonságú adalék-szerek megjelenése, a szálak megjelenése a tönkremeneteli folyamat befolyásolására és a nem-acél anyagú betétek megjelenése a betonelem tartósságnak fokozására. Napjainkban széles választéka áll rendelkezésre a beton és a betét típusokból az elvárt tulajdonságok és technológia kielégítésre. Bemutatásra kerülnek szerkezeti beton alkalmazások beton és a vasbetonépítés korai és jelenlegi szakaszaiból.*

**Kulcsszavak:** betonfejlesztés, C, HPC, LC, FRC, UHPFRC, SIFCON, szerkezetek esztétikája

## 1. BEVEZETÉS

Jelen cikk célja, hogy áttekintést adjon a beton és a vasbeton anyagainak változatosságáról. A címben szereplő *szépség* három féle értelemben is kibontakozhat: (1) egyrészt magában az összetevők változatosságában és gazdagságában, (2) más részt a tulajdonságok optimalizálásának tudományos értékében, (3) harmadrészt az elkészült szerkezet esztétikai megjelenésében.

Bevezetőként természetben fellelhető példát bemutatok betonra. A természet maga is építkezik. Az 1. ábra természeti úton létre jött betont mutat, olyan óceán parti régióból, ahol a kémiai és fizikai lehetővé tették az adalék-szemcsék közti tapadóképesség kialakulását. Ezen a dél-afrikai partszakaszon emberi tartózkodásra utaló jeleket találtak i.e. 2 500-ból.

Az 1. ábrán bemutatott természetes betonfelületen már számos betonra jellemző tulajdonság felismerhető: a térbeli elrendezésű kavicsok térközét megszilárdult kitöltő anyag tölti ki, és ez a kitöltő anyag tapadóképességgel is rendelkezik a kavicsok összetartására.

A portlandcement megjelenése után (Joseph Aspdin szabadalmaztatta 1824-ben) hamarosan felismerték cement kötésű beton folytonos térelhatároló képességét és vízzáróságát. Elkezdtek egyszerű vasalással is ellátni, amely kezdetben empirikusan került elhelyezésre a betonban, majd tudatosan. Korai portlandcement kötésű betonra mutat például J. L. Lambot mai napig is létező csónakja 1849-ből.

A beton, majd a portlandcement megjelenése után vasbeton, ill. a feszített vasbeton nagyon komoly fejlődésen ment keresztül, ami még napjainkban is folyamatosan jelentkezik.



1. ábra. Természetes úton képződött beton: konglomerátum (South Africa, Robberg peninsula, Tsitsi-kamma region)



2. ábra. J. L. Lambot csónakja (1849) <http://www.new-territories.com>

Anyakutatók, anyaggyártók, betontechnológusok, szerkezettervezők, építőmérnökök és építészmérnökök folyamatosan keresik célszerű beton összetételek kifejlesztését és alkalmazását és a célszerű az anyagtulajdonságok és a szerkezeti tulajdonságok szempontjából. Ennek mindig célja megfelelő fizikai, mechanikai, kémiai tulajdonságokat teljesítése előírások és egyéb igények kielégíthetőek teljesítésére.

Milyen előírásokra és igényekre gondolunk egyáltalán. Ezek egy része rögzítve van szabványelőírások formájában, másik része a megrendelők elvárásai:

- teherbírasi követelmények és használati határállapotbeli követelmények,
- tartósság, fenntarthatóság, robusztusság, tűzállóság, földrengés állóság
- esztétika, könnyű megvalósíthatóság, újra hasznosíthatóság, ill. újra felhasználhatóság...

Utóbbiakra nem létezik még előírás, de egyre erősebben jelentkező elvárás igen. Az ismertetett követelmények szabványelőírások formájában, ill. megbízói elvárások széleskörű szempont rendszer eredményeit jelentik, amikor nagyon sokféle módon lehet keresni a célszerű megoldást.

## 2. A BETONOK FEJLŐDÉSE

A 3. ábra a betonok és a betétek sokszínűségét mutatja beton, vasbeton és feszített vasbeton készítéséhez (Corres, Todisco, Fivet, 2019; Fivet, D'Acunto, Fernandez Ruiz, M., Ohlbrock, 2021).

A 3. ábra 1. oszlopa tartalmazza a betonok alkotóit és betonok megnevezéseit.

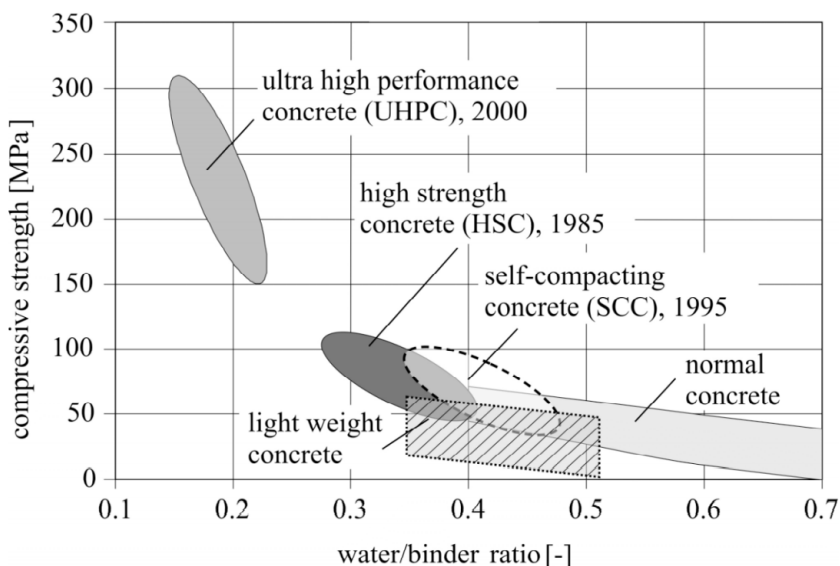
A 3. ábra 3. oszlopa tartalmazza a különféle acél és nem acél anyagú betéteket folyamatos szálak formájában, ill. rövidre vágva.

A 3. ábra 2. oszlopa tartalmazza a beton-betét kompozitot vasbeton vagy feszített vasbetonként, szálerősítésűbetonként különféle megnevezésekkel

BETON	KOPMPOZIT	BETÉT
Adalékanyag + cement + víz Adalékszerek + fillers		Folyamatos szálak és hálók
Adalékanyag (szokványos testsűrűségű) homokos kavics zúzott kő	VASBETON FESZÍTETT VASBETON	vasbetét (acél) feszítő huzal (acél) feszítő pászma (acél)
Könnyű adalékanyag Nehéz adalékanyag	▶ ◀	Nem-acél anyagú betétek: FRP CFRP, AFRP BFRP
C HC HPC UHPC LC LWC LWAC	UHPFRC	Rövid szálak: Szálak: S, P, C, A, B
Green concrete	FRC ECC SIFCON	

3. ábra. A betonok és a betétek fejlődését hivatott mutatni összefoglalóan

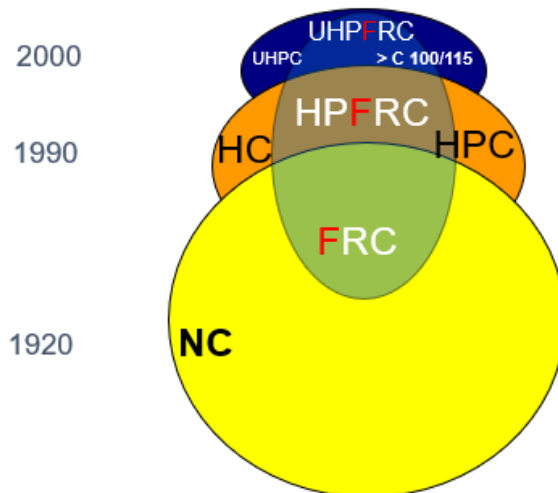
Az utóbbi évtizedekben a beton, mint szerkezeti anyag egyre szélesebb körű elfogadottságát tapasztalhattuk. Ez azért volt lehetséges, mert a beton ismeret és a betontechnológia hihetetlen fejlődésen ment át (4. ábra). Az adalékszerek és a betontervezés elveinek fejlődése (packing density) új típusú betonok, ill. megnövekedett beton tulajdonságok kifejlődését tette lehetővé.



4. ábra. A beton nyomószilárdság fejlődése a víz-kötőanyag (w/b) függvényében különböző típusú betonok esetében (Müller, 2007; fib, 2009)

A 4. ábra a beton nyomószilárdságát mutatja a víz-kötőanyag tartalom függvényében. Meg lettek nevezve egyúttal évszámok és betontípusok is, amik segítik az ábra értelmezését és üzenetének megértését. A fejlődés ugyanis értelemszerűen a szokványos szilárdságú betonok (normal strength concrete) irányából jött az adalékszerek fejlesztése révén.

Az adalékszerek fejlesztése lehetővé tette ugyanis kisebb víz- kötőanyag tényező alkalmazása esetén is (water reducing admixtures és high water reducing admixtures).



5. ábra. A beton A betonok és szálerősítésű betonok fejlődés (sematikus ábra)

További előnyök keletkeztek a beton energiaelnyelő képessége és repedési állapota terén különféle szálak alkalmazása következtében. A 5. ábra hivatott mutatni vázlatosan a különböző betonok kialakulását elsősorban a szilárdság és az energiaelnyelő képesség szempontjából.

Látható egy irány NC=Normal Strength Concrete, mellett, HC=High Strength Concrete, HPC= High Performance Concrete és UHPC=Ultra High Performance Concrete, ami a szilárdság növekedésére utal (szálak nélkül). Egy másik irány a betonhoz kevert szálakkal kapcsolatos. A 60-as évektől kezdve ugyanis egyre nagyobb mennyiségben kerültek felhasználásra a betonban az acél és a műanyag szálak, amik a beton teljesítőképességét jelentősen javították, és alakultak ki az elevezések: FRC=Fibre Reinforced Concrete, HPFRC= UHFRC=High Performance Fibre Reinforced Concrete and UHFRC=Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete. A High Performance nem jelenti magában a szálak használatát, csak abban az esetben, ha fel van tüntetve Fibre Reinforced-ként (a szál anyaga lehet acél vagy műanyag vagy más).

A 6. ábra egy sikeres kísérleti könnyűbeton alkalmazást mutat hídgerendában. A feszítőbetét kellőképpen lehorgonyzódott tapadás révén.



6. ábra. Kísérleti könnyűbeton gerendában a feszítőbetét tapadása

### 3. A BETÉTEK FEJLŐDÉSE

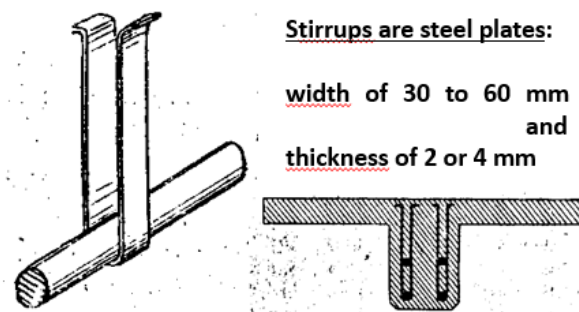
A 7. ábra 7-eres feszítőpázmákat mutat, amelyek balról jobbra haladva 1. acél feszítőpászma, 2. aramid szálas feszítőpászma 3-5. szén szálas feszítőpászma. Freyssinet meglepődne, ha a feszítőbetéteknek ezen változathatóságát látná. A tervezőknek és a gyártóknak is figyelniük kell a pázmák viselkedésében való különbségekre mind:

- rugalmassági modulus, mind
- szakadónyúlás, mind
- szakító szilárdság, mind
- felületi kialakítás szempontjából.



7. ábra. Különböző anyagú 7-eres feszítő pázmák, balról jobbra: acél feszítőpászma, aramid szálas feszítőpászma és szén szálas feszítőpászma

Érdekességként mutatom Ritter (1899) XIX. század végé megjelent cikkéből, miszerint az akkori vasalási rendszerekbe a nyírási kengyel laposacél volt nyitott formában meghajlítva (8. ábra).



8. ábra. Kengyel kialakítás nyitott formában, Ritter (1899) (Mörsch, 1908)



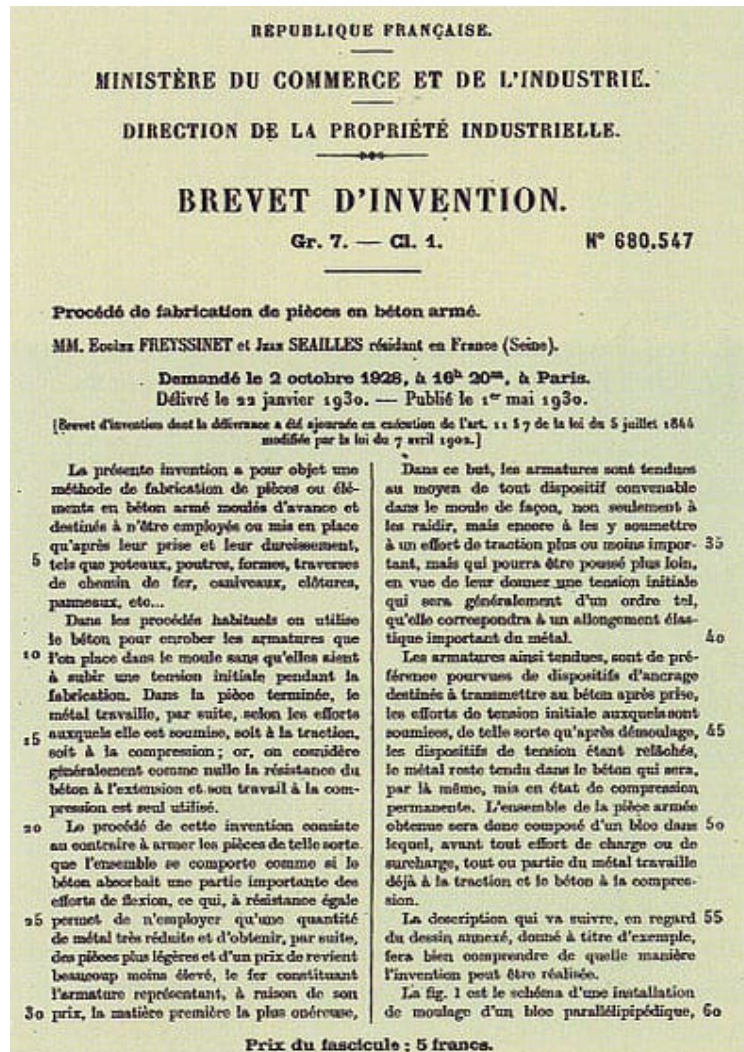
9. ábra. Hídgerendához készült, szén szálas CFCM kengyel

A 9. ábra már hídgerendához készült, szén szálas CFCM kengyel a GINOP\_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00095 kutatási projekten belül. Teljesen újszerű a technológia, a szén szálas cementkötésű mátrixba vannak ágyazva (nem polimerbe) (Balázs, Csurgyai, Súlyom, 2022).

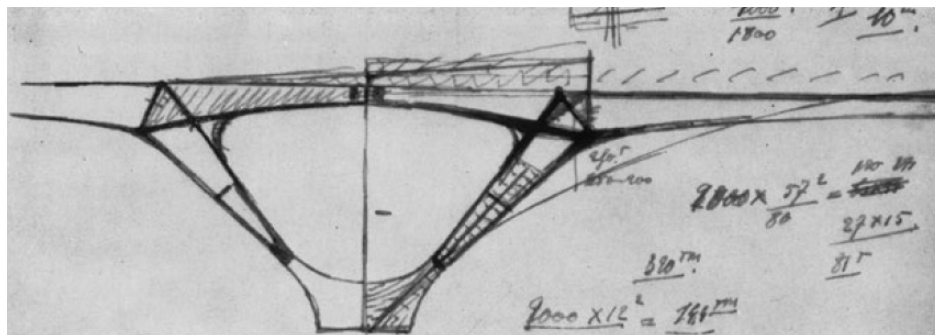
## 4. A SZERKEZETI VISELKEDÉS

A 2028. évben **100 éves lesz Freyssinet feszítési szabadalma** (10.a ábra), amivel megindult a nagy szilárdságú beton és a nagy szilárdságú feszítőacél használata. A szilárdság növelésre elsősorban a beton esetében a zsugorodás és lassú alakváltozás csökkentése, ill. a feszítőacélok esetében a relaxációs veszteségek csökkentése volt. **Freyssinet** a szabadalma nagy hatással volt a feszített vasbeton és általában a vasbeton fejlődésére.

Freyssinet szabadkézi tervvázlatát mutatja a 10.b ábra a Saint Michel Bridge-el kapcsolatban (Toulouse) (Fernández-Ordóñez, D. 2018), Fernández-Ordóñez, J. A. (1978).



a.



b.

10. ábra. Freyssinet 1928-as szabadalma (a) és szabadkézi tervvázlata: Saint Michel Bridge in Toulouse (b) (Fernández-Ordóñez, 2018).

A 11. ábra fenntarthatósági követelményeket is kielégítő díjnyertes hidat mutatja, Rotterdamban. A híd UHPFRC betonból készült.



11. ábra. *Fenntarthatósági követelményeket is kielégítő díjnyertes UHPFRC Bridge, Rotterdam (2014 fib Awards for outstanding structures - Special mentions).*

A 12. ábrán látható GINOP\_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00095 célja volt nagy teljesítőképességű, feszített hídgerenda főtartók fejlesztése max. 800 kN önsúllyal. Ezt a Ferrobeton Zrt. vezetésével, és az Úvaterv Zrt. továbbá az Építőanyagok és Magasépítés, valamint a Hidak és Szerkezetek Tanszékek közreműködésével valósítottuk meg. A max. 800 kN önsúly 50 m-es fesztáv tartományban szerkezeti könnyűbeton alkalmazásával volt megoldható (Sólyom, Balázs, Nehme, 2023, Balázs, Sólyom, Nehme, 2024).



12. ábra. *GINOP\_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00095 kutatásban kifejlesztett 2 m magasságú, max. 800 kN önsúlyú előrefeszített hídgerenda*

## 5. A SZERKEZETI VISELKEDÉS

Műszaki fejlődés értelmezésekor mindig azt kell néznünk, hogy honnan indultunk és hová tudunk eljutni, továbbá, hogy még hova juthatunk el.

A portlandcement felfedezése óta folyamatosan fejlődik a beton és vasbeton anyagfajta felfogása. Jelen cikk célja volt, annak áttekintés, hogy a fejlődés milyen fő lépéseket tartalmazott. Milyen tulajdonságú betonok lettek kifejlesztésre, ezek milyen szerkezeti előnyökkel jártak vasbeton, ill. feszített vasbeton vonatkozásában.

A vasbetonszerkezetek vonatkozásában teljesíteni kell a teherbírési és a használati határállapot követelményeit, valamint a tartósság, a fenntarthatóság, a robusztusság, a tűzállóság, a földrengés állóság követelményeit, továbbá az esztétikai, a könnyű megvalósíthatóság, az újra hasznosíthatóság és az újra felhasználhatóság követelményeit.

Áttekintettük röviden a kialakult beton típusokat (C, LC, HC, HPC, LC, LWAC) és betét típusokat (acélbetét, feszítő huzal, feszítő pászma, szálak és nem-acél anyagú betétek. Keverékként FRC, HPFRC, UHPFRC.

Bemutatásra kerülnek szerkezeti beton alkalmazások beton és a vasbetonépítés korai és jelenlegi szakaszaiból.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szerző köszönetüket fejezik ki a GINOP PLUSZ pályázati rendszerben kapott kutatás-fejlesztési és innovációs támogatásért. A támogatott pályázat száma és címe: GINOP\_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00095 „Nagy-teljesítményű feszített vasbeton főtartók fejlesztése 30-45 méter hosszban 400 - 800 kN önsúly tartományban”

## HIVATKOZÁSOK

- [1] Balázs, G.L., Csurgai, F. Sólyom, S. (2022), “Bond of CFCM”, Proceedings (Eds. Hoffmann, J, and Plizzari, G.), ”Bond Anchorage Detailing”, 5<sup>th</sup> In Conf. Bond in Concrete 2022, Stuttgart, 25-27 July 2022, IWB Stuttgart University, pp. 945-954.
- [2] Balázs, G.L., Sólyom, S. Nehme, S. (2024), “ Tartóvégi keresztirányú húzófeszültségek ellenőrzése”, GINOP\_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00095 pályázat, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Szakvélemény 2024.08.31.
- [3] Corres, H., Todisco, L., Fivet, C. (Eds.) (2019), „Conceptual Design of Structures 2019“, Madrid, September 26-28, 2019, Proceedings
- [4] Fivet, C, D’Acunto, P., Fernandez Ruiz, M., Ohlbrock, P. O. (Eds.), „Conceptual Design of Structures 2021“, Attisholz Areal, Switzerland, September 16-18, 2021, Proceedings
- [5] Fernández-Ordóñez, J. A. (1978), „Eugène Freyssinet”, Barcelona: 2C Ediciones
- [6] Fernández-Ordóñez, D. (2018), „Eugène Freyssinet: “I was born a builder”...”, 28. Dresdner Brückenbausymposium Planung, Bauausführung, Instandsetzung und Ertüchtigung von Brücken, pp. 101-128.
- [7] Müller, H. S. (2007), Zum Baustoff der Zukunft. Gebaute Visionen – 100 Jahre Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, *Deutscher Ausschuss für Stahlbeton im DIN* (Ed.), Beuth Verlag, Berlin, Germany, pp. 195-221.
- [8] Mörsch, E. (1908), *Reinforced concrete – Theory and application (Der Eisenbetonbau – Seine Theorie und Anwendung)*, Verlag von Konrad Wittwer, Stuttgart, pp. 146-215.
- [9] Ritter, W. (1899), *Construction method of Hennebique (Die Bauweise Hennebique)*, *Schweizerische Bauzeitung*, February 1899, pp. 41-61.
- [10] Sólyom, S., Balázs, G.L., Nehme, S. (2023), “Szerkezeti könnyűbeton és normálbeton laboratóriumi anyagvizsgálatai”, GINOP\_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00095 pályázat, BME Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Szakvélemény 2023.05.26.