

# ***ÖNTÖMÖRÖDŐ BETONOK TULAJDONSÁGAI***



***Készítette:***

Dr. Salem Georges Nehme  
egyetemi docens, témavezető

**Budapest, 2015. április 30.**

*A kb. 30 évvel ezelőtti „betonválság” napjaiban Japánban a legnagyobb kutatási aktivitás a betonkárosodások tanulmányozására irányult. Én azonban elhatároztam magam, hogy más utat, a beton tartósságának javítását kívánom feltárni...*

*...Alapvetően úgy tudunk tartós betonszerkezeteket készíteni, hogy jó minőségű anyagokat használunk, és azokat szakszerűen dolgozzuk fel. Egy rossz feldolgozás kompenzálható az alkalmazott anyagok javításával.*

*Ez az ötlet – erősséget használni a gyengeség megszüntetésére – vezetett az öntömörödő beton kifejlesztéséhez.”*

**H. Okamura 1997.**

*„Biztos vagyok benne, hogy a beton az acéllal együtt, a 21. század építőanyaga lesz.”*

**Santiago Calatrava**

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. ELŐZMÉNYEK .....</b>	<b>4</b>
<b>2. ÖNTÖMÖRÖDŐ BETONOK FEJLŐDÉSE.....</b>	<b>5</b>
<b>3. FELHASZNÁLÁSI TERÜLET .....</b>	<b>9</b>
3.1. Nagyméretű építmények .....	10
3.2. Betontermékek.....	14
3.3. Alkalmazása kis méretű elemeknél, sűrű vasalásnál és szűk helyeken .....	15
3.4. A szerkezettervezés és az építési módszerek megújításának szüksége .....	17
<b>4. A FRISSBETON ÖNTÖMÖRÖDŐ KÉPESSÉGE .....</b>	<b>20</b>
4.1. Az öntömörödést létrehozó mechanizmus.....	20
4.2. Az öntömörödő beton vizsgáló eszközei és a vizsgálatok célja .....	23
4.3. Az öntömörödő beton jelenlegi helyzete .....	30
4.4. Betonösszetétel tervezési módszere .....	30
4.5. Helyszíni megfeleléségi vizsgálat.....	33
4.6. Újfajta, öntömörödő betonhoz alkalmazható folyósítószer .....	34
4.7. Szétesztályozódást gátló adalékszerek.....	35
<b>5. AZ ÖNTÖMÖRÖDŐ BETONOK ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI .....</b>	<b>37</b>
5.1. Az öntömörödő beton előnyei .....	37
5.2. Az öntömörödő beton hátrányai .....	37
<b>6. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>38</b>
<b>7. IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>40</b>

# 1. ELŐZMÉNYEK

Jelen kutatás-fejlesztési munkára a 2003.XC. Törvény 12.§.C. pontja alapján kerül sor „új tudásanyag megszerzésére irányuló kutatás, amelynek célja, hogy az így megszerzett tudásanyag felhasználható legyen új termékek, eljárások vagy szolgáltatások kifejlesztéséhez, ill. jelentős javulást eredményezzen a már meglévő termékekben, eljárásokban vagy szolgáltatásokban”.

## **A kutatás témája: öntömörödő betonok**

Jelen kutatómunka célja, hogy tudományos körültekintéssel megismerjük az öntömörödő betonok fő tulajdonságait és lehetséges felhasználásait.

A kutatási jelentés a következőket tartalmazza:

- Öntömörödő betonok fejlődése
- Öntömörödő betonok felhasználási területei
- Öntömörödő betonok előnyei és hátrányai
- Öntömörödő betonok vizsgálata.

## 2. ÖNTÖMÖRÖDŐ BETONOK FEJLŐDÉSE

Tartós betonszerkezetek kivitelezéséhez szükség van a beton szakszerű, gondos tömörítésére, melyhez elengedhetetlen a szakképzett munkaerő. A megfelelő szakmunkások létszámának fokozatos csökkenése, azonban a japán iparban a kivitelezés minőségének romlását okozta. Az egyik megoldás, kiküszöbölni a munkaerő minőségének és a szerkezet tartósságának összefüggését, öntömörödő beton alkalmazása, mely saját súlyánál fogva tömörödik, és vibrálás nélkül kitölti a zsaluzat egészét. Az ilyen tulajdonságú beton iránti szükségletet 1986-ban Okamura vetette fel. Az öntömörödő beton kifejlesztésére irányuló kutatások, beleértve a beton bedolgozhatóságát érintő alapvető vizsgálatokat, a Tokiói Egyetemen Okamura, Ozawa és Maekawa végezték. (Ozawa, Maekawa, Kunishima, Okamura 1989; Okamura, Maekawa, Ozawa 1993; Maekawa, Ozawa 1999).

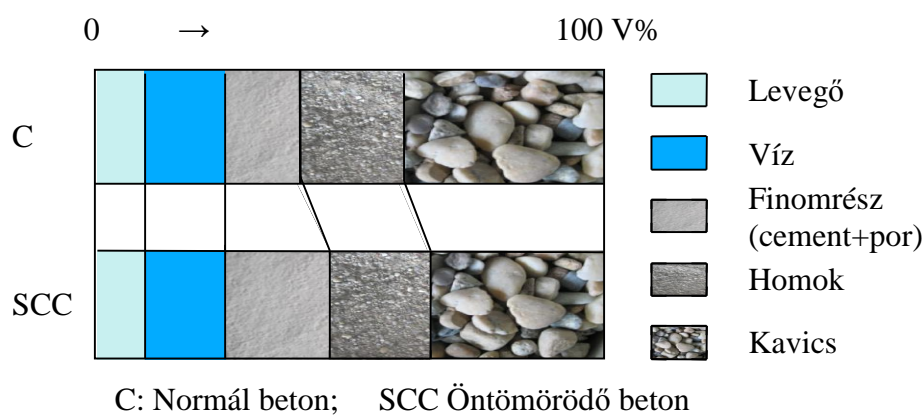
Az öntömörödő beton prototípusa 1988-ban készült kizárólag piaci forgalomban lévő anyagok felhasználásával (Okamura, Ouchi, 2003). A prototípus megfelelt száradási és képlékeny zsugorodás, hidratációhő, száraz testsűrűség és egyéb tulajdonságok szempontjából is. Ez a beton a „High Performance Concrete”, azaz a nagy teljesítőképességű beton elnevezést kapta. A beton három fázisa a következő kritériumoknak felel meg:

- (1) Frissbeton: öntömörödő
- (2) Korai stádium (bedolgozás után egy hetes korig): kezdeti hibáktól mentes (pl. munkahézag)
- (3) Szilárdulás után: ellenáll a külső hatásoknak (tartóssági szempontból).

Ezzel majdnem egy időben, Aitcin az alacsony víz-cement tényezővel készült nagy tartósságú betont szintén „nagy teljesítőképességű beton”-ként definiálta. (Gagne et al. 1989). Azóta ez a kifejezés világszerte a nagy tartósságú betonok elnevezéseként szolgál, így az öntömörödő beton feltalálói saját fejlesztésüket „Self-Compacting High Performance Concrete”, azaz „öntömörödő nagy teljesítőképességű betonra” változtatták.

Tehát az öntömörödő betonon azt a betont értjük, mely tömörítési eljárás nélkül is kitölti a rendelkezésre álló teret, még akkor is, ha ezt sűrű vasalás vagy bonyolult geometria akadályozza. Angol nyelvű rövidítése (SCC, self compacting concrete).

Az öntömörödő beton rendkívül viszkózus viselkedésének köszönhetően – zsaluzatba töltésekor szükségtelen a beton bármilyen tömörítése, minden kiegészítő tömörítési energia nélkül, csupán a nehézségi erő hatására üregmentesen kitölti a legösszetettebb zsaluzatot is, önállóan tömörödik, szinte tökéletesen kiegyenlítődik szétosztályozódás és kivézés nélkül. Az öntömörödő beton összetétele a hagyományos betonétól elsősorban nagyobb finomrész tartalmával ( $d \leq 0,125 \text{ mm}$ ), kisebb kavics/homok arányával tér el (2.1. ábra) (Nehme, 2004).



**2.1. ábra:** A normál beton és az öntömörödő beton összetevői [V %], (Okamura - Ouchi, 2003)

A Német Cementgyárak Szövetsége (NCSz) és a Német Cementipari Kutató Intézet (NCKI) tevékenységi jelentésében (1996-99) összehasonlítást végeztek a normál és az öntömörödő betonokra, melyek összetételét a 2.1. és 2.2. táblázatokban ismertettünk.

2.1. táblázat: Példák az öntömörödő beton és a vibrált normál beton jellemző összetételére (NCSz és NCKI, 1996-99)

Anyagok	Vibrált normál beton,		Öntömörödő beton,	
	kg/m <sup>3</sup>	Adalékanyag halmaz V%	kg/m <sup>3</sup>	Adalékanya és kiegészítő-anyag halmaz V%
Cement	330		330	
Kiegészítő finom rész	-----		297	16
Homok 0/2 mm	545	30	749	42
Kavics 2/8 frakció	725	40	376	21
Kavics 8/16 frakció	545	30	376	21
Víz	182		175	
Szuper folyósító	-----		8,5	

2.2. táblázat: A 2.1. táblázat szerinti öntömörödő beton és vibrált normál beton néhány fizikai tulajdonságának összehasonlítása (NCSz és NCKI, 1996-99)

Betonjellemzők		Mértékegység	Vibrált normál beton	Öntömörödő beton
Nyomó-szilárdság	2 napos	N/mm <sup>2</sup>	17,8	22,3
	7 napos		28,5	31,6
	28 napos		39	39,5
Hajlító-húzószilárdság			4,6	4,4
Zsugorodás		‰	-0,371	-0,414
Tömegvesztés 100 fagyasztási ciklus után		m%	3,2	5,0
Utókezelés érzékenysége		---	normál	nagy

A 2.1. és 2.2. táblázat kísérleti eredményei szerint a vibrált normál beton egyes tulajdonságai jobbak voltak, az öntömörödő betonéhoz képest, de az öntömörödő beton kezdeti szilárdsága (2 és 7 napos) jobb volt, amely segít a gyorsabb munkavégzésben, de a kizsalzásban nem a zsugorodási érzékenysége miatt (a hirtelen hőmérséklet különbség növekedése és a gyors párolgás). Összességében az öntömörödő beton elsősorban a bedolgozási (tömörítés) energia elmaradása miatt lesz olcsóbb.

„Magyarországon az ÉTI szentendrei telepén épülő tartószerkezet-vizsgáló csarnok vasbeton födémét készítettük Liquidol adalékszerrel. A födém 24×24 m<sup>2</sup> alapterületű, 1 m

vastagságú, összesen kb. 600 m<sup>3</sup> térfogatú, sűrű vasalású vasbeton szerkezet, amelyben nem lehetett a betonhoz semmilyen tömörítő eszközzel hozzáférni, ugyanakkor az előírt szilárdság 400 kp/cm<sup>2</sup> volt. Az adalékanyag legnagyobb szemnagysága 10 mm, a kiinduló betonösszetétel 400 kg/m<sup>3</sup> 600-as portlandcement, 0,6 víz/cement tényező. Az eredeti – Liquidol nélküli – betonkeverék területe 40 cm. A Mélyépítő Vállalat északpesti Betongyárában kevert betont mixerkocsik szállították a szentendrei telepre, ahol közvetlenül a födém mellé épített ideiglenes állványról öntöttük be a keverődobba a Liquidolt. Mintegy 1 perces gyorsfordulatú keverés után a mixerkocsik az egyik Schwing-szivattyú tartályába ürítette a betont (a betonozáshoz 3 szivattyút telepítettünk), amelynek területe a Liquidol hatására ebben az időpontban ~ 65 cm-re növekedett. A szivattyúból a keverékeket három helyen juttattuk be a zsaluzatba, tömörítést nem alkalmaztunk. A betonozás 16 órán áttartott (reggel 6 órától este 22 óráig), tehát óránként közel 40 m<sup>3</sup> betont dolgoztunk be. Gondosan kellett a munkát megszervezni, mert kb. 6-7 percenként érkeztek a mixerkocsik a betonozás helyére (ezért is volt szükség három szivattyúra)” (Ujhelyi, 1974).

Napjaink betontechnológiája a korszerű betonadalékszereknek köszönhetően lehetővé teszi az egyre nagyobb teljesítőképességű és tartósságú beton szerkezetek megvalósítását.



### 3. FELHASZNÁLÁSI TERÜLET

Az öntömörödő beton alkalmazása az utóbbi évtizedben rohamos fejlődésnek indult Japánban és Európában (pl.: Svédországban, Németországban és Franciaországban). Az öntömörödő betont széles körben alkalmazzák mind a magas- (magas házak), a mind mélyépítés (hidak, alagutak) területén, helyszíni és előregyártott szerkezetek esetén egyaránt.

Az öntömörödő beton prototípusának kifejlesztése után a Tokiói Egyetemen, a világ számos laboratóriumában és kutató intézetben intenzív kutatás indult meg. Ennek eredményeképpen az öntömörödő beton számos gyakorlati alkalmazást nyert. Az első alkalmazásra 1990. júniusában került sor egy épületben. Öntömörödő betont használtak egy előfeszített betonból készült kábelhíd pilléreiben 1991-ben. 1992-ben könnyű öntömörödő betonból készült egy kábelhíd fő gerendatartója. Azóta az öntömörödő beton felhasználása fokozatosan növekszik. Jelenleg az öntömörödő beton használatának okai a következőkben foglalhatók össze:

- (1) Építési idő csökkenése
- (2) A bedolgozás biztosítása a szerkezetben, különösképpen szűk helyeken, ahol a vibrálás nehézkes
- (3) Vibrálás okozta zaj elkerülése – kiváltképp betonelem előregyártó üzemekben.

A Japánban felhasznált öntömörödő beton mennyisége a 30. ábrán látható. A Japán betontermelés 70%-a transzportbeton, ennek a mennyiségnek mindössze 0,1%-a öntömörödő beton. Az öntömörödő beton jelenlegi státusza inkább „speciális beton”, mint normálbeton.

Az öntömörödő beton egyéb felhasználási területei a következők:

- hidak (lehorgonyzás, ívek, gerendatartók, pillérek)
- átereszek
- épületek
- beton kitöltésű acélpillérek
- alagutak (falazat, süllyesztett alagút)
- duzzasztógátak (a szerkezet körüli beton)

- betonelemek (tömbök, csatornaelemek, falak, tartályok, lemezek, tübbingek)
- merevítő falak
- tartályok (oldalfal, lemez és fal csatlakozása)
- csövek.

### 3.1. Nagyméretű építmények

Az öntömörödő betont jelenleg is használják nagyméretű építményekben a kivitelezési idő csökkentésére.

Jellemző példa a világ legnagyobb, 1991 m fesztávú kábelhídjának, az 1998 áprilisában megnyitott Akashi-Kaikyo hídnak lehorgonyozása (3.1. kép) (Kashima 1999). A híd két horgonykamrájában öntömörödő beton került felhasználásra. Egy új építési módszert alkalmaztak, mely kihasználja az öntömörödő beton tulajdonságait. Az építési terület melletti keverőtelep egy 200 m hosszú csőbe pumpálta a betont a bedolgozási helyig, ahol a cső 3-5 m távolságú sorokká vált szét. A csövek mentén 5 m-enként szelepek voltak elhelyezve, amelyeken át a beton kitöltése történt. A szelepeket automatika szabályozta, így biztosítható volt az egyenletes betonszint. A beton ejtési magassága elérte a 3 m-t, és a maximális 40 mm-es szemmagyság mellett sem osztályozódott szét. Az elemzések kimutatták, hogy a lehorgonyzó tömb kivitelezési ideje 20%-kal csökkent öntömörödő beton alkalmazásának következtében, 2,5 évről 2 évre.



3.1. kép: Akashi-kaikyo híd lehorgonyzóhelye és egy éjszakai kép a hídról

Öntömörödő betont használtak az Osaka Gas Company tulajdonában lévő, nagyméretű LNG (folyékony földgáz) tartály falának építéséhez is (3.2. kép). Ezen konkrét esetben az öntömörödő beton felhasználása a következő előnyökkel járt:

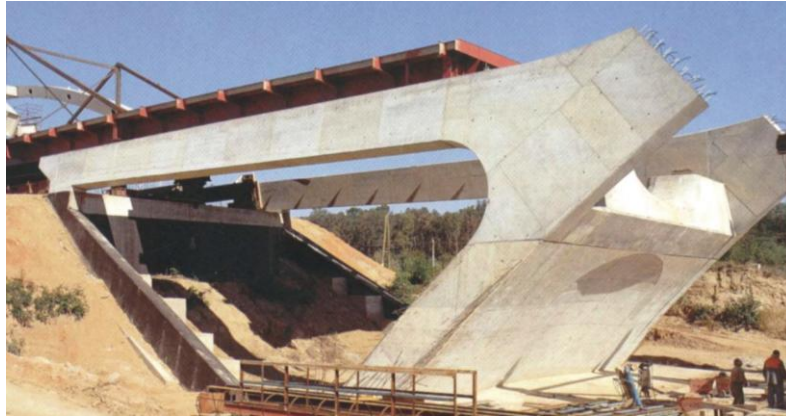
- (1) A betonozási szakaszok száma 14-ről 10-re csökkent, mivel az egyes szakaszok magassága megnőtt.
- (2) A bedolgozást végző munkások száma 150-ről 50-re csökkent.
- (3) Az építési idő 22-ről 18 hónapra csökkent.



3.2. kép: Szabadtéri, feszített betontartály, Osaka Gas, Japán

Ezen kívül, egy új helyszíni megfelelőségi vizsgálat lett kifejlesztve az öntömörödés vizsgálatára. A beton zsaluzatba öntését 1998 júniusában fejezték be.

Hazánkban a 84. számú főút Sárvárt elkerülő szakaszán a Rába felett átívelő 5,5 km hosszú és 2×1 sávós gróf Nádasdy Ferenc híd öntömörödő beton felhasználásával készült. A szerkezet befogott acélívekre felfüggesztett háromnyílású híd, amely egyedi kialakítású vasbeton alépitményekre támaszkodik. A fűrt vasbeton cölöp alapra került a felmenő szerkezet. Az egyedi kialakítású, változó keresztmetszetű tömör felmenő fal két vasbeton keretszerkezettel csatlakozik a hídfő fejgerendájához. A tömör fal öntömörödő betonból készült. (3.3. kép)



*3.3. kép: Sárvári Rába híd felmenő keretszerkezete*

Manapság az építészek egyre merészebb formákat és szerkezeteke használnak. A csavarodó íves falak, az áttört födémmezők, pillérek zsaluzását egyre bonyolultabb kialakítani és szakszerű módon bedolgozni, de ha a beton öntömörödik megkönnyítjük a bedolgozást, kevesebb lehetőséget teremtünk kivitelezési hibákra. Például a Lincoln városi múzeum szerkezetéhez öntömörödő betont használtak. (3.4. kép)



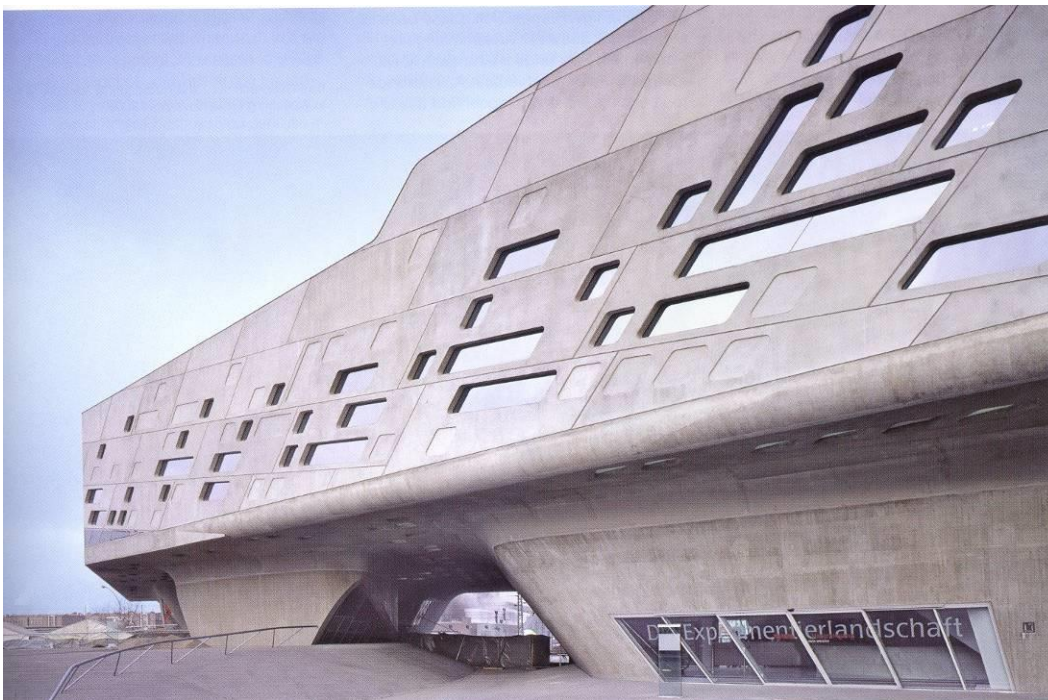
*3.4. kép: Lincoln városi múzeum*

A Pritzker-díjas építész, Zaha Hadid több tervezett épületéhez is öntömörödő betont alkalmaztak. Hadid ismert építész a virtuóz vonalvezetéséről, hullámzó tömegeiről, így nem véletlen, hogy alkalmazták az új betontechnológiát. Erre a legjobb példa a wolfsburgi Phaneo Múzeum. Sokat segít a felhasználás elterjesztésében, hogy sztárépítészek is alkalmazzák. Keskeny szerkezetek és bonyolult formák esetén a tervezők

bátrabban nyúlnak új technológiához, ha már látnak megépült és jól működő példákat. Felülete egyenletes, fészekmentes így látszóbetonnak is alkalmas. (3.5. és 3.6. kép)



3.5. kép: Wolfsburgi Phaneo múzeum egy részlete a) építés közben és b) átadás után  
[[www.zement.at](http://www.zement.at)]



3.6. kép: Wolfsburgi Phaneo múzeum (öntömörödő és látszóbeton)

### 3.2. Betontermékek

Az öntömörödő beton felhasználható homlokzati burkolóelemként is. Előregyártás során tökéletes felületet kapunk. A beton arra is alkalmas, hogy mintázatot, illetve áttörést tartalmazzon. Az öntömörödő beton egyik fő tulajdonsága, hogy igen vékony betonlemez is ki lehet belőle alakítani. A burkolat vastagsága 2-3 cm, vasalt állapotban 6-8 cm is lehet. A betonlemez vagy homlokzati kéregpanel anyagában színezhető. Élénk színek felületi festéssel érhetők el. A teherhordó fal külső síkjára 10-14 cm hőszigetelést néhány cm-es légrés beiktatásával szerelik fel a beton burkolólemezt, dekorpanelt. Forgalmazó cég az Agromex Kft. (3.7. kép)



3.7. kép: homlokzati elem rögzítése és a felszerelt burkolat

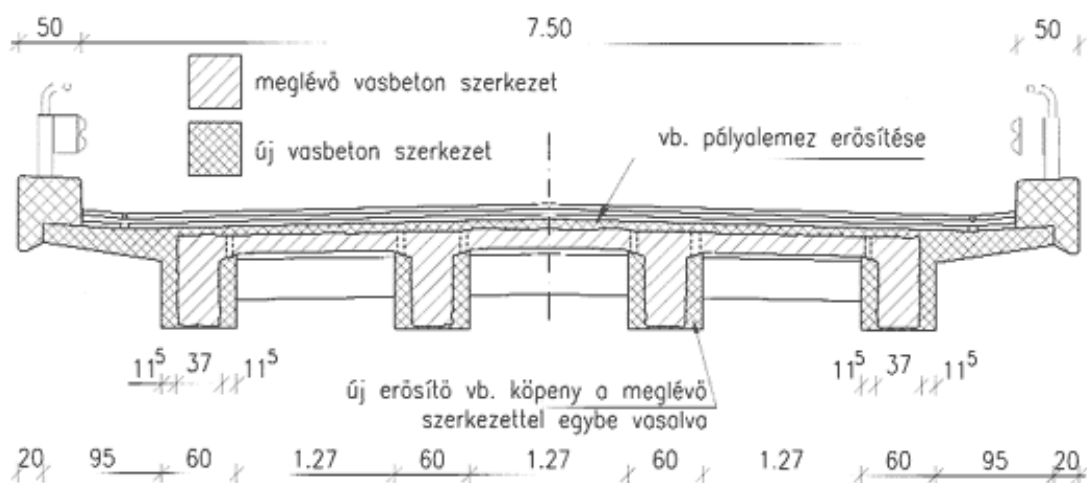
Az öntömörödő betont az előregyártásban a vibrálási zaj megszüntetésére használják (3.8. kép). Ezáltal javulnak a munkavégzés feltételei, és lehetővé válik a gyártás lakott területeken is. Ezen kívül az öntömörödő beton használata meghosszabbítja a szerkezet élettartamát (Uno, 1999). Az öntömörödő beton felhasználása az előregyártásban fokozatosan növekszik.



3.8. kép: Előregyártott vasbeton gerendák öntömörödő betonból

### 3.3. Alkalmazása kis méretű elemeknél, sűrű vasalásnál és szűk helyeken

Gyakran előfordul, hogy szűk helyen kell betonozni. A 2102 számú út 13+195 kilométer szelvényében lévő Galga-híd megerősítése és szélesítése során is ezzel a problémával kellett megküzdeni. A híd keresztmetszete látható 3.9. képen ábrán. A 13 m nyílású bordás, monolit vasbeton híd megerősítését és kiszélesítését a beton keresztmetszetének megnövelésével és megerősítő acélbetétek elhelyezésével érték el. A betonozást a lemezen keresztül fűrt lyukakon át végezték az alulról felépített zsaluzatba (3.9. kép).



3.9. kép: Galga-híd keresztmetszete [[www.archiwed.hu](http://www.archiwed.hu)]

A szegedi Szent István téri víztorony felújítása során is alkalmazták az öntömörödő technológiát. A beton karbonátosodása miatt megindult a betonacél korróziója, keresztmetszete lecsökkent, a betonrészek helyenként leváltak. A károsodás mértéke függött a szerkezeti elem helyétől, a legsúlyosabb állapotban a kültéri részek és a víztároló felületei voltak. A belső, párának ki nem tett részek megjelenése kedvezőbb volt. A felülten kicsapódó pára, az átázás és átnedvesedés a gyengébb minőségű betonoknál fagykárokat okozott. A legrosszabb állapotban a zászlótartó szerkezete volt. A betonfedés szinte teljes felületén levált, ezért itt már az egész szerkezetet ki kellett cserélni. A zászlótartó a helyszíni előregyártásban, öntömörödő betonból készült, majd daru segítségével emelték a helyére (3.10. kép/a, b).



3.10. kép- a) szegedi víztorony, b) víztorony zászlótartója [[www.viztorony.hu](http://www.viztorony.hu)]

Az Radioaktív Hulladékokat Kezelő (RHK) KHT. Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolója II. ütem vasbeton szerkezeteinek építésénél használtunk öntömörödő betont.

Az öntömörödő betont a betöltő fedézetek környezetének sűrűn vasalt, felső mintegy 20 cm vastag, acél padlólemezek alá történő kitöltéséhez használtuk (3.11. kép). Az adalékszerkezet adagolását laboratóriumi vizsgálatokkal és helyszíni próbakeveréssel kellett megállapítani.



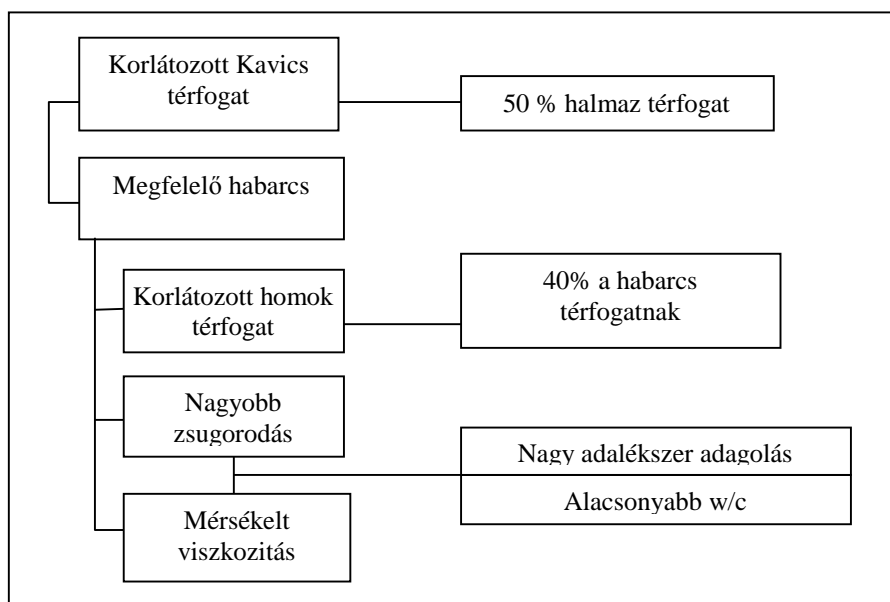


3.11. kép: Az öntömörödő beton helye, BME Építőanyagok és Mg. Tanszék (Nehme, 2007)

### **3.4. A szerkezettervezés és az építési módszerek megújításának szüksége**

Az öntömörödő beton használatával biztosítható a szerkezet tömörsége, és vibrálási költség takarítható meg. Azonban az összköltség nem mindig csökkenthető, a nagyméretű építkezések kivételével. Ennek oka, hogy a hagyományos tervezés azon alapszik, hogy a beton vibrálásos tömörítése elkerülhetetlen.

Az öntömörödő beton tökéletesítheti az építési módszereket, melyek korábban a beton vibrálásos tömörítésével kerültek alkalmazásra. A vibrálásos tömörítés könnyedén az anyagok szétosztályozódásához vezet, akadályozta a kivitelezési munka optimalizálását. A vibrálásos tömörítés elhagyásával új zsaluzatot, vasalást, alátámasztást és szerkezeti tervezést érintő építési módszerek fejleszthetők ki (3.1. ábra).



3.1. ábra: Az öntömörödő beton összetételének tervezési lépései  
Okamura és Ozawa szerint (Okamura, Ozawa, 1995)

A víz mennyiségét a cement és a por méretű szemcsék együttes térfogat arányában adják meg, mely 0,9 és 1 között van. Ebből adódik, hogy a víz mennyiség minimum 170 liter. Így a bedolgozáshoz szükséges víz mennyiség nagyobb, mint a nagy teljesítőképességű betonoké. A friss öntömörödő beton levegő tartalma azonban kisebb, mint a szokványos betoné, emiatt végeredményben nincs jelentős változás, ha az öntömörödő beton cement tartalma legalább  $340 \text{ kg/m}^3$ .

Egy példa erre az ún. szendvics-szerkezet, ahol a beton acél héjazatba van öntve. Ilyen szerkezet épült Kobe-ban, amely nem lett volna elvégezhető öntömörödő beton alkalmazása nélkül (3.12. kép).



*3.12. kép: szendvics-szerkezet Kobe-ban*

Mivel az öntömörödő beton tervezési módszere és a helyszíni megfelelőségi vizsgálati módszerei alapvetően kidolgozásra kerültek, az öntömörödő beton széleskörű elterjedésének akadályai megszűntek. A következő feladat az öntömörödő beton készítési technikájának, és a gyakorlati felhasználnak az elősegítése. Ehhez a mérnöknek képzésre és képesítésre van szüksége. Ezen kívül be kell vezetni új szerkezettervezési irányelveket és építési módszereket, az öntömörödő beton előnyeit kihasználása érdekében.

Amennyiben az öntömörödő beton „normál”, és nem „speciális” betonként való felhasználása megvalósul, elmondhatjuk, hogy sikerült létrehozni csekély fenntartási igényű, tartós és megbízható betonszerkezeteket.

## 4. A FRISSBETON ÖNTÖMÖRÖDŐ KÉPESSÉGE

### 4.1. Az öntömörödést létrehozó mechanizmus

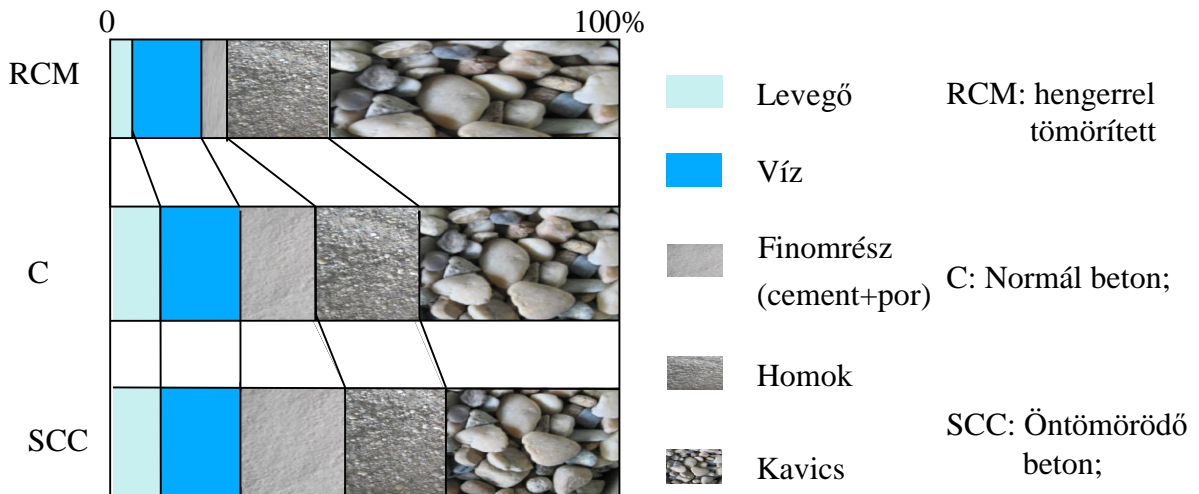
Az öntömörödő képesség megvalósulásában nem csak a beton vagy habarcs nagy mozgékonyága játszik szerepet. Szintén fontos, hogy a vasalaton való korlátozott átfolyás hatására a pép és a durva szemcsék ne szegregálódjanak. Okamura és Ozawa a következő irányelveket alkalmazták az öntömörödés megvalósítására:

- (1) csökkentett durva adalékanyag mennyiség
- (2) alacsony víz-finomrész arány
- (3) folyósítószer használata.

A részecskék közötti relatív távolság csökkenése az adalékanyag szemek rezgésszámának növekedését okozza, nő a részecskeütközések száma, ezért a frissbeton deformálásának hatására nő a belső feszültség, különösképpen akadályok környezetében. Vizsgálatok kimutatták, hogy a folyáshoz szükséges energiát a megnövekvő belső feszültség felemésztí, az adalékszemcsék blokkolódnak. A durva szemcsék mennyiségének csökkentése (melyek energiaelnyelése különösen magas) a normálisnál alacsonyabb szintre hatékony megoldás az ilyen típusú blokkolódás elkerülésére.

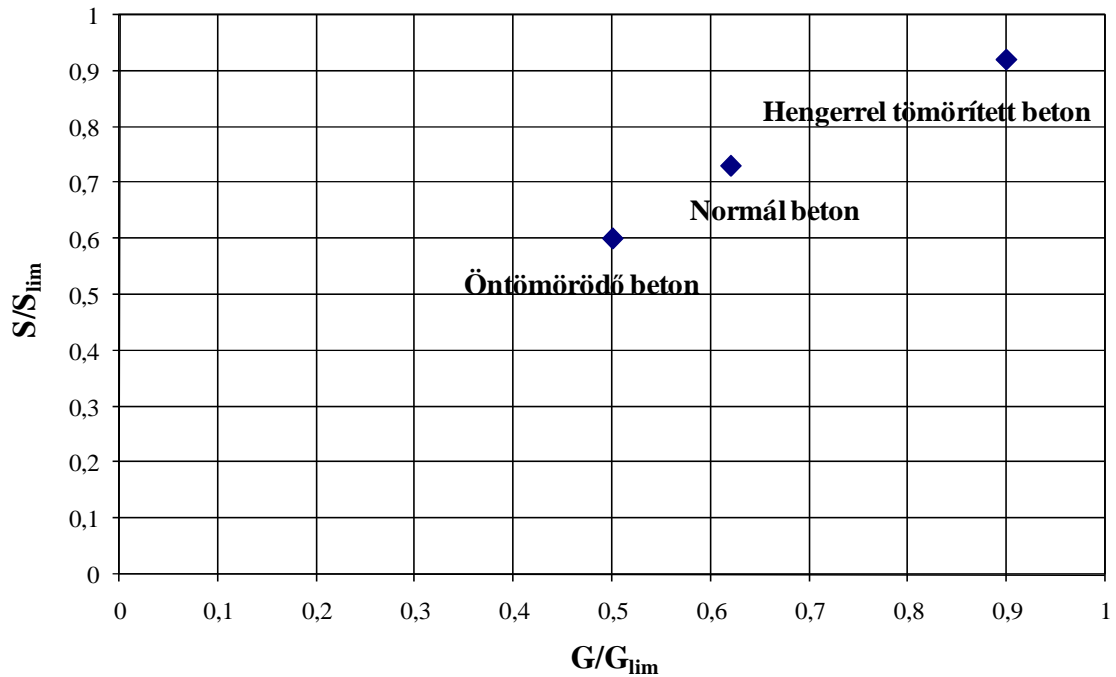
Ezen kívül a durva adalékszemek akadályok környezetében bekövetkező megakadásának kiküszöbölése magas viszkozitású cementpépet igényel. Az ilyen cementpép megakadályozza a beton mozgása során kialakuló, nagy adalékszemcsék által létrehozott belső-feszültség növekedést. A víz-finomrész arány kellően alacsonyan tartása mellett a nagy mozgékony képesség csak folyósítószer használatával érhető el.

Az öntömörödő beton (SCC) alkotórészeinek aránya összehasonlítva a normál, és RCD beton alkotórészeinek arányával az 4.1. ábrán látható. (RCD – Roller Compacted concrete for Dams = hengerrel tömörített beton gátaknál)

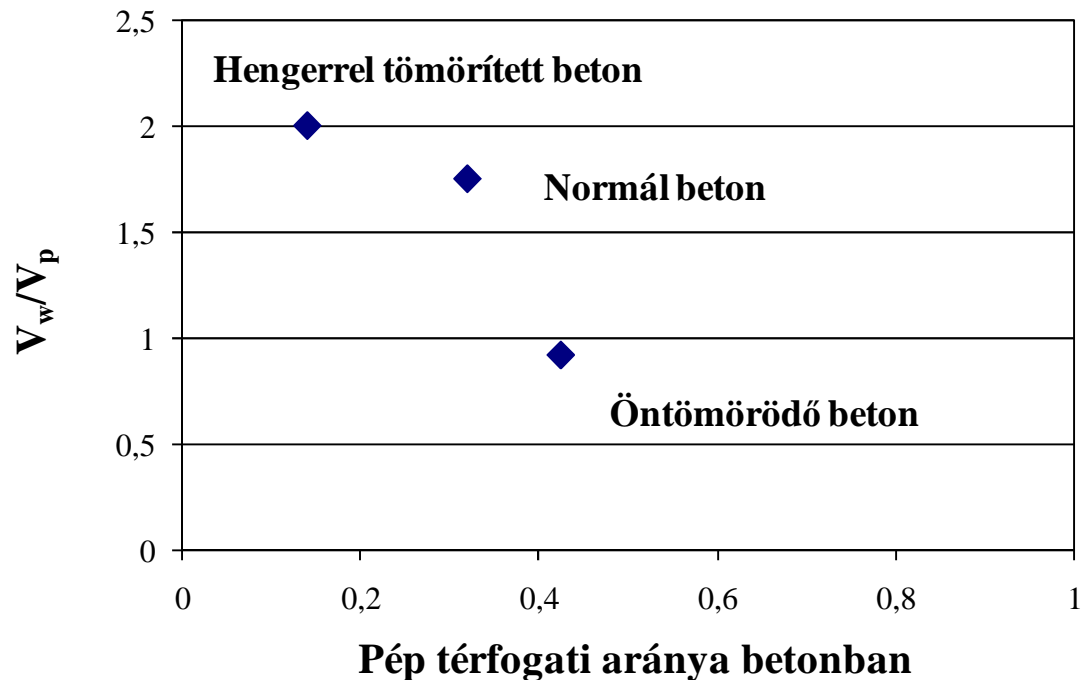


4.1. ábra: A pörgetett, a normál beton és az öntömörödő beton összetevői [V%], (Okamura, Ouchi, 2003)

A normál, tömörítést igénylő betonokhoz képest kisebb a durva adalékszemcsék mennyisége. A durva adalékszemcsék halmaz-, és szemcsék térfogatának aránya ( $G/G_{lim}$ ) az egyes beton típusok esetén a 4.2. ábrán látható. Az SCC durva adalékanyag frakciójának tömörödési foka kb. 50%, ezáltal az adalékszemek a beton alakváltozása közbeni egymásra hatása alacsony. A finomrész halmaztérfogatának, és szemcsék térfogatának aránya a pépben ( $S/S_{lim}$ ) szintén a 4.1. ábrán látható. A finomrész tömörödési foka az SCC-ben kb. 60%, ami korlátozza a nyírási alakváltozást a beton alakváltozása közben. Másrészt SCC esetén a pép viszkozitása a beton fajták között az egyik legmagasabb, mely tulajdonság az egyes fajták közül a legalacsonyabb víz-finomrész tartalommal indokolható. (4.3. ábra) Ez a tulajdonság hatásosan gátolja a szétosztályozódást.



4.2. ábra: tömörítés foka a durva adalékanyag betonban és a finom adalékanyag habarcs részében (Okamura, Ouchi, 2003)



4.3. ábra: Összefüggés a pértartalom és víz /finomrész tényező között (Okamura, Ouchi, 2003)

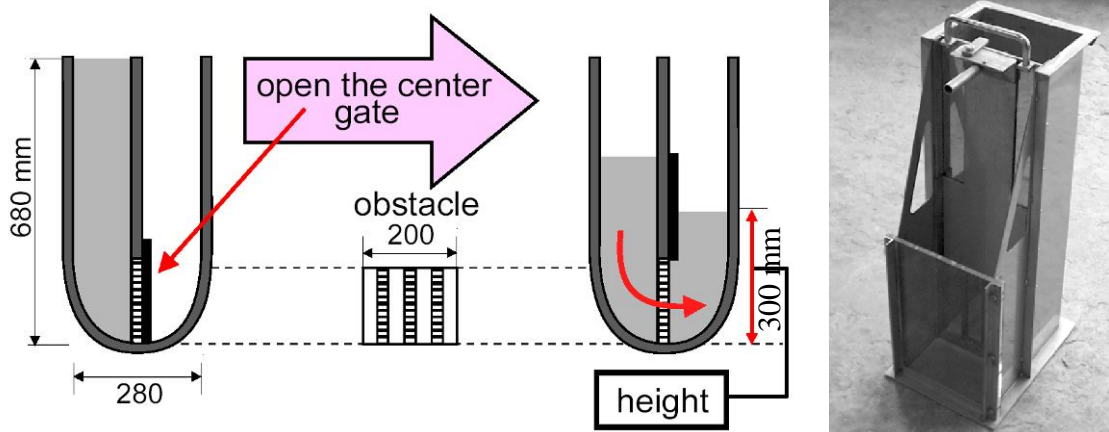
## 4.2. Az öntömörödő beton vizsgáló eszközei és a vizsgálatok célja

Öntömörödési vizsgálatokat három célból végeznek, melyek gyakorlati okokra vezethetők vissza:

1. vizsgálat: annak ellenőrzése, hogy a beton öntömörödő-e egy adott szerkezetre nézve
2. vizsgálat: a receptúra módosításának céljából, amennyiben az öntömörödés nem megfelelő
3. vizsgálat: az anyagok jellemzésére.

### U-doboz (Az önkiegyenlítő képesség és zárványképződési hajlam meghatározása)

Az 1. vizsgálatához a legalkalmasabb eszköz az ún. U-átfolyás, vagy az U doboz vizsgálat (4.4. ábra). Az U-átfolyás vizsgálata a Taisei Group által lett kifejlesztve (Hayakawa, 1993). A vizsgálat során az öntömörödés mértékét egy U alakú cső alján lévő akadályon való átfolyás utáni betonmagasság mutatja. Öntömörödőnek tekinthető a beton, amennyiben az átfolyt beton magassága legalább 300 mm. Amennyiben fennáll a pép és a durva szemcsék szétosztályozódásának veszélye, a doboz vizsgálat ajánlott.



4.4. ábra: Blokkoló rács vizsgálat U alakú edényben (U-Box) Az önkiegyenlítő képesség és zárványképződési hajlam meghatározása (Okamura, Ouchi, 2003)

Amennyiben az 1. vizsgálat kimutatja, hogy a beton nem teljesíti az öntömörödés feltételeit, az okok kvantitatív vizsgálatára van szükség, így a receptúra megfelelően módosítható. Az alakváltozási képesség és a viszkozitás vizsgálatára a területmérés, ill. a tölcsér-vizsgálat ajánlott, melyeknek mérőszámai  $\Gamma_c$  és  $R_c$ .

$$\Gamma_c = \left( \frac{d_1 \times d_2 - d_0^2}{d_0^2} \right)$$

Ahol  $d_1$  és  $d_2$  a terület átmérője két irányban és  $d_0$  a kúp alsó átmérője.

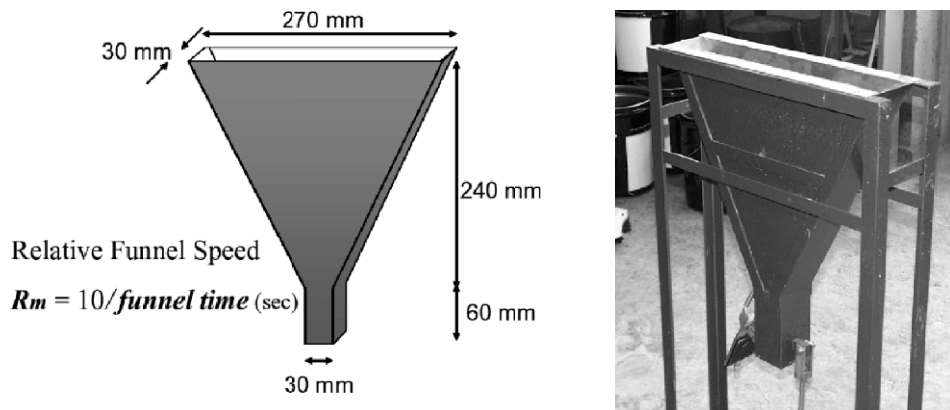
$$R_c = \frac{10}{t}$$

Ahol  $t$ : idő sec.

**Terület mérés (A folyósság meghatározása), J-gyűrű (A zárványképződési hajlam meghatározása) és kifolyási tölcser (A viszkozitás meghatározása)**

A területi és kifolyási tölcser vizsgálatok alkalmazása ajánlott az öntömörödő beton alkotórészeinek jellemzésére, mint pl. finomrész, homok, és folyósítószer.

(4.5. és 4.6. ábrák)



4.5. ábra: Kifolyási tölcser(V-funnel) a kifolyási időméréshez

A területmérésnél meg kell határozni a  $T_{50}$  időt (az 50 cm átmérőre területéhez szükséges időt). A célzott érték: 3-6 másodperc legyen

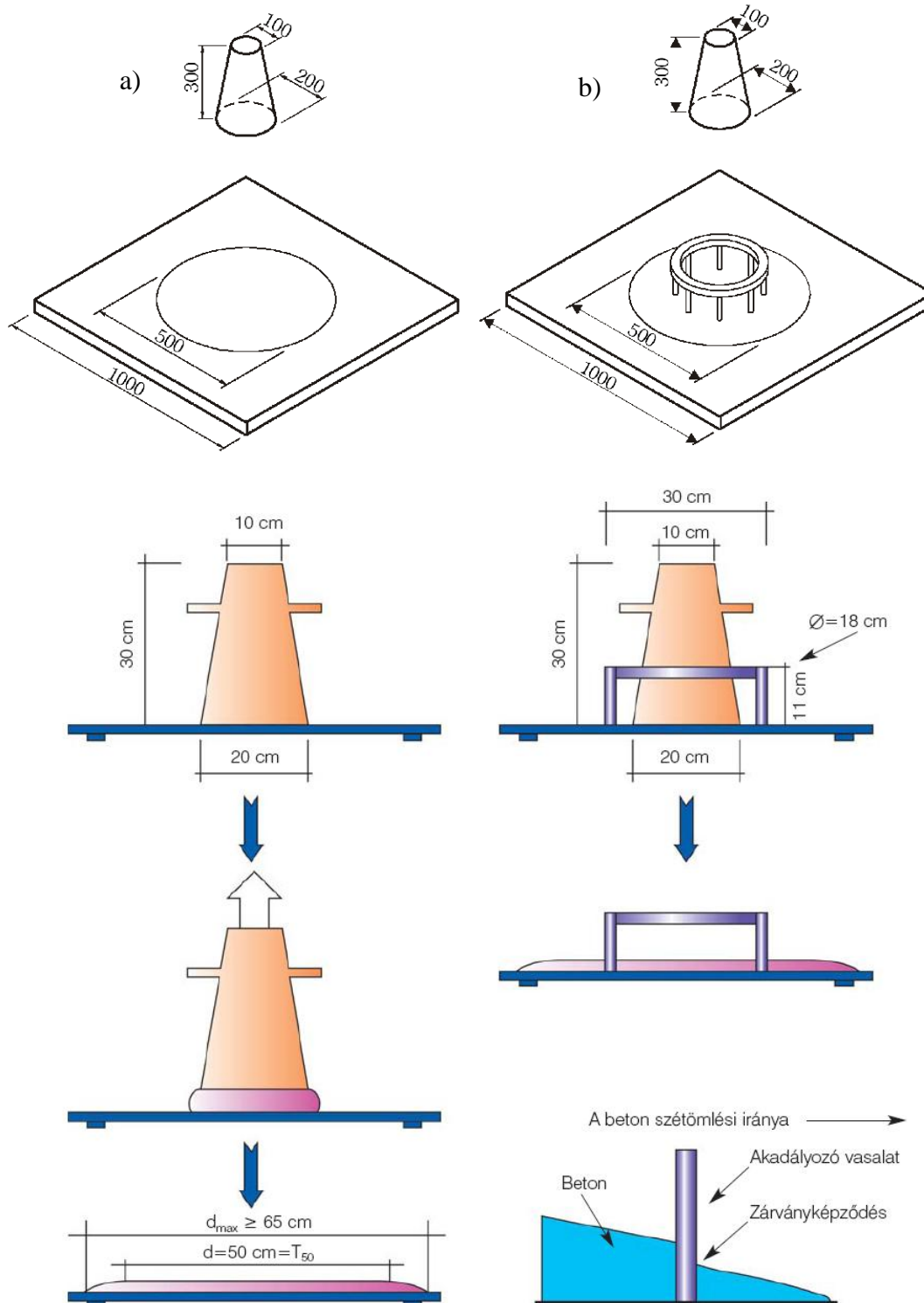
- Meg kell mérni a betonterület maximális átmérőjét. A célzott méret:  $d_{max} \geq 65$  cm
- Szemrevételezéssel el kell bírálni a homogenitást és a szétosztályozódási hajlamot, legyen egyenletes a durva szemcsék eloszlása és ne legyen vízkiválás a lepény szélén.

A kifolyási idő vizsgálatnál meg kell határozni a kifolyási időt, A célzott érték:  $t = 5-15$  másodperc.



J-gyűrű vizsgálatnál meg kell mérni a frissbeton terület maximális átmérőjét. A célzott méret:  $d_{\max} \geq 65$  cm

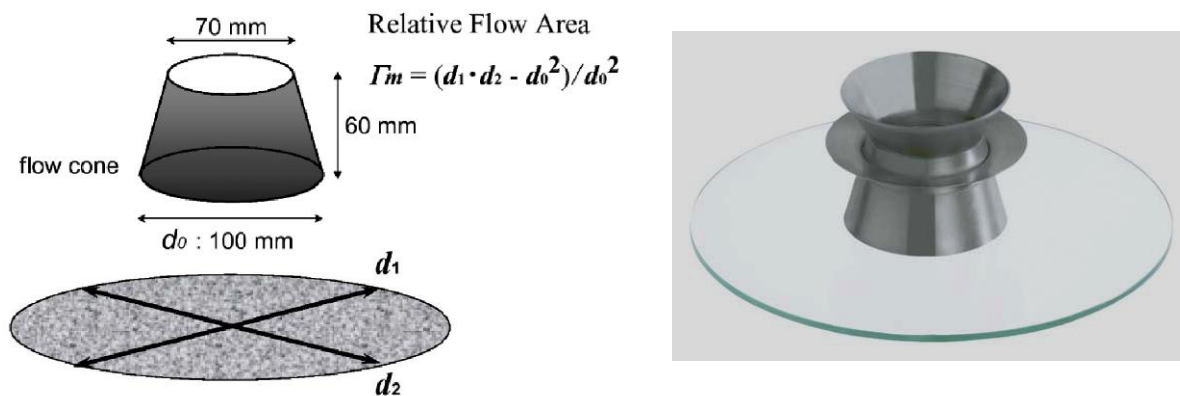
- Szemrevételezéssel kell értékelni a zárványképződési hajlamot, nem halmozódhat fel durva adalékanyag a vasalat betét közelében



4.6. ábra: a) terület mérés (folyósság meghatározás terület mérés); b) J-gyűrű (J-Ring) vizsgálat (A zárványképződési hajlam meghatározása)

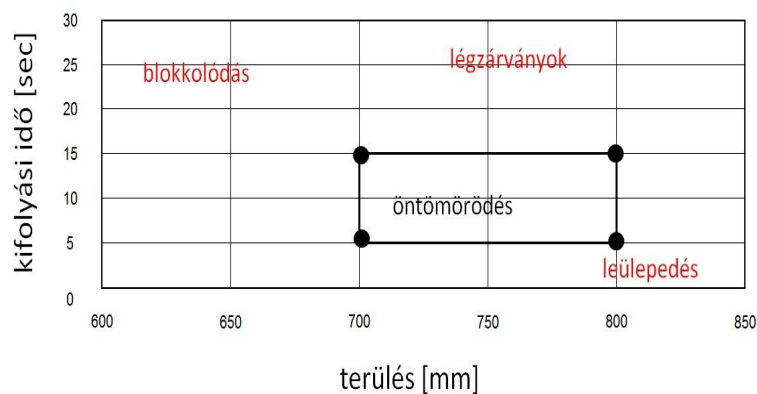
A pép alakváltozási képessége és viszkozitása ugyanilyen módon becsülhető, mértékük  $\Gamma_m$  és  $R_m$  értékekkel számszerűsíthető ( $\Gamma_m$ : relatív terület,  $R_m$ : relatív kifolyási idő).

A magas  $\Gamma_m$  érték nagy alakváltozási képességet, míg az alacsony  $R_m$  érték magas viszkozitást mutat. Az anyagok jellemző leírására  $\Gamma_m$  és  $R_m$  mérőszámok ajánlottak (4.7. ábra).



4.7. ábra: Habarcs terület mérése

Célszerűbb a terület mérést (J gyűrű) és a kifolyási idő (V-funnel) vizsgálatot egy időben elvégezni, mert a két vizsgálat eredménye alapján lehet meghatározni a receptúra végleges összetételét.

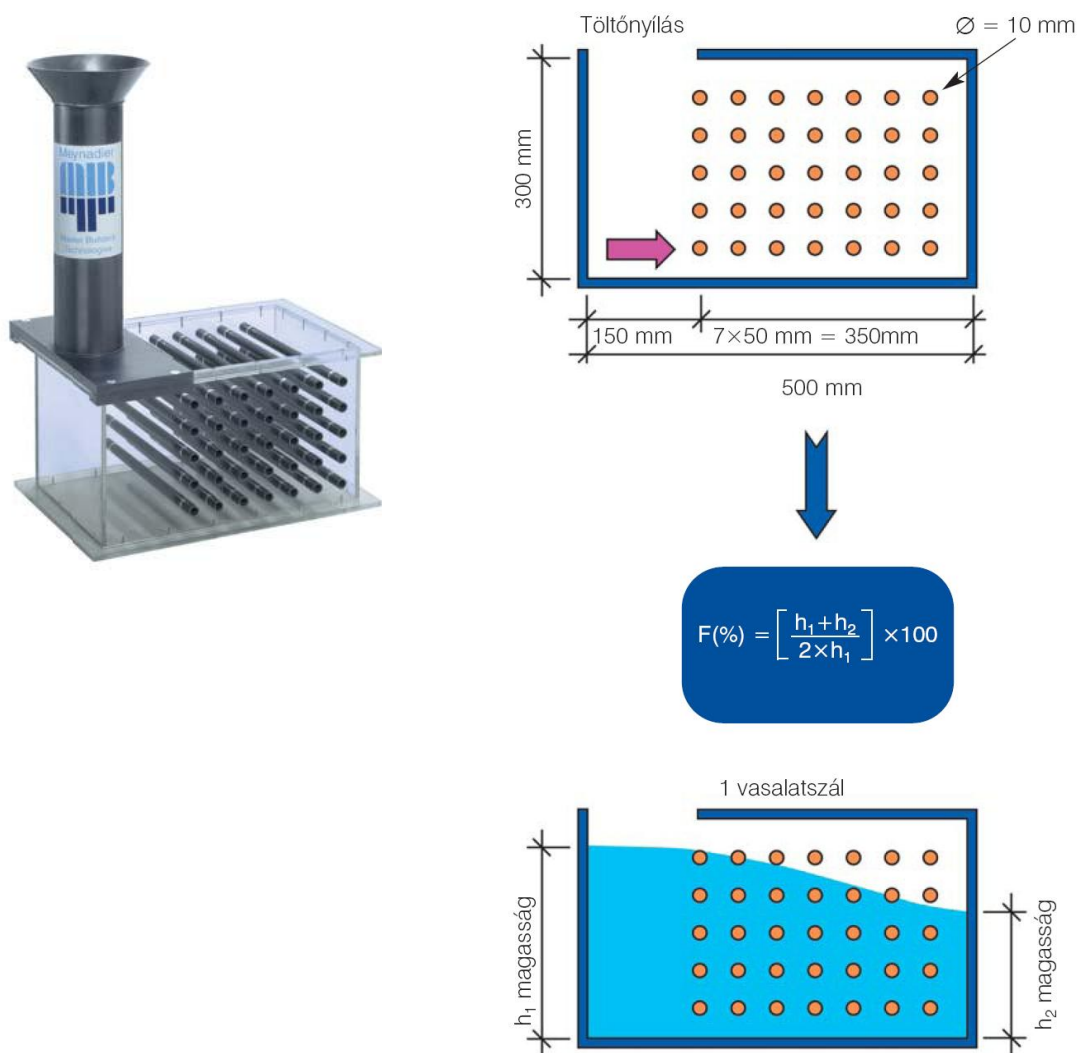


4.8. ábra: Az öntömörödő beton megfelelő konzisztenciája

### Kajima-doboz vizsgálat [A töltési fok (légtelenedési képesség) meghatározása]

Egy akadályozó betonacél betétekkel beépített plexi műanyagtartály töltőnyílásán át addig töltenek be frissbetont, amíg a töltési szint a legfelső vasalatsor első betétjét eléri.

- Meg kell határozni a  $h_1$  magasságot
- Ki kell számítani a töltési fokot ( $F\%$ ). Ha  $F \geq 90\%$ , akkor megfelel
- Szemrevételezéssel értékelni kell, hogy a frissbeton mennyire töltötte ki a vasalatbetétek közti hézagokat. Az értékelési szempont: üregképződés nem észlelhető.



4.9. ábra: Kajima doboz

## L-Box (L-doboz) vizsgálat

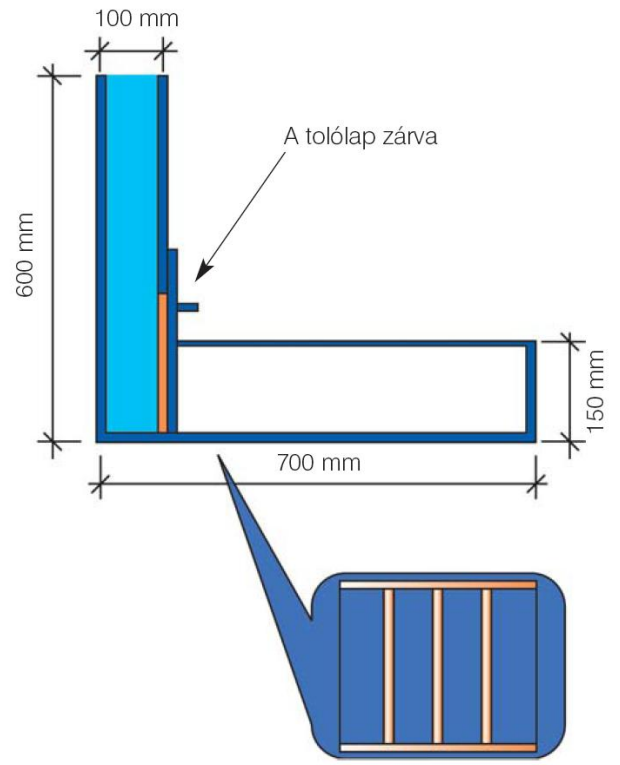
*Az önkiegyenlítő hatás és a zárványképződési hajlam meghatározása*

Az L-Box két (álló és fekvő) kamrából álló tartály, melyeket egy vasalatbetétekkel ellátott nyílás köt össze. Az 1. sz. (álló) kamrát a frissbeton betöltése előtt ennél a nyílásnál egy tolólappal lezárják. Ezután az 1. sz. kamrát feltöltik betonnal, majd a tolólapot felnyitják. Ekkor a beton a nyíláson át tud folyni a 2. sz. (fekvő) kamrába.

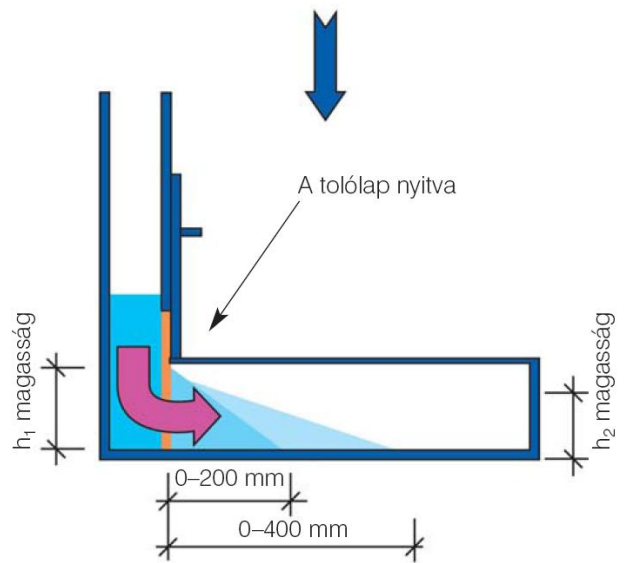
Eközben azonban át kell törnie a nyíláskeresztmetszetben akadályt képező vasalatrácson.

Meg kell határozni a beton 2. sz. (fekvő) kamrában  $l_1 = 20$  cm és  $l_2 = 40$  cm távolságra elfolyásának idejét, a célzott értékek:  $t_1 =$  kb. 2 másodperc,  $t_2 =$  kb. 5 másodperc

- Meg kell határozni a  $h_1$  és  $h_2$  magasságokat,
- Meg kell határozni az önkiegyenlítő határt, a célzott érték:  $h_2/h_1 \geq 80\%$ ,
- Szemrevételezéssel értékelni kell a zárványképződési hajlamot, nem lehet durva adalékanyag felhalmozódás.



Az akadályozó vasalatrács 3 db 14 mm átmérőjű betonacél szálból áll.



4.10. ábra: L doboz

### **4.3. Az öntömörödő beton jelenlegi helyzete**

Japánban az öntömörödő beton különleges betonként került alkalmazásra, kizárólag nagy építőipari vállalatok által. Annak érdekében, hogy az öntömörödő beton a különleges státuszából általánosan elfogadottá váljon, új tervezési és gyártási módszerekre van szükség. Különböző bizottsági munkálatok vették kezdetét az öntömörödő betont érintő kérdésekben.

Mivel Japán éves betontermelésének 70%-a transzportbeton, kézenfekvő a transzportbetonipar alkalmassá tétele öntömörödő beton gyártására. Feltételezve, hogy a transzportbeton üzemek képesek öntömörödő betont szolgáltatni, a Tokiói Egyetem által a következőkben felsoroltak vizsgálatára van szükség.

- (1) öntömörödés vizsgálati módszere
- (2) betonösszetétel tervezési módszere
- (3) helyszíni megfelelőségi vizsgálat módszere
- (4) új fajta finomrész vagy adalékszer, mely alkalmazható öntömörödő betonban.

Az (1) pontot már tárgyaltuk, a következőkben a (2), (3) és (4)-es pontok megvitatása következik.

### **4.4. Betonösszetétel tervezési módszere**

Az öntömörödő beton legfontosabb kritériumai a nagyon jó folyási képesség és a szétosztályozódással szembeni magas ellenálló képesség. E két tulajdonság a következő betontechnológiai intézkedésekkel befolyásolható:

1. Módszer: adalékszer adagolása (stabilizáló és folyósító),
2. Módszer: az adalékanyag optimalizálása,
3. Módszer: az 1. és 2. módszer kombinálása.

Idővel a 2. módszer terjedt el, melynél a következő pontokat kell betartani:

## Számítási módszer

Az öntömörödés nagymértékben függ az anyagjellemzőktől és a keverési aránytól. Öntömörödő beton tervezéséhez számításos módszerre van szükség, mely különféle anyagokból állítja össze a keveréket. Okamura és Ozawa (1995) egy egyszerű módszert ajánl a keverék tervezéséhez. A durva és finom adalékanyag frakciók aránya állandó, így az öntömörödés eléréséhez csak a víz-finomrész arány beállítására, és a folyósítószer mennyiségének meghatározására van szükség.

- (1) A durva adalékanyag mennyisége 50%-a a teljes tömör térfogatnak
- (2) A finomrész-tartalom 40%-a a pép mennyiségének
- (3) A víz-finomrész arány 0,9-1,0 között változik, a finomrész tulajdonságaitól függően
- (4) Folyósítószer-tartalom és végleges víz-finomrész arány meghatározása az öntömörödés érdekében.

Hagyományos beton tervezése esetén, a víz-cement tényező kerül elsőként rögzítve, a kívánt szilárdság elérése végett. Öntömörödő beton esetén azonban a víz-finomrész tényező megállapítása szükséges, ugyanis az öntömörödési hajlam nagyban függ ettől. Legtöbb esetben az elérni kívánt szilárdság nem bírálja felül a víz-cement tényezőt, mert a víz-finomrész tényező elég alacsony a kívánt szilárdság eléréséhez, általános szerkezetek esetén, feltételezve hogy a finomrész nem reaktív.

A habarcs, és az öntömörödő betonban lévő pép nagy viszkozitást és alakváltozó képességet igényel. Ez folyósítószer alkalmazásával érhető el, mely nagy alakváltozási képességet eredményez alacsony víz-finomrész tényező mellett.

### **A víz-finomrész tényező, és a folyósítószer mennyiség meghatározása**

A finomrész és a folyósítószer tulajdonságai befolyásolják a habarcs tulajdonságait, ezért a víz-finomrész tényező és a folyósítószer mennyiség ebben a tervezési stádiumban nem állapíthatók meg próbakeverés nélkül. Miután a keverési arány meghatározásra került, az öntömörödést meg kell vizsgálni U-doboz, területi, ill. tölcésvizsgálatokkal. Szükség van olyan eljárásokra, melyekkel a vizsgálati eredményekből megállapítható hogy a víz-finomrész tényező, ill. a folyósítószer tartalom alacsonyabb vagy magasabb-e a kelletténél, és olyan eljárásra mellyel megállapíthatók a helyes értékek. Az öntömörödő beton

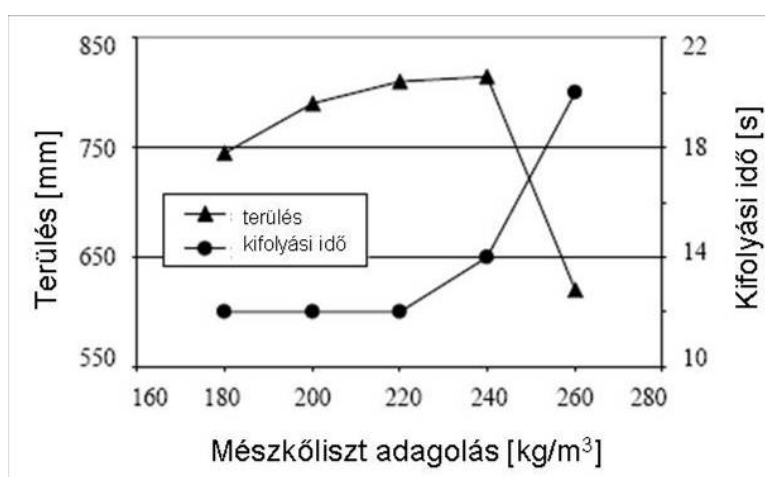
pépjének vizsgálati eredményei, és a keverési arány közötti összefüggés vizsgálata után az összefüggésekre képletek lettek felírva. Ezen képletek használatával a víz-finomrész tényező és a folyósítószer mennyiség beállítható a megfelelő alakváltozási képesség és viszkozitás eléréséhez. (Ouchi, 1998)

### Hazai szemle

Hazánkban sokan foglalkoznak öntömörödő betonnal (Erdélyi Attila, Salem Georges Nehme, Spranitz Ferenc, Zsigovics István ....)

Néhány gondolat a tervezésről:

Az összetétel meghatározhatjuk úgy is, hogy az adalékanyag-váz és a cementtartalom meghatározása után a kiegészítő anyag mennyiségét  $20 \text{ kg/m}^3$  lépcsőben változtatva addig végezzük a próbakeveréseket, míg a kifolyási idő és a területés konzisztencia vizsgálat eredményei el nem érik az öntömörödő betonokra jellemző optimális értékeket (Zsigovics, 2007).



4.11. ábra: Az öntömörödő beton összetételének tervezési lépései (Zsigovics, 2007)

Ha nagyobb szilárdságot akarunk elérni közel azonos vízadagolás és közel azonos víz-finomrész tényező mellett csupán a cement-kiegészítő anyag tényező növelésével lehetséges. Természetesen minél nagyobb a cement-kiegészítőanyag tényező (kisebb a víz-cement tényező), annál drágább a betonkeverék, ezért a megfelelő szilárdság elérése mellett a gazdaságossági szempontok figyelembevétele kell kialakítani az ideális pépösszetételt (Erdélyi, 2007).

Az öntömörödő beton szilárdságát a víz-finomrész tényező, valamint a finomrész összetétele határozza meg. A minimális víztartalomra való törekvés elvéből következik,



hogy a víz-finomrész tényező az alkotóanyagok tulajdonságaitól és keverési arányától függ, optimális esetben a lehető legalacsonyabb. A beton elvárt szilárdsága a cement-kiegészítő anyag tényezőjének megfelelő megválasztásával érhető el (Nehme et al, 2008).

#### **4.5. Helyszíni megfelelőségi vizsgálat**

Mivel a tömörödés foka főként a beton öntömörödési képességétől függ, és a rossz öntömörödési képesség nem kompenzálható az építés során, bedolgozás előtt szükséges az öntömörödési képesség vizsgálata a teljes betonmennyiségre. Azonban a hagyományos vizsgálati módszerek mintavételezést igényelnek, és ez különösen munkaigényes lenne, amennyiben az öntömörödés vizsgálatát a teljes betonmennyiségre kiterjesztjük. Megfelelő vizsgálati eljárás lett kifejlesztve Ouchi által (1999):

- A vizsgálati berendezés a mixerkocsi és a betonpumpa közé van elhelyezve. A teljes betonmennyiség belekerül a berendezésbe.
- Amennyiben a beton átfolyik a berendezésen, öntömörödőnek tekinthető. Ellenkező esetben a beton öntömörödési képessége nem kielégítő, a receptúrát finomítani kell.

Ez a berendezés sikeresen került kipróbálásra az Osaka Gas LNG tartály építésénél, és tekintélyes mennyiségű megfelelőségi vizsgálatot helyettesített. (4.1. kép) (Kitamura, 1999)



4.1. kép: automatikus berendezés a helyszíni megfelelőségi vizsgálatához

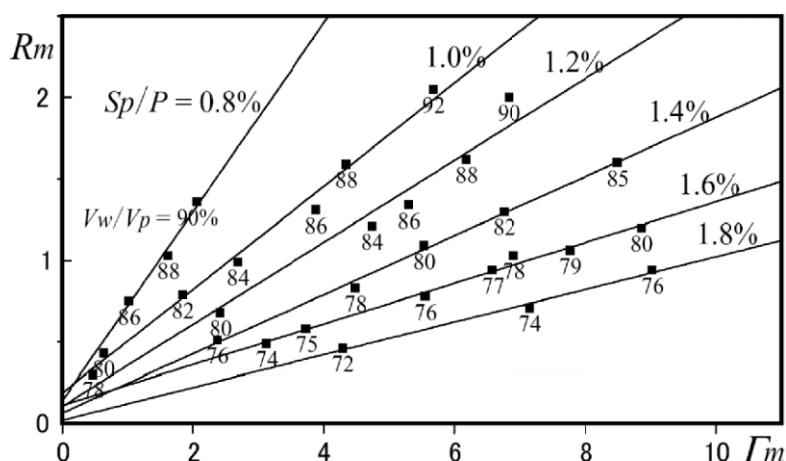
## 4.6. Újfajta, öntömörödő betonhoz alkalmazható folyósítószer

Öntömörödő betonokhoz használható folyósítószer fejlesztéséhez nem elhanyagolható az anyagjellemzők vizsgálata. Az öntömörödő betonhoz használt folyósítószerrel szemben támasztott követelmények az alábbiak:

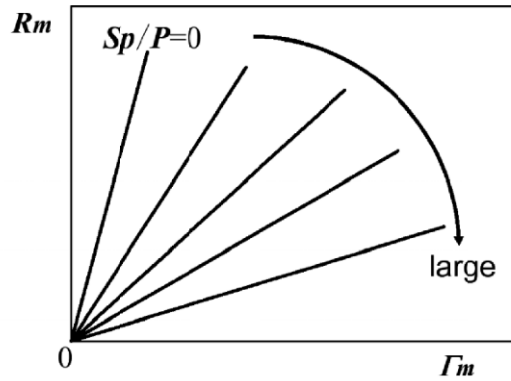
- magas diszperzitás az alacsony víz/finomrész (cement) arány eléréséhez
- a diszperziós hatás megtartása legalább 2 órával a keveréstől számítva
- alacsony hőmérséklet-érzékenység.

Az öntömörödő betonhoz használt folyósítószer fejlődésére rengeteg példát találunk. Elengedhetetlen a diszperziós hatás jellemzése, függetlenül a víz folyósító hatásától.

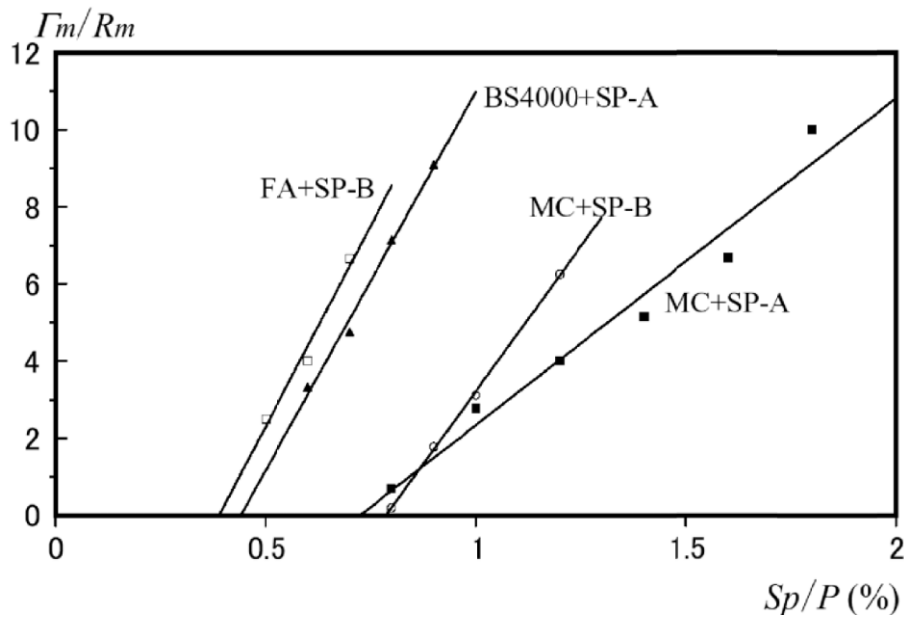
A Ouchi és Sgamata megállapították, hogy a  $\Gamma_m/R_m$  arány majdnem konstans különböző  $V_w/V_p$  (víz/finomrész térfogataránya), konstans  $S_p/P$  arány (szuperfolyósító/finomrész tartalom) mellett (4.12. ábra). A  $\Gamma_m/R_m$  arányszám ajánlott a folyósítószer diszperziós hatásának számszerűsítésére (4.13. ábra). Az  $S_p/P$  arány és okozata, a  $\Gamma_m/R_m$  arány közötti összefüggés a folyósítószer és a finomrész függvénye. (4.14. ábra) (Ouchi et al. 2001; Sugamata et al. 2001) Ezen a ponton az összefüggés nem becsülhető kísérleti eredmények nélkül, a folyósítószer különböző finom adalékanyagokra gyakorolt kémiai hatása miatt.



4.12. ábra: Összefüggés a habarcs területe és a kifolyási idő között



4.13. ábra: Folyósítószer diszperziós hatásának a habarcs területére és kifolyási idejére



4.14. ábra: Az  $Sp/P$  arány és okozata, a  $\Gamma_m/R_m$  arány közötti összefüggés a folyósítószer és a finomrészt függvénye különböző kiegészítő anyagoknál

#### 4.7. Szétoztályozódást gátló adalékszerek

Az öntömörödő beton előállíthatása állandó minőséggel, főként öntömörödési képességgel nehéz feladat a víz és az adalékszer pontos adagolása miatt, továbbá az anyagok jellemzőinek bármilyen változása hatással lehet az öntömörödési képességre. A legjobban befolyásoló tényező a finomrészt víztartalma, mely különböző víztartalmakat eredményez a betonon belül. Ennek elkerülésére, egyes kivitelező cégek szétoztályozódást gátló adalékszereket alkalmaznak. Az ilyen adalékszer az öntömörödési képességet érzéketlenebbé teszi a víztartalom változásaira. Ilyen célból a

világban és itthon is különféle adalékszerek állnak rendelkezésre. Igaz, hogy ezek az adalékszerek gátolják a szétosztályozódást, de ha a beton víz túladagolás miatt szétosztályozódott, akkor szilárdság csökkenést fog eredményezni.

## **5. AZ ÖNTÖMÖRÖDŐ BETONOK ELŐNYEI ÉS HÁTRÁNYAI**

### **5.1. Az öntömörödő beton előnyei**

Az öntömörödő beton előnyei a következők:

- nem szükséges tömöríteni,
- nem keletkeznek hibahelyek (fészkeség),
- kifogástalan, egyenletes betonfelület,
- nincs vibrátorok okozta zaj,
- egyenletes betonminőség.

### **5.2. Az öntömörödő beton hátrányai**

Az öntömörödő beton hátrányai a következők:

- repedésérzékenysége nagyobb, mint a szokványos betoné,
- zsugorodása nagyobb, mint a szokványos betoné,
- fagyállósága rosszabb, mint a szokványos betoné,
- utókezelési igény nagyobb, mint a szokványos betoné,
- konzisztencia függő (terület:  $65 \pm 5$  cm).

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen kutatás-fejlesztési munkára a 2003.XC. Törvény 12.§.C. pontja alapján kerül sor „új tudásanyag megszerzésére irányuló kutatás, amelynek célja, hogy az így megszerzett tudásanyag felhasználható legyen új termékek, eljárások vagy szolgáltatások kifejlesztéséhez, ill. jelentős javulást eredményezzen a már meglévő termékekben, eljárásokban vagy szolgáltatásokban”.

### **A kutatás témája: öntömörödő betonok**

Jelen kutatómunka célja, hogy tudományos körültekintéssel megismerjük az öntömörödő betonok fő tulajdonságait és lehetséges felhasználásait.

Az öntömörödő beton világ szerte egyre jobban terjed. A felhasználási területei a következők:

- hidak (lehorgonyzás, ívek, gerendatartók, pillérek)
- átereszek
- épületek
- beton kitöltésű acélpillérek
- alagutak (falazat, süllyesztett alagút)
- duzzasztógátak (a szerkezet körüli beton)
- betonelemek (tömbök, csatornaelemek, falak, tartályok, lemezek, tübbingek)
- merevítő falak
- tartályok (oldalfal, lemez és fal csatlakozása)
- csövek és
- előregyártott elemek.

Az öntömörödő beton legfontosabb kritériumai, hogy saját gravitációs mozgása révén megfelelőképpen kitölti a rendelkezésére álló teret, és a szétosztályozódással szemben ellenálló. E két tulajdonság a következő betontechnológiai intézkedésekkel befolyásolható:

1. Módszer: adalékszer adagolása (folyósító és stabilizáló),
2. Módszer: az adalékanyag optimalizálása (szemeloszlás és mennyiség),
3. Módszer: az 1. és 2. módszer kombinálása.

Az összetétel meghatározhatjuk úgy is, hogy az adalékanyag-váz és a cementtartalom meghatározása után a kiegészítő anyag mennyiségét  $20 \text{ kg/m}^3$  lépcsőben változtatva addig végezzük a próbakeveréseket, míg a kifolyási idő és a területés konzisztencia vizsgálat eredményei el nem érik az öntömörödő betonokra jellemző optimális értékeket.

Az öntömörödő beton szilárdságát azonban főként a víz-finomrész tényező valamint a finomrész összetétele határozza meg. A minimális víztartalomra való törekvés elvől következik, hogy a víz-finomrész tényező az alkotóanyagok tulajdonságaitól és keverési arányától függ, optimális esetben a lehető legalacsonyabb. A beton elvart szilárdsága a cement-kiegészítő anyag tényezőjének megfelelő megválasztásával érhető el.

Az öntömörödő betonhoz használt folyósítószerrel szemben támasztott követelmények az alábbiak:

- magas diszperzitás az alacsony víz/finomrész (cement) arány eléréséhez
- a diszperziós hatás megtartása legalább 2 órával a keveréstől számítva
- alacsony hőmérséklet-érzékenység.

Az öntömörödő beton előnyei a következők:

- nem szükséges tömöríteni, és biztosítható a szerkezet tömörsége
- nem keletkeznek hibahelyek (fészkeség),
- kifogástalan, egyenletes betonfelület,
- nincs vibrátorok okozta zaj és vibrálási költség takarítható meg,
- egyenletes betonminőség.

Az öntömörödő képesség igazolásához nemzetközileg használatos vizsgáló eszközök a következők:

- U-doboz (U-box)
- J-gyűrű (J-ring)
- területő asztal
- Kifolyási tölcser (V-funnel)
- Kajima doboz (Kajima boks) és
- L-doboz (L-boks)

## 7. IRODALOMJEGYZÉK

- Erdélyi A.: „Öntömörödő betonok” *Duna-Dráva Cement (2007)*, Cement- Beton Zsebkönyv.
- Gagne, R., Pigeon, M., and Aitcin, P.C. (1989): „Deicer salt scaling resistance of high performance concrete” *Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete*, SP-122, ACI.
- Hayakawa, M., Matsuoka, Y. and Shindoh, T. (1993): „Development and application of super workable concrete” *RILEM International Workshop on Special Concretes: Workability and Mixing*.
- Kashima, S., Kanazawa, K., Okada, R. and Yoshikawa, S. (1999): „Application of self-compacting concrete made with low-heat cement for bridge substructures of Honshu-Shikoku Bridge Authority” *Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete*, 255-261.
- Kitamura, H., Nishizaki, T., Ito H., Chikamatsu, R., Kamada, F. and Okudate, M. (1999): „Construction of prestressed concrete outer tank for LNG storage using high-strength self-compacting concrete” *Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete*, 262-291.
- Nehme S. G. (2004): „A beton porozitása” PhD értekezés, BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, Budapest, 2004. PP 31-33
- Nehme S. G., Balázs Gy., Tóth Z., Száraz L. (2007): „A paksi KKÁT II. ütem vasbeton szerkezetének építése” *BETON ( XV. ÉVF. 5. szám ( 2007. május)*
- Nehme S.G., Kovács J., Kovács I. (2008): „Öntömörödő betonok tervezése” 14<sup>th</sup> *Building Services, Mechanical and Building Industry days*, International Conference, 30-31 October 2008, Debrecen, Hungary
- Maekawa, K. and Ozawa, K. (1999): „Development of SCCC’s prototype” *Self-Compacting High-Performance Concrete*, Social System Institute, 20-32
- Okamura, H., Maekawa, K. and Ozawa, K. (1993): „High performance concrete” *Gihodo Publishing*.
- Okamura, H. and Ozawa, K (1995). „Mix-design for self-compacting concrete.” *Concrete Library of JSCE*, 25, 107-120.
- Okamura, H. and Ouchi, M. (2003): „Self-compacting Concrete”, *Journal of Advanced Concrete Technology* Vol. 1, No. 1, 5-15, April 2003.



- Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M., Okamura, H. (1989): „Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures”, Proceedings of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Vol. 1, pp. 445-450, January 1989.
- Ouchi, M. (1999): „State of the art report on self-compactability evaluation” *Proceedings of the International Workshop on Self-Compacting Concrete*. Also available from Concrete Engineering Series. 30. JSCE.
- Richtlinie für die Herstellung und Prüfung von Beton mit LPV Zusatzmittel. Österreichischer Betonverein, Ausgabe April, 1988.
- Ujhelyi J. (1974):” Új eredmények és törekvések a betontechnológiában” *Magyar Építőipar*, 1974.12. pp 724-728
- Zsigovics I. (2007): „Mix design of self compacting concrete” *3rd Central European Congress on Concrete Engineering 2007* Visegrád. pp 161-164.