

Könnyű adalékanyagos öntömörödő betonok tulajdonságainak vizsgálata és alkalmazásának lehetőségei



Készítette: Horkai András

Konzulens: Dr. Takács Márton, főiskolai tanár

SZIE-YMÉK, 2012.

0. TARTALOM

1. Bevezetés.....	3
2. A dolgozat célkitűzései	4
3. A betonról.....	5
3.1. A beton fogalma	5
3.2. A beton összetevői	5
3.2.1. Kötőanyaga, a cement.....	5
3.2.2. Adalékanyag.....	6
3.2.3. Víz	7
3.2.4. Adalékszerek	7
3.2.5. Betontörténet	8
4. Az öntömörödő beton	11
4.1. Az öntömörödő beton fogalma	11
4.2. Az öntömörödés elérésének módszerei	12
4.3. Az öntömörödő beton alkalmazásának előnyei	13
4.4. Példák öntömörödő beton alkalmazására	13
4.5. Az öntömörödő beton friss állapotú tulajdonságai	15
4.5.1. Roskadási terület és területi idő mérése (SF , T_{500})	15
4.5.2. Tölcséres kifolyási idő mérése (T_V)	16
4.5.3. L-dobozos vizsgálat.....	17
4.5.4. Blokkológyűrűs terület és blokkológyűrűs kifolyási idő mérése (SF_J ; T_{500J})	18
4.5.5. Ülepedési hajlam vizsgálata szitán	20
5. A könnyűbeton	21
5.1. A könnyűbeton fogalma	21
5.2. A könnyűbetonok csoportosítása	21
5.2.1. Szemcsehézagos könnyűbetonok	21
5.2.2. Könnyű adalékanyagokos betonok	21
5.2.3. Sejtesített könnyűbetonok	21
5.3. Könnyű adalékanyagokos betonok teherviselése	22
5.4. A könnyű adalékanyagokos betonok adalékanyagai.....	22
5.5. A duzzasztott agyagkavics	23
5.5.1. A duzzasztott agyagkavics előállítás	23
5.5.2. A duzzasztott agyagkavics tulajdonságai	24

6. A könnyű adalékanyagos öntömörödő beton	26
6.1. Tervezési nehézségek LWASCC betonokkal kapcsolatban	27
6.1.1. Öntömörödő betonok tervezése	28
6.1.2. Könnyű adalékanyagos betonok tervezése	29
6.2. Példa könnyű adalékanyagos öntömörödő beton alkalmazására	30
7. Betonszabványok	33
7.1. Az új európai betonszabványról	33
7.2. Öntömörödő betonokkal kapcsolatos szabályozás	34
7.3. Könnyűbetonokkal kapcsolatos szabályozás	36
8. Vizsgálati körülmények	37
9. Vizsgálati eredmények	38
9.1. X-jelű keverék	38
9.2. 3X-jelű keverék	40
9.3. 0-jelű keverék	42
9.4. A-jelű keverék	43
9.5. D-jelű keverék	45
9.6. E-jelű keverék	47
9.7. D2-D4-D6-jelű keverékek	49
9.8. D61-jelű keverék	52
9.9. D62-jelű keverék	53
9.10. D63-jelű keverék	55
9.11. Betonösszetételek, vizsgálati eredmények összefoglalása	57
10.Összefoglalás	59
11.Köszönetnyilvánítás	60
12.Irodalomjegyzék.....	61

1. BEVEZETÉS

Normál betonnak nevezzük azokat a betonokat, melyeket hagyományos alapanyagokból (cement, víz, adalékanyag), hagyományos technológiával (keverés, szállítás, bedolgozás) állítanak elő, és velük szemben csupán általános követelményeket támasztanak, mint a konzisztencia, testsűrűség, nyomószilárdság. Az ettől eltérő betonokat különleges rendeltetésű betonoknak, vagy különleges technológiával készített betonoknak nevezzük. [Balázs, 2007.]

A XX., de még inkább a XXI. század forradalmi újdonságokat hozott a betontechnológia terén. A tervezők mind újabb és újabb igényeket, elvárásokat fogalmaztak meg egy-egy betonnal kapcsolatban, mely a betontechnológusnak nagy fejtörést okozott.

Természetesen egy „receptbeton” már nem elégíthette ki az építőipar minden igényét. Így a betonok kutatása különböző területekre vált szét, annak megfelelően, hogy a beton melyik tulajdonságát igyekeztek kiemelni. Hosszas kísérletek, és próbálkozások eredményeként végül így születtek meg modern-különleges betonok, melyek legelfogadottabb, több esetben átfedést mutató csoportosítása a következő:

- HSC „High Strength Concrete”, azaz: nagy szilárdságú beton
- UHSC „Ultra High Strength Concrete”, azaz: ultra nagy szilárdságú beton
- HPC „High Performance Concrete”, azaz: nagy teljesítőképességű beton
- SCC „Self-Compacting Concrete”, azaz: öntömörödő beton
- FRSCC „Fiber Reinforced Self-Compacting Concrete”, azaz: szálerősítésű öntömörödő beton
- UHPFRC „Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete”, azaz: ultra nagy teljesítőképességű szálerősítésű beton

Ezt a fejlődést látva szükséges, hogy foglalkozzunk a különleges betonokkal és a felhasználásukban rejlő lehetőségekkel, mert csak így tudunk lépést tartani az építőipar és az építőanyagok rohamos fejlődésével, ismeretével.

A különleges betonok családjában kitüntetett helyet foglalnak el az öntömörödő betonok. Ezen betonok legfontosabb tulajdonsága, hogy vibrátoros tömörítés nélkül, önsúlyuktól fogva képesek tömörödni és légtelenedni, kitölteni a zsaluzat minden egyes sarkát szétosztályozódás vagy zárványképződés nélkül, igen jó felületi minőségben.

Az öntömörödő betonok egyik legújabb fajtája a könnyű adalékanyagos öntömörödő beton, (LWASCC „lightweight aggregate self compacting concrete”), mely kiemelkedik az öntömörödő betonok közül kisebb testsűrűségével, jó hőtechnikai paramétereivel. Ezen betonok tulajdonságait, alkalmazási lehetőségeit vizsgálja a dolgozat.

2. A DOLGOZAT CÉLKITŰZÉSEI

Könnyű adalékanyagos betonokkal kapcsolatban már számos vizsgálat készült. Öntömörödő betonokkal kapcsolatban szintén rengeteg vizsgálati anyagot, eredményt találunk. Azonban kettejük ötvözetére, a könnyű adalékanyagos öntömörödő betonokkal kapcsolatban még csak kevesen végeztek vizsgálatokat. Pedig a könnyűbetonokra vonatkozó minden általános szabály csak durva közelítésnek mondható, nagyon fontos, hogy egy-egy anyagra is külön készüljenek vizsgálatok.

A duzzasztott agyagkavics adalékanyagos *öntömörödő* betont a szakirodalomban sok helyen egyáltalán nem említik.

Tanulmányommal és vizsgálataimmal szeretném elősegíteni, hogy megismerjük a különleges betonoknak ezt az új fajtáját, képet kapjunk viselkedéséről, tulajdonságairól, hogy az igényeknek leginkább megfelelő könnyű adalékanyagos öntömörödő betont készíthessünk.

A tanulmány további célja, hogy öntömörödő és könnyűbetonok naprakész szakirodalmát megmertesse, összefoglalja.

Vizsgálataim során igyekszem megtalálni azt a tartományt, melyen belül a beton kielégíti az öntömörödő betonokkal szemben támasztott követelményeket, ugyanakkor könnyűbeton is. Az ennek eleget tevő keveréken az öntömörödő képességgel kapcsolatos jellemzők vizsgálatát helyezem előtérbe, mint a roszakási terület, blokkolódási hajlam, szintbeállási képesség, légtelenedési képesség, de a vizsgálatok közt szerepelnek majd szilárdsági vizsgálatok is, valamint a hasítási vizsgálat a szemcsék betonban történő megfelelő eloszlásának szemrevételezésére.

3. A BETONRÓL

Mielőtt a könnyű adalékanyagok öntömörödő betonok ismertetésére rátérnék, röviden összefoglalom a betonokkal kapcsolatos legfontosabb ismerteket. A dolgozat 3. fejezete tisztázza a beton fogalmát, annak összetevőit, az egyes összetevők szerepét a keverékben.

3.1. A beton fogalma

Általános megfogalmazásban a beton- és vasbetonszerkezetekhez használatos beton olyan mesterséges építőanyag, amely kötőanyag, víz- és adalékanyag keverékéből készül, kezdetben folyós halmazállapotú, majd később kémiai reakciók útján egyetlen, nagy, szilárd kővé alakul, mely vízben oldhatatlan. [Balázs, 2007.]

Professzionális megfogalmazásban, az MSZ 4798-1:2004 szerint a beton nem más, mint cementből, durva és finom adalékanyagból, valamint vízből készített anyag, amely adalékszereket és kiegészítő anyagokat tartalmaz vagy nem tartalmaz, s amelynek tulajdonságai a cement hidratációja révén, a betonösszetételtől, a bedolgozástól és az utókezeléstől függően fejlődnek ki.

Már a beton fogalmában is megtaláljuk annak összetevőit: cement, adalékanyag, víz, valamint igény esetén különböző adalékszerek. A következőkben ezek ismertetése következik.

3.2. A beton összetevői

A beton egy többfázisú anyag, mely egyrészt szilárd alkotókból (finom vagy durva adalékanyag; cement), pórusokból (légpórusok, kapilláris pórusok, gélpórusok) és vízből áll. Ennek ellenére olyan kétfázisú anyagnak tekinthető, melyben az adalékanyag cementhabarcsba ágyazódik.

3.2.1. Kötőanyaga, a cement

A cement hidraulikus kötőanyag, azaz olyan finomra őrölt szervesetlen anyag, amely vízzel összekeverve képlékeny pépet alkot, víz alatt is megköt és szilárdul. Legfontosabb alapanyaga a mészkő, az agyag vagy a márga, melyekből megfelelő előkészítés után, magas hőmérsékleten kiégetve készül a portlandklinker, amit a cementgyártási folyamat során egyéb alkotók és kötőszabályozó hozzáadásával finom porrá őrölnek. (MSZ EN 197-1: 2000)

Ha a cementhez vizet keverünk (legyen az homogén-heterogén-, vagy különleges cement) cementpépet kapunk. A vízre a kötés-szilárdulás és a bedolgozhatóság miatt van szükség. Minél több vizet adagolunk a péphez, annál könnyebben bedolgozható lesz, viszont a feleslegesen hozzáadott víz helyén, a kiszáradás után légpórusok maradnak, amik jelentősen rontják a beton szilárdságát, fagyállóságát, és egyéb tulajdonságait.

A cementpép azután bonyolult fizikai és kémiai folyamatokon megy keresztül, először elveszíti képlékeny állapotát, majd szilárdsága fokozatosan nőni kezd. Ez a szilárdságnövekedés három fázisra osztható: a kötés folyamata addig tart, amíg a cementpép körömmel karcolható; ezt követi a szilárdulás, mely a cementpép 28 napos koráig tart; a 28. nap után bekövetkező szilárdulás, a szilárdságnövekedés utolsó fázisa, az utószilárdulás. A szilárdulás végére a kezdeti cementpép cementkővé alakul át.

3.2.2. Adalékanyag

A beton- és habarcs technológiában adalékanyagnak a természetes és mesterséges eredetű, a természetben aprózódott, vagy iparilag aprított (tört), esetleg granulált szemhalmazokat nevezzük, amelyek a kötőanyagon, a vízben, az adalékszeren kívül a betonok és a habarcsok fő alkotórészei, és összességükben a betonok és habarcsok üregmentes térfogatának legalább 50-60 %-át kitöltik. [Balázs, 2007.]

Az adalékanyag megfelelő kiválasztása különösen fontos a dolgozat fő tárgyát képező LWASCC betonok esetében. Általánosan azt mondhatjuk, hogy megfelelően „gömbölyű” és könnyű, de eléggé teherbíró anyagot kell választanunk.

A beton adalékanyagának maximális szemmérete általában nagyobb, mint 8 mm.

Az adalékanyag kiszáritott állapotban, testsűrűsége szerint lehet nehéz (sugárvédő) adalékanyag ($\rho > 3000 \text{ kg/m}^3$), vagy normál adalékanyag ($2001 \text{ kg/m}^3 < \rho < 3000 \text{ kg/m}^3$), vagy könnyű adalékanyag ($\rho < 2000 \text{ kg/m}^3$).

Nehéz (sugárvédő) adalékanyag a barit (sulypát, eruptív telér kőzet), a magnetit (mánesvasérc), a hematit (vörösvasérc), a limonit (barnavasérc), a fémvas (acélsörét, szabályos alakú, tiszta acélhulladék), a szerpentin (átalakult kőzet).

A normál adalékanyag általában természetes, ritkán mesterséges eredetű. A természetes eredetűek kőzetek, a mesterséges eredetűek ipari hulladékok. Természetes eredetű például a homok, a kavics, és a homokos kavics. Mesterséges eredetű az építőipari bontási törmelék, mint a beton-, tégl-, valamint a beton-tégla töret.

A könnyű adalékanyag ásványi eredetű, halmazsűrűsége kiszáritott és laza állapotban $30\text{-}1200 \text{ kg/m}^3$, anyagát tekintve természetes kőanyag-halmaz, vagy természetes nyersanyagból, ipari melléktermékből, bontott építőanyag törmelékéből előállított szemhalmaz. Természetes, ásványi eredetű: vulkáni tufa, lávasalak, duzzasztott agyagkavics, duzzasztott perlit; természetes, növényi eredetű: fagyapot, faforgács, rizshéj; mesterséges, ipari melléktermék eredetű: kohóhabsalak, granulált kohósalak, pernyekavics, kazánsalak, agloporit; mesterséges, kőolaj eredetű: polisztirol gyöngy; mesterséges, hulladék eredetű: duzzasztott üvegkavics.

A beton és a habarcs adalékanyaga általában többféle szemhalmaz (frakció) keveréke. [BETON, 2003. október]

3.2.3. Víz

A betonozáshoz felhasználandó keverővíz nyerhető vezetékes ivóvíz hálózatról, kútból, vagy forrásból; nem használhatunk azonban gyógyvizet, hévizet, illetve ásványvizet a betonkeverék előállításához.

Ha a víz egyéb helyről származik, minden esetben be kell vizsgálni.

A beton utókezeléséhez az első két napban ugyanazt a vizet kell használnunk, mint amit a beton keveréséhez. A harmadik naptól kezdve már minden olyan vizet használhatunk, melynek nincs szennyvíztartalma, illetve nem tartalmaz kénsavat vagy szénsavat. [Móczár, 2000.]

3.2.4. Adalékszerek

Adalékszernek nevezzük a betonba kis mennyiségben bekevert olyan folyadékot vagy por alakú vegyi készítményt, mely a beton egyes tulajdonságait (fő hatás) kedvezően befolyásolja, míg más tulajdonságait (mellékhatás, járulékos hatás) legfeljebb kismértékben rontja. Kettős hatásúnak nevezzük azt az adalékiszert, mellyel egyszerre két főhatás érhető el.

Napjaink betontechnológiája a korszerű betonadalékszereknek köszönhetően lehetővé teszi az egyre nagyobb teljesítőképességű és élettartamú betonrendszerek megvalósítását. Alkalmazásuk nélkül napjaink korszerű betongyártása elképzelhetetlen.

Az adalékszerek hatásukat kis mennyiségben alkalmazva fejtik ki. Adagolásuk felső határa beton-, és vasbeton szerkezetek esetén a cementtartalomra vetített 5 m%, ha több adalékiszert is alkalmazunk, akkor összesen 6 m%. Feszített vasbeton szerkezetek készítésekor ez a határ 2 m%. Nagyszilárdságú betonba maximum a cementtartalomra vett 7 m%, több adalékiszert alkalmazása esetén 8 m% adalékiszert lehet alkalmazni.

A hatályos, MSZ EN 934-2:2009 hivatkozási számú szabvány az alábbi adalékiszert-típusokat nevesíti:

- képlékenyítő
- folyósító
- stabilizáló
- légbuborékképző
- kötőgyorsító
- szilárdulásgyorsító
- kötőkéstsleltető
- tömítő
- kötőkéstsleltető mellékhatású képlékenyítő
- kötőkéstsleltető mellékhatású folyósító
- kötőgyorsító mellékhatású képlékenyítő
- viszkozitás-módosító.

3.2.5. Betontörténet

Kr. e. 3000-ben, Egyiptomban, a piramishoz szalmával kevert sarat, gipsz-, ill. mészhabarcot használtak a téglák összekötéséhez. Ugyanekkor Kínában már a Nagy Fal építésékor cementszerű anyagot használtak.

Kr. e. 299 – Kr. u. 476 A római utak hossza 8500 km. Pozzolanai cement: összetört téglá; mész; téglapor, vagy vulkáni hamu „rózsaszín homok”. Ezt másként római cementnek is nevezik, és azért használhatták kötőanyagnak a rómaiak laikusként is, mert a cementpor egy Vezúv melletti bányából fejtve eredetileg is tartalmazott alumínium, és szilícium ásványokat, mint a mai mesterségesen előállított cementpor is. Római cementet használtak még az utak mellett többek között a fürdők, a Bazilika, a Colosseum, a Pantheon és vízvezetékek építésére is. A Pantheon egy nagyon konstruktív betonozási technológiával épült, mert a kupola alja/széle vastag normál betonból készült, és a közepe felé haladva egyre vékonyodik a szerkezet, és egyre kisebb sűrűségű betont is alkalmaztak, a kedvezőbb terhelés, ellenállás szerint. (1. ábra)



1. ábra: Pantheon, Róma

Kr. u. 27-ben Pollio Vitruvius építészeti könyvében a beton tulajdonságait is tárgyalja. (A könyvet 1414-ben, egy svájci kolostorban találják meg.)

A középkorban a betont nem alkalmazták, feledésbe merült. Az előbb említett könyvvel fedezik fel ismét a betonban rejlő lehetőségeket.

1793-ben John Smeaton megfigyelte, hogy agyagot tartalmazó mészkő égetésekor keletkező mész víz alatt szilárdul. Korábban azt is megfigyelte, hogy meszet más anyagokkal kombinálva sokkal szilárdabb anyagot kap. Ezen ismereteire hagyatkozva újjáépítette az 1756-ban épült Cornwall-i világítótornyot, Eddystone-ban.

1812-1816 között épült Franciaországban a Souillac-i híd, az első betonhíd. Ennek a hídnak az építése során semmiféle vasalást nem használtak. Az építmény ma is áll. (2. ábra)



2. ábra: Folyami híd a Dordogne felett, Souillac

1822-ig több próbálkozás és szabadalom is született elsősorban angolok, franciák, amerikaiak részéről, többféle cementről, mészről, betonról. Ezek többé-kevésbé ugyanarról szólnak: felfedezték, hogy agyagot és meszet keverve, azt kiégetve víz alatt kötő építőanyagot találtak.

1824-ben Joseph Aspdin angol kőműves szabadalmaztatta az egységesen finomra őrölt portlandcementet, amit a Portland szigeténél fejtett építési kőről nevezett el. Ez az elnevezés a mai napig megmaradt. [wikipedia.org]

A betontechnológia fejlődése azonban – mint a bevezetőben már említettem – nem állt meg ennél a pontnál. Újabb és újabb betonok, betontechnológiák látnak napvilágot, választ adva a szerkezetépítés terén felmerülő összes kérdésre.

A betonok, valamint a betontechnológia fejlődését a Föld minden pontján elismerik. Azok az idők már lejártak, mikor átlagosnál jobb betonokat csupán felhőkarcolókhöz, tengeri létesítményekhez, alkalmaztak. A modern betonok kiváló tulajdonságait kiaknázva manapság a szerkezetépítésben mindenhol teret hódítanak. A monolit elemektől kezdve, a feszített elemeken át, hidak, útpályaelemek gyártásán keresztül, egészen a gátak, duzzasztóművek építéséig.

Egy ismert példa az modern betonok kezdeti használatára a német kasseli egyetem tanárai által tervezett Nieste patakon átívelő gyalogos és kerékpáros híd. A híd 12 m fesztávú, kb. 2.5 m széles, a két szegélyénél 40 cm magas borda helyezkedik el és az bordák közötti lemez 10 cm vastagságú.

Az ausztriai Karintia tartományban, Völkermarkt községben 2009-ben építettek egy 160 m hosszú 14 m széles közúti vasbeton hidat. A híd érdekessége, hogy a fő teherviselő elemei 6 cm falvastagságú, C165/185 szilárdságú vasalt betonból készültek. (3. ábra)



3. ábra: Közúti híd, Völkermarkt, Ausztria

4. AZ ÖNTÖMÖRÖDŐ BETON

A dolgozat negyedik fejezete bemutatja a XXI. századi betontechnológia egyik legnagyobb vívmányát, az 1980-as években, H. Okamura japán professzor által kikísérletezett öntömörödő betont. (4. ábra)



4. ábra: H. Okamura, az öntömörödő beton atyja

4.1. Az öntömörödő beton fogalma

Az öntömörödő betonnal kapcsolatban nem igazán beszélhetünk egységes fogalmi meghatározásról. A kutatók gyakorlatilag önmaguk fogalmazzák meg, mit is tekintenek öntömörödő betonnak. A fogalom-meghatározásokban természetesen javarészt ugyanazokat a tulajdonságokat emelik ki: vibrátoros tömörítést nem igénylő, folyós, jó alakfelvevő képességű beton.

Ouchi szerint az öntömörödő beton olyan speciális beton, amely a zsaluzat minden részébe képes jól betömörödni, egyszerűen csak a saját súlyánál fogva anélkül, hogy vibrátoros tömörítésre lenne szüksége.

Wagner szerint az öntömörödő beton olyan beton, amely kiegészítő tömörítési energia közlése nélkül, a nehézségi erő hatására lassan folyik, légtelenedik, miközben a vasalásnál lévő köztes tereket és a zsaluzatot teljes egészében kitölti. Az öntömörödő betonnál is megengedhető egy maradék pórustérfogat, ugyanúgy, mint a kielégítően tömörített, vibrált beton esetében, valamint egy mesterségesen létrehozott, megnövelt légpórus tartalom, pl. a fagyasztási-olvasztási, illetve fagyasztási-olvasztási só ellenállás megnövelése céljából.

Az ENARC megfogalmazása szerint az a beton öntömörödő, amely a saját súlya alatt képes folyni és kitölteni a zsaluzatot, még a sűrű vasalás jelenlétében is, bármiféle vibrálás nélkül, miközben megtartja a homogenitását (EFNARC, 2002).

Grube és Kordts megfogalmazása alapján az öntömörödő betonok olyan, nagy teljesítőképességű betonok, amelyek különleges teljesítőképessége a friss beton öntömörítési hajlamára vonatkozik. Tapasztalható, hogy ez a tulajdonság az öntömörödő beton esetében — nem úgy, mint a vibrált beton esetében — pl. mintegy 90 percen át fenntartható. Míg a vibrált beton bedolgozása során meglévő tömörítetlenségeket lényeges mértékben ki lehet egyenlíteni az alkalmazott bedolgozás-intenzitással a tömörítés során, ez az öntömörödő beton esetében nem lehetséges.

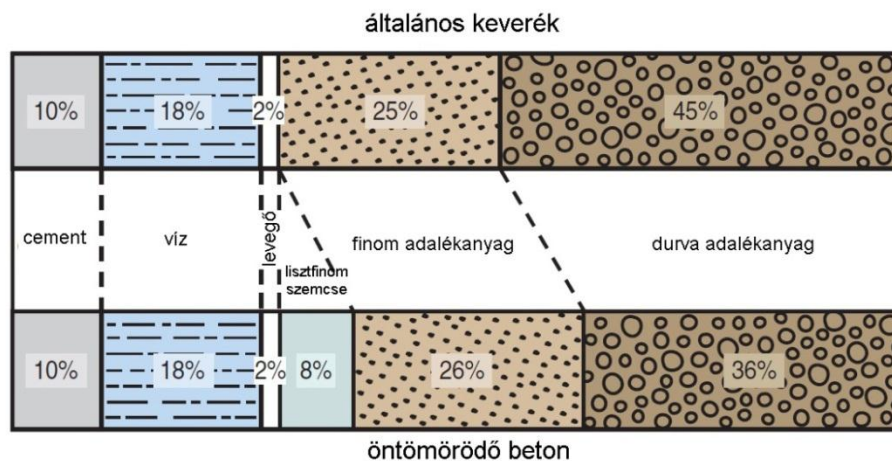
4.2. Az öntömörödés elérésének módszerei

Annak érdekében, hogy beton jó öntömörödő képességgel rendelkezzen, nemcsak arra van szükség, hogy a habarcsép megfelelően mozgékony legyen, csökkenteni kell az adalékanyag szemcsék és a pép közti szétosztályozódás lehetőségét is, amikor a beton a betonacélok közt folyik.

Ennek elérése érdekében egyrészt korlátozni kell az adalékanyag tartalmát, másrészt igen nagy finomrész tartalommal kell a betont készíteni, harmadrészt pedig a friss betont jó alakváltozó képességű kell, hogy legyen.

Az adalékanyag szemcsék összeütközése a betonban belső feszültséget gerjeszt. Ez a belső feszültség csökkenti a beton folyási energiáját, így az blokkolódik, ha valamilyen akadály alakváltozásra kényszeríti. Ha azonban a kavicszemcsék mennyiségét csökkentjük, melyek energiafelemésztése a legnagyobb, csökkenthetjük ezt a blokkolódási hajlamot. A „hiányzó” kavicszemcséket lisztfinom szemekkel pótoljuk. (5. ábra)

A habarcsép megfelelő viszkozitása folyósító szerekkel érhető el. Ha a pép megfelelő folyósságú, az csökkenti a belső feszültséget, így csökkenti a blokkolódást, mert a pép nem áll ellent a közeledő adalékanyag szemcséknek. [Ouchi, 1998.]



5. ábra: Hagyományos és öntömörödő betonok összetétele

4.3. Az öntömörödő beton alkalmazásának előnyei

Az öntömörödő beton alkalmazásának legfontosabb szempontjai:

- nem igényel tömörítést: öntömörödő volta miatt képes tömörítés nélkül kitölteni a zsaluzat minden részét – minden teret, üreget, beleértve a réseket és hézagokat. tömörítése nemcsak szükségtelen, de a termék minőségromlását is eredményezi,
- filigrán elemeknél a kiemelkedő folyási képesség miatt alkalmazható,
- látszóbetonok készítésére alkalmas: folyás közben kilevegőzik, szilárd állapotában pórus-, és fészekmentes, megfelelő zsaluzat esetén alkalmas egyenletes minőségű látszó felületszerkezetek készítésére,
- új típusú formák alkalmazása: könnyebb létrehozás, nem szükséges formavibrátor,
- függőlegesen is készíthetők eleve függőleges elemek, nem lép fel öntés közben szétosztályozódás – nincs szükség nagy öntőasztalokra,
- előregyártott elemek gyártásához kiváló: hibahely nélküli, komplikált elemkehez is alkalmazható,
- kisebb ökolábnyom: építés közben nincs vibrálás, kisebb a zajártalom,
- akár 50%-kal is rövidebb építési idő,
- kevesebb élőmunka miatt költségmegtakarítás.

4.4. Példák öntömörödő beton alkalmazására



6. ábra: Schwimmbad Reinach felújítása
(betonminőség: B40/30 fagy-, és sózásálló beton)



7. ábra: Millenium-torony, Ausztria
(betonminőség: B60/50)



8. ábra: Szabadtéri feszített betontartály, Osaka, Japán
(beton nyomószilárdsága: $f_{cw}=60 \text{ N/mm}^2$)

4.5. Az öntömörödő beton friss állapotú tulajdonságai

Egy öntömörödő betonnal szemben igen sok követelményt támasztunk friss állapotában: homogénnek kell lennie, nem osztályozódhat szét, vibrálás nélkül tömörödnie kell, nem blokkolódhat, és a zsaluzat minden részét ki kell töltenie. Ezeket a követelményeket kielégítendő a betonnak speciális tulajdonságokkal kell rendelkeznie. Megfelelően folyósnak kell lennie, másrészt viszont a cementpépnek elég sűrűnek kell lennie ahhoz, hogy megakadályozza a durva adalékanyag szemcsék lesüllyedését, valamint a keveréknek meg kell őriznie stabilitását.

Ennek érdekében két olyan paramétert kell kézben tartani, amelyek ellentétes hatásúak. A folyóképesség növekedésével növekszik az összetevők szétosztályozódásra irányuló hajlama, azaz a 2,6-2,8 kg/l sűrűségű adalékanyagok lesüllyedésének a veszélye az 1,6-1,9 kg/l sűrűségű cementpépben. Könnyű adalékanyagokos betonoknál ez a veszély nem áll fenn, az adalékanyagok sűrűsége kisebb a cementpépénél.

Az öntömörödő beton sikeres alkalmazása szempontjából döntő jelentőségű az, hogy a beton — amikor a zsaluzatba töltésre kész — optimális bedolgozhatósággal rendelkezzen. Ezt a következő paraméterek határozzák meg: folyóképesség, viszkozitás, blokkolási hajlam, szintbeállítás képessége, légtelenedési képesség és szerkezeti stabilitás. Ezeket a tulajdonságokat vizsgálatokkal kell igazolni. [Zsigovics, 2003.]

Az előbb említett paraméterek vizsgálata az alábbi módokon történik.

4.5.1. Roskadási terület és területi idő mérése (SF, T₅₀₀)

Ezzel a vizsgálattal a beton folyóképességét vizsgáljuk. A vizsgálatot az MSZ EN 12350-2:2009 szabvány szerinti roskadási kúppal, vagy az MSZ EN 12350-8:2010 szerinti csonkakúppal lehet elvégezni. Roskadási kúp alkalmazása esetén a vizsgálati eredményt roskadási területnek nevezzük, csonkakúp alkalmazása esetén kúpterületi értéknek.

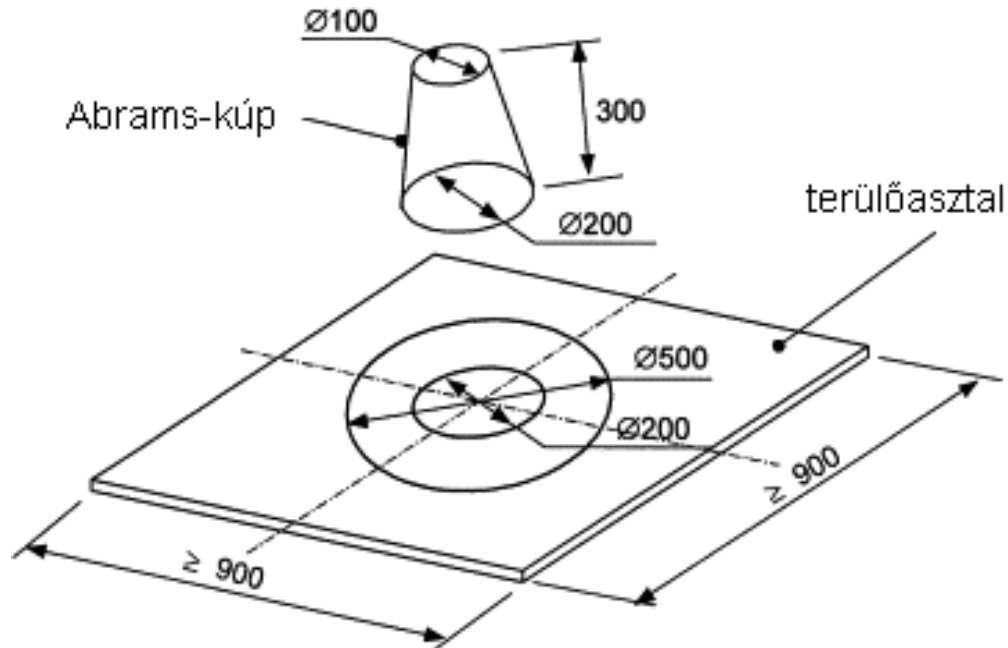
A vizsgálathoz alkalmazott csonkakúpot megfelelően nagy, tiszta, és mattnedves felületű asztalra helyezzük álló helyzetben, nagyobb nyílásával lefelé (asztal min. 900x900 mm), és megtöltjük betonnal. Ezután a formát megemeljük oly módon, hogy a beton a gravitáció hatására szét tudjon folyni. A roskadási terület értékének (SF) a képződő területi lepény átlagos átmérője számít. $(SF = (d_1 + d_2)/2)$ (9.ábra)

A folyási folyamatot ejtegetéssel nem támogatjuk úgy, mint a DIN 1048 szerinti terület meghatározásánál. A roskadási tölcser nagyobb térfogata miatt a területi érték általában 50—100 mm-rel nagyobb, mint ugyanazon beton kúpterületi értéke.

A kívánt átlagos lepényátmérő roskadási területének értéke 650±5 mm.

Az eljárás alkalmazható mind laboratóriumban, mind pedig építéshelyen, így igen kedvelt vizsgálati mód. Egyes országokban a csonkakúp kisebb nyílása mutat lefelé.

Meghatározható ezen kívül az az idő (T_{500}), melyre a szétterülő betonnak ahhoz van szüksége, hogy a csonkakúp megemelése után az 500 mm-es átmérőt elérje.



9. ábra: Roskadási terület vizsgálatának elrendezése

4.5.2. Tölcséres kifolyási idő mérése (T_v)

A vizsgálatot más néven V-tölcséres – V-funnel – vizsgálatnak is nevezik. Ezzel a vizsgálattal a beton viszkozitását, térkitöltő képességét vizsgáljuk. A tölcséres kifolyási időt elsősorban a víz/szárazanyag tényező és a szárazanyag szemmegoszlása befolyásolja. Minél nagyobb a víz/szárazanyag tényező, annál kisebb a tölcséres kifolyási idő, így a beton viszkozitása.

A tölcséres kifolyási időt az MSZ EN 12350-9:2010 szabvány szerint kell meghatározni. A tölcséres kifolyással jellemezhető az öntömörödő beton adalékanyagának legnagyobb szemnagysága, Magyarországon $D_{max} \leq 24$ mm.

A vizsgálat során a beton egy „síktölcsérbe” töltjük, melynek méretei szabványban rögzítettek. 10 másodperc várakozás után a tölcsér alján lévő zárat egy gyors mozdulattal kinyitjuk, elindítjuk a stopperórát, és megmérjük a beton kifolyási idejét (T_v) 0,5 másodpercre kerekítve. (10. ábra)

A betonnak a tölcsérből folyamatosan kell kifolynia, ha a folyás valamilyen okból elakadna, a vizsgálatot meg kell ismételni.

Megfelelő öntömörödő beton esetén kb. 12 másodperces kifolyási időt várhatunk.

4.5.3. L-dobozos vizsgálat

Ezen vizsgálat során vizsgálható a beton önszintezési képessége, valamint blokkolódási hajlama. A vizsgálathoz egy derékszögű „zsaluzatot” alkalmazunk, melynek két szárát tolózár választja el. A két szár között vasalási akadály is be van építve, a betonnak ezt is le kell küzdenie. (11.ábra)

A tartály függőleges szárát megtöltjük betonnal, meg a tolózárát kinyitjuk, így a beton a nehézségi erő hatására a zsaluzat vízszintes szárába folyik át, áttörve az akadályozó vasaláson.

A vizsgálat során a h_1 és h_2 magasságokat a zsaluzat határoló falán kell megmérni. A h_2/h_1 aránynak svéd tapasztalatok alapján nagyobbak kell lennie 0,8-nál öntömörödő beton esetén.



10. ábra: V-tölcséres kifolyási idő mérő



11. ábra: L-doboz

4.5.4. Blokkológyűrűs terület és blokkológyűrűs kifolyási idő mérése (SF_J ; T_{500J})

Az öntömörödő beton vizsgálatai során arra jutottak, hogy igen fontos jelentősége van a beton teljesítőképessége szempontjából a blokkolódásnak is. Blokkolódás felléphet a kavicszemcsék között is, de ezt SCC betonok esetén azzal próbáljuk kiküszöbölni, hogy viszonylag kis szemcseátmérőjű durva adalékanyagot alkalmazunk. A blokkolódás egy másik fajtája az, amikor a beton vasalásba ütközik. Ekkor előfordulhat, hogy a beton durva adalékanyagot rak le, ami megakadályozza a további betonmennyiség folyását.

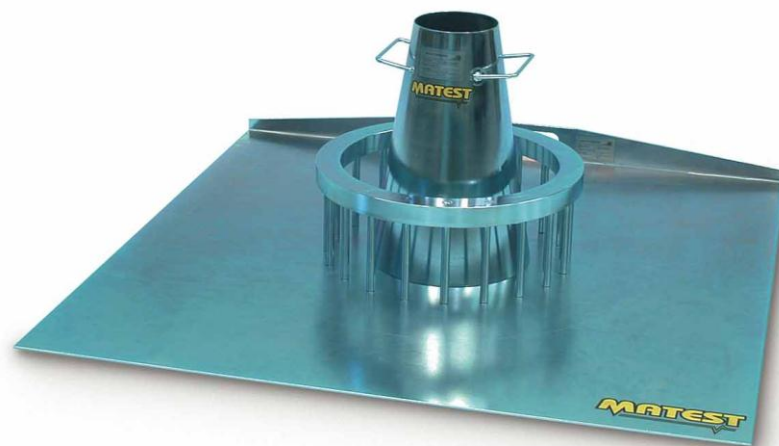
A blokkolódási hajlamot egy Japánban kifejlesztett blokkológyűrűvel – más néven J-ring, vagy fékezőgyűrű – vizsgáljuk. A betonnak át kell folynia az acélbetét armatúrán. (10. ábra)

A vizsgálatot az MSZ EN 12350-12:2010 szabvány alapján kell elvégezni. A beton megengedett legnagyobb szemnagysága $D_{max} \leq 40$ mm.

A vizsgálat során egy mattnedves felületű terület mérő asztal közepére helyezzük a blokkológyűrűt (ami nem más, mint egy kör alakú fésű, acélfogakkal), majd a blokkológyűrűbe állítjuk az MSZ EN 12350-2:2009 szerinti, roskadási területhez használt csonkakúpot állítva, nagyobb nyílásával lefelé. A csonkakúpot megtöltjük betonnal, majd legfeljebb 30 másodperc elteltével a formát megemeljük oly módon, hogy a beton a gravitáció hatására szét tudjon folyni. A beton ekkor átfolyik a blokkológyűrűn. A blokkoló gyűrűs terület értékének (SF_J) a képződő területi lepény átlagos átmérője számít. ($SF_J = (d_1 + d_2)/2$) (12. ábra)

Meghatározható ezen kívül az az idő (T_{500J}), melyre a szétterülő betonnak ahhoz van szüksége, hogy a csonkakúp megemelése után, áttörve a blokkológyűrűn, az 500 mm-es átmérőt elérje.

Az irodalom szerint, ha a blokkológyűrű nélküli roskadási terület (SF), és a blokkológyűrűs terület (SF_J) közti különbség kisebb, mint 50 mm, az öntömörödő beton nem hajlamos blokkolódásra. [Kordts – Breit 2003.]

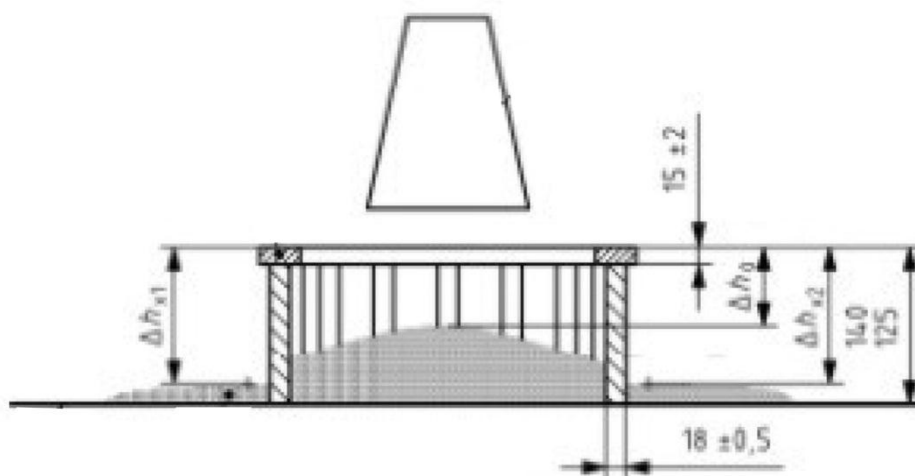


12. ábra: Blokkológyűrűs vizsgálat eszközei

Szintén ezzel a vizsgálattal határozható meg a fékezőgyűrűs átfolyási képesség (PJ). Ennek meghatározásához a beton szétterülését követően a blokkológyűrűre pálcát fektetünk, majd megmérjük 1 mm-es pontossággal a pálca és a szétterült betonlepeny közötti magasság különbséget a blokkológyűrű közepén (Δh_o) és kívül, egymásra merőleges két-két helyen (Δh_{x1} , Δh_{x2} , Δh_{y1} , Δh_{y2}). (13. ábra)

A fékezőgyűrűs átfolyási képesség az alábbi képlettel számítható:

$$PJ = \frac{(\Delta h_{x1} + \Delta h_{x2} + \Delta h_{y1} + \Delta h_{y2})}{4} - \Delta h_o$$



13. ábra: Fékezőgyűrűs átfolyási képesség meghatározása

4.5.5. Ülepedési hajlam vizsgálata szitán (SR)

A vizsgálatot az MSZ EN 12350-11:2010 szabvány szerint kell elvégezni.

A vizsgálat során a friss öntömörödő betonból $10 \pm 0,5$ litert egy 11 literes kiöntő edénybe kell tölteni, és fedővel le kell fedni. Az edénybe helyezett betont 15 percen át pihentetni kell. A várakozási idő letelte után a betont meg kell vizsgálni, hogy felületén víz nem vált-e ki.

Ezután 5 mm lyukbőségű négyzetes szitára kell tölteni a betonból $4,8 \pm 0,2$ kg-ot megszakítás nélkül, folyamatosan 500 mm magasról. 120 ± 5 másodperc elteltével a szitát el kell távolítani, majd megmérni, mennyi beton jutott át a felfogó edénybe.

A vizsgálati eredmény a szitán átfolyt öntömörödő beton tömeg%-a (SR):

$$SR = \frac{m_{ps} - m_p}{m_c} * 100$$

A képletben m_{ps} : a felfogó edény + átjutott anyag tömege; m_p : felfogó edény tömege; m_c : szitába kerülő vizsgálati minta tömege.

5. A KÖNNYŰBETON

A dolgozat ötödik fejezete a könnyűbetonokat mutatja be, - melyeket már nagyon régóta ismerünk,- és használunk, de a XX-XXI. században az építési igények átalakulásával (mind magasabb épületek, egyre nagyobb fesztávú hidak) – még inkább előtérbe került felhasználásuk. A könnyűbetonok bemutatásánál a fő hangsúlyt a duzzasztott agyagkavicsra, valamint a belőle, mint adalékanyagból készült keverékre fektettem.

5.1. A könnyűbeton fogalma

A 2000 kg/m^3 -nél kisebb testsűrűségű beton a pórusképzés rendszerétől függetlenül könnyűbetonnak tekintendő.

5.2. A könnyűbetonok csoportosítása

Előállításuk módja szerint mérnöki gyakorlatban az alábbi csoportokat különböztetjük meg: szemcsehézagos könnyűbetonok, könnyű adalékanyagos betonok, sejtesített könnyűbetonok.

5.2.1. Szemcsehézagos könnyűbetonok

Azok a betonok tartoznak ide, amelyek adalékanyaga 10-20 mm átmérőjű kőzúzalék, és a cementpép az adalékszemcséket csak az érintkezési pontokon ragasztja össze (nagyon telített beton). A szemcsék közötti tér kitöltetlen marad, ezáltal érhető el a betonfal kisebb hővezetési tényezője. Angol neve no fines, mert nem tartalmaz finom részt. Az ilyen betonból készült falakat csak nyomásra szabad igénybe venni.

5.2.2. Könnyű adalékanyagos betonok

A könnyű adalékanyagos betonok azért könnyűek, mert 4.4. pontban leírt könnyű adalékanyagok valamelyikével készítik őket. Adalékanyaga tehát részben vagy egészben nagy porozitású, a kvarckavicsnál illetve a zúzottkőnél könnyebb, szerkezetileg a beton telített vagy túltelített cementkővázssal készül. A szabvány csak a könnyű adalékanyagos betont tekinti könnyűbetonnak.

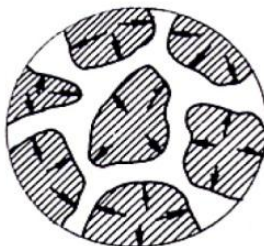
5.2.3. Sejtesített könnyűbetonok

Azok a könnyűbetonok tartoznak ide, amelyeket gáz,- illetve habképzők vagy fölös víz által bevitt pórusok tesznek könnyűvé. Előbbieknél sejtbetonnak, gázbetonnak, pórusbetonnak, utóbbiakat mikroporitnak nevezzük.

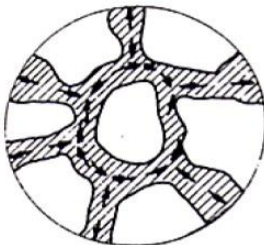
[Balázs, 2007.]

5.3. Könnyű adalékanyagos betonok teherviselése

A teherviselés módja normál és könnyű adalékanyagos betonok esetén alapvetően különböző, így rövid említése szükséges. Normál betonban az adalékanyag szemcsék (kavicsok) merevsége nagy, és ezek a merev szemcsék egy rugalmas habarcsba vannak ágyazva. A terhelés nagy részét az adalékanyag szemcsék veszik fel, de az összekötő habarcs rétegnek kell az erőt közvetítenie az adalékanyag szemcsék között. A könnyűbetonban azonban az adalékanyag összenyomható, a teherviselés itt a habarcsváz feladata. Az adalékanyag szemcsék kis mértékben vesznek részt a teherviselésben (14.ábra). [Nemes, 2006.]



Teherviselési mód kvarckavics adalékanyagos betonok esetén [Romić, Lazić, 1985]



Teherviselési mód hagyományos könnyű-adalékanyagos betonok esetén [Romić, Lazić, 1985]

14. ábra: Teherviselési módok

5.4. Könnyű adalékanyagos betonok adalékanyagai

Könnyű adalékanyagos betonok készítésénél rendkívül sok anyag áll rendelkezésünkre a homok, illetve a kavics frakciók részben-, vagy egészben történő kiváltásához. A 3.2.2. részben már röviden esett szó ezekről az anyagról, tekintsük át azonban ezeket most újra.

A könnyű adalékanyag ásványi eredetű, halmazsűrűsége kiszáritott és laza állapotban $30-1200 \text{ kg/m}^3$, anyagát tekintve természetes kőanyaghalmoz, vagy természetes nyersanyagból, ipari melléktermékből, bontott építőanyag törmelékéből előállított szemhalmoz. A könnyűbeton adalékanyagokkal szemben támasztott követelmények: kis halmazsűrűség (1200 kg/m^3), kis szemcse-testsűrűség (2000 kg/m^3 -

nél kisebb), nyomásállóság, hőszigetelő képesség, mechanikai és vegyi ellenállóképesség, tűzállóság, fagyállóság, alaktartóság. [Nemes, 2006.]

Származás szerint megkülönböztetünk természetes, ásványi eredetű: vulkáni tufa, lávasalak, duzzasztott agyagkavics, duzzasztott perlit; természetes, növényi eredetű: fagyapot, faforgács, rizshéj; mesterséges, ipari melléktermék eredetű: kohóhabsalak, granulált kohósalak, pernyekavics, kazánsalak, agloporit; mesterséges, kőolaj eredetű: polisztirol gyöngy; mesterséges, hulladék eredetű: duzzasztott üvegkavics. Adalékanyag lehet továbbá újrahasznosított könnyűbeton is.

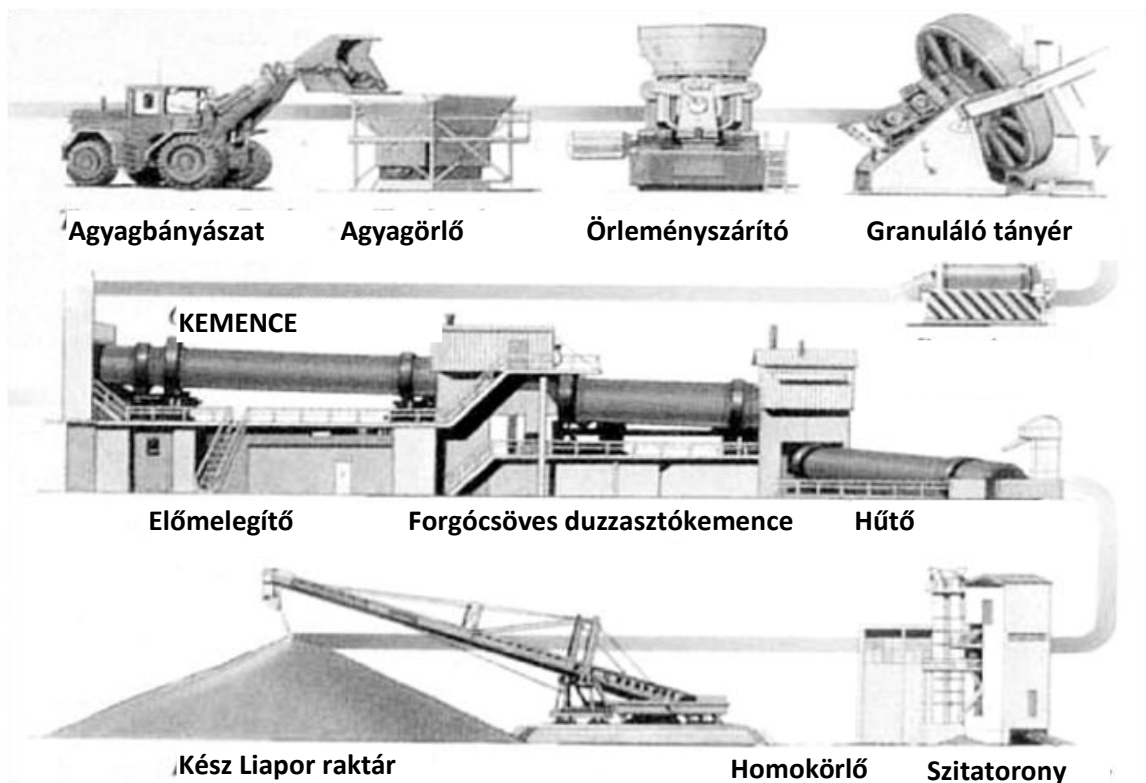
5.5. A duzzasztott agyagkavics

Magyarországon duzzasztott agyagkavicsot nem gyártanak, csupán importból szerezhető be. Leggyakrabban a LIAPOR® duzzasztott agyagkavicsot használják könnyűbeton termékek előállítására, így a dolgozat ezen a terméken keresztül mutatja be az agyagkavicsok gyártását és tulajdonságait.

A duzzasztott agyagkavicssal kapcsolatban fontos megjegyezni, hogy jellemzően 1 mm-nél nagyobb szemméretű.

5.5.1. A duzzasztott agyagkavics előállítása

A Júra földtörténeti korban, kb. 180 millió évvel ezelőtt kialakult üledékes, szerves anyag tartalmú agyagot kibányásszák, majd homogenizálják és apró darabokban a forgó klinkerkemencében 1200 °C hőmérsékleten kiégetik. Itt először az agyagdarabok megszáradnak, majd a külső felület megolvad. A hő befelé haladásával a belső rész szervesanyag tartalma kiég, a keletkező gázok az agyagdarabot felfújják, majd a köpenyt felszakítva távoznak. Így a kihűlt golyó külső kemény klinkeres héjjal és egy pórusos belső szerkezettel rendelkezik. A duzzasztott agyagkavicsot többféle fajsúlyban, többféle szemcsenagyságban, törten, vagy egészben, vagy a kettő keverékében állítják elő (15.ábra). [www.liapor.hu]



15. ábra: A LIAPOR gyártása

5.5.2. A duzzasztott agyagkavics tulajdonságai

A duzzasztott agyaggolyó halmazsűrűsége 300-800 kg/m³, típustól függően. A sűrűségi osztályt pl. LIAPOR agyagkavicsnál a névben az NW (350-390 kg/m³), - ill. a HD (5N) (690-710 kg/m³) jelzi. Az ömlesztett anyag halmazsűrűsége kisebb mértékben függ a szemcsenagyságtól is.

A szemcsék a külső klinkerburkolat és a belső „kitámasztás” valamint a közel gömb alak miatt, nagy szilárdsággal (2-8 N/mm²) rendelkeznek. Ezért nagy szilárdságú vasalt szerkezeti betonok előállítására is alkalmasak (LC 20-55)

A halmazsűrűség függvényében a hőszigetelő képesség fordítottan arányosan változik, jellemezően $\lambda = 0,079-0,8 \text{ W/mK}$ közötti. Ennek megfelelően az ebből az anyagból készült könnyűbeton viszonylag jó hőszigetelő képességű ($\lambda = 0,11-1,2 \text{ W/mK}$)

Mivel az anyagot 1200 °C-on égetik ki, ezért a tűzállósága igen jó.

A kemény klinkerburkolat savállóvá teszi, így pl. az istállókban ideális alapanyag. (A tömény sósav marja.) Szulfátálló cementtel szulfátálló beton készíthető.

A lúgállóság megfelel a klinker bevonatok lúgállóságának.

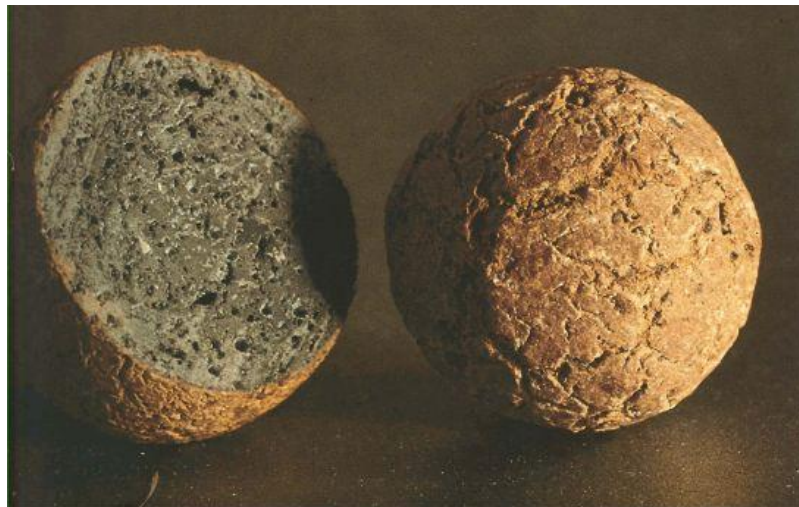
Az agyagkavics maga is fagyálló, és a belőle készült betontermékek is azok.

A duzzasztott agyagkavics termékek és az abból készült betonok a hangcsillapító, hangelnyelő tulajdonságukat nem csak a testtömegükkel érik el, mint azt általában a falazóelemek, betonok teszik, hanem a golyó belső pórusos része is hangelnyelő tulajdonságú. Így a szükséges hangcsillapítás vékonyabb, könnyebb falakkal, födémekkel is elérhető.

Az agyagkavics vízzel szemben viszonylag jól ellenálló, nem korhad, nem penészedik, teljesen szagtalan.

Az agyagkavics napjaink egyik legfontosabb tulajdonságának tekinthető, hogy környezetbarát. A kavicszemcse kizárólag természetben előforduló anyagokból áll, semmiféle műanyagot, vagy egyéb bomló, vagy más egészségkárosító anyagokat nem tartalmaz.

Az agyagkavics megkapta az osztrák környezetvédelmi hivatal "kék angyal" oklevelét (16.ábra). [www.liapor.hu]



16. ábra: Agyagkavics golyó

6. A KÖNNYŰ ADALÉKANYAGOS ÖNTÖMÖRÖDŐ BETON

A normál, az öntömörödő, valamint a könnyű adalékanyagok betonok ismertetését követően a dolgozat 6. fejezete a XXI. századi betontechnológia és szerkezetépítés egyik új vívmányát, a könnyű adalékanyagok öntömörödő betont (angol betűszóval LWASCC a Lightweight Aggregate Self-Compacting Concrete szóból) mutatja be.

Az utóbbi időben Európában a könnyű adalékanyagok öntömörödő beton alkalmazása igencsak elterjedt. Porózus adalékanyagot (főleg duzzasztott agyagkavicsot) használni egy viszonylag nagy nyomószilárdságú betonban meglepő lehet tekintve, hogy a szemcsék szilárdságának milyen fontos szerepe van magának a betonnak a szilárdságában. Azonban egy 40-50 N/mm² nyomószilárdságú beton, melynek testsűrűsége 1800 kg/m³ alatt van már jelentős költségmegtakarítást, és súlymegtakarítást eredményezhet.

Köszönhető lenyűgöző tulajdonságainak, mint a kis térfogatsúly, viszonylag nagy nyomószilárdság jó bedolgozhatósággal és kis zajkibocsátással kombinálva, valamint az élőmunka-igény csökkenése az LWASCC betonokat széles körben alkalmazhatóvá tette az előregyártott elemek gyártástól kezdve, a régi épületek felújításáig, ahol a csekély többletsúly nem elhanyagolható előny.

Az első LWASCC betont 2005-ben alkalmazták Csehországban. Ez a tény lehetővé tette mind a friss, mind pedig a megszilárdult állapotbeli tulajdonságok összehasonlítását a laboratóriumban készített, valamint a helyszíni öntömörödő betonok között. A következtetés az lett, hogy a gyakorlatban igenis van létjogosultsága az LWASCC betonok készítésének, de különös tekintettel kell lennie az összetevők adagolására, valamint a keverésre. [Hubertova, 2010.]

1500-1800 kg/m³ testsűrűségű és 40-50 N/mm² nyomószilárdságú LWASCC betonokat az elmúlt években már több helyen alkalmazták:

- egy XV. századi épület rekonstrukciója: egy háromszintes épület földemeinek kikönnyítése LWASCC betonnal pumpálással, természetesen káros vibrációs hatások nélkül,
- előregyártott elemek: padok készítése az Eden Prague sportcsarnok és multifunkciós központ számára,
- előregyártott elemek: erkélykorlátok készítése egy házigyári technológiával készült ház renoválásához (kis önsúly kitétel volt),
- előregyártott háromdimenziós elemek: garázsok és fürdőszoba-egységek készítése lakásokba és hotelekbe,
- hőszigetelő betonok készítése 1000 kg/m³-nál is kisebb testsűrűségű LWASCC betonból Svájcban.

[Hubertova, 2010.]

A könnyű adalékanyagos öntömörödő betonok alkalmazásának tehát számos előnye van:

- kisebb önsúly,
- új típusú formák alkalmazása: könnyebb létrehozás, nem szükséges formavibrátor,
- függőlegesen is készíthetők eleve függőleges elemek, nem lép fel öntés közben szétosztályozódás – nincs szükség nagy öntőasztalokra,
- a kivitelezésben nagyobb rugalmasság: nagyobb elemek gyárthatók előre a kisebb súly miatt, azonos toronydaru-kapacitás mellett nagyobb elemek mozgathatóak,
- könnyebb szállítás,
- jobb hőszigetelő-képesség,
- jó fagyási-ellenállás (az eleve fagyálló könnyű adalékanyagok alkalmazása miatt),
- jó hőtechnikai tulajdonságok: jó hőszigetelő képesség, kis hővezetési tényező, nagy fajlagos hőkapacitás,
- kisebb ökolábnyom: építés közben nincs vibrálás, kisebb a zajártalom.

Azonban, mint minden új technológiával, anyaggal, így a könnyű adalékanyagos öntömörödő betonnal kapcsolatban is vannak kezdeti nehézségek:

- a megfelelő keverék előállításának nehézsége,
- mechanikai tulajdonságok gyengülése,
- áteresztőképesség romlása, karbonációval szemben tanúsított kisebb ellenállás,
- relatív nagy költségek.

6.1. Tervezési nehézségek LWASCC betonokkal kapcsolatban

A könnyű adalékanyagos öntömörödő betonok tervezése nem egyszerű feladat. Egyrészt eleget kell tennünk az öntömörödő betonok tervezési normáinak, és követelményeinek (nagy finomrész-tartalom, kevesebb durva adalékanyag, alacsony víz-cement tényező ($\sim 0,4-0,5$), folyósító adalékszer, megfelelő szilárdság), ugyanakkor szem előtt kell tartanunk a könnyűbetonok tervezési szabályait is (kis testsűrűség több durva adalékanyag alkalmazásával, aránylag nagy víz-cement tényező ($\sim 0,75-1$)).

A két tervezésben alapvető különbség a tervezési módszerben van. Öntömörödő betonok esetén a térfogatarányos tervezést alkalmazzuk, míg a hagyományos betontervezésben, így a könnyűbetonok tervezésében is a tömegarányos tervezés az irányadó. Tudnunk kell azonban, hogy a normál betonok Bolomey-Palotás-féle tervezése öntömörödő betonok tervezése esetében csak korlátozottan alkalmazható, a könnyűbetonok tervezése pedig ezt csak ökölszabályként használja fel, tervezési módszere nem kiforrott eljárás alapján.

6.1.1. Öntömörödő betonok tervezése

Öntömörödő betonok tervezése esetén a reodinamikus szemléletet követjük. Az öntömörödő beton tervezése nem a hagyományos tömegarányos tervezésen, hanem térfogatarányos tervezésen alapul. A módszert a már említett japán Okamura professzor fejlesztette ki. Alapja egy maximális viszkozitású habarcs, valamint minimális durva adalékanyag-hányad.

A következőkben ismertetem az öntömörödő betonok térfogatarányos tervezésének menetét. A folyamatban $1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$ betontérfogatot „osztunk fel” folyamatosan.

1. lépés: egy adott légpórustartalom elfogadása kb. 20 dm^3 értékkel (marad 980 dm^3)
2. lépés: a 4 mm -nél nagyobb – a durva – adalékanyag szemcsék arányának meghatározása. Ideális érték kb. $30\text{--}35 \%$, esetünkben például 330 dm^3 (marad 650 dm^3)
3. lépés: a megmaradt 650 dm^3 már a beton habarcsa. Térfogatának célszerűen 40% -a 4 mm alatti szemnagyságú. Esetünkben ez 260 dm^3 . (marad 390 dm^3)
4. lépés: a megmaradt 390 dm^3 képezi a pépet. A pép tartalmazza a cementet, a vizet, a homok finomrész tartalmát, valamint a finomrész-pótlást, és nem utolsó sorban – nem elfelejtendő – az adalékszereket. A pép alkotóinak ideális arányát próbakeverésekkel határozzuk meg. A víz-finomrész tényezőt $1,1\text{--}1,4$ közötti értékre igyekszünk beállítani. A kísérletek eredményei alapján beállítjuk a folyósítószer adagolást is. (marad 0 dm^3)
5. lépés: meghatározzuk a végleges összetételt először térfogat, majd tömegarányok alapján

[BASF]

6.1.2. Könnyű adalékanyagok betonok tervezése

Könnyű adalékanyagok betonok összetételének tervezése eltér a hagyományos betonokétól, mert itt nem csak a szilárdság, hanem a testsűrűség is követelmény, valamint nem csak az adalékanyagváza a fő szilárdsághordozó. A következőkben Dr. Balázs György módszerét ismertetem általános könnyű adalékanyagok betonok tervezésére. [Balázs, 2007.]

1. lépés: a felhasznált könnyű adalékanyag tulajdonságainak meghatározása: halmazsűrűség, sűrűség, szemcse-szilárdság
2. lépés: a betontervezés általános képlete (Bolomey-Palotás) használható,

$$f_{c,cube} = a * \left(\frac{1}{r} - b \right)$$

de víz-cement tényező helyett itt víz-levegő-cement tényezővel kell számolni és a kísérleti állandókat képletenként, valamint adalékanyag-fajtánként kell megállapítani. A következő táblázat alapján javasolt felvenni a víz-levegő-cement tényezőt:

	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>v-l-c</i> tényező
Keramzitbeton keramzithomokkal:	410	1,8	2,0-7,0
Keramzitbeton folyami homokkal:	290	1,8	1,3-4,0

$$r = \frac{m_w + m_l}{m_c}$$

(m_w a vízmennyiség, m_a az adalékanyag mennyisége, m_c a cementmennyiség)

3. lépés: r meghatározása (a és b könnyűbetonokra meghatározott kísérleti állandók)

$$\log r = \frac{1}{b} * \log \frac{a}{f_{c,cube}}$$

4. lépés: az abszolút térfogatok alapján meghatározzuk a cement és az adalékanyag mennyiségét (ρ_c a cement sűrűsége, ρ_a az adalékanyag sűrűsége)

$$1000 = \left(\frac{1}{\rho_c} + r \right) * m_c + \frac{1}{\rho_a} * m_a$$

Az egyenlet kétismeretlenes, m_c és m_a közül az egyiket felvesszük, a másik számítható. Meghatározzuk a vízszükségletet is, ami képleteny konzisztencia esetén pl.

$$m_w = 0,2 * m_c + c * m_a$$

5. lépés: meghatározzuk a betonösszetételt tömegarányok alapján

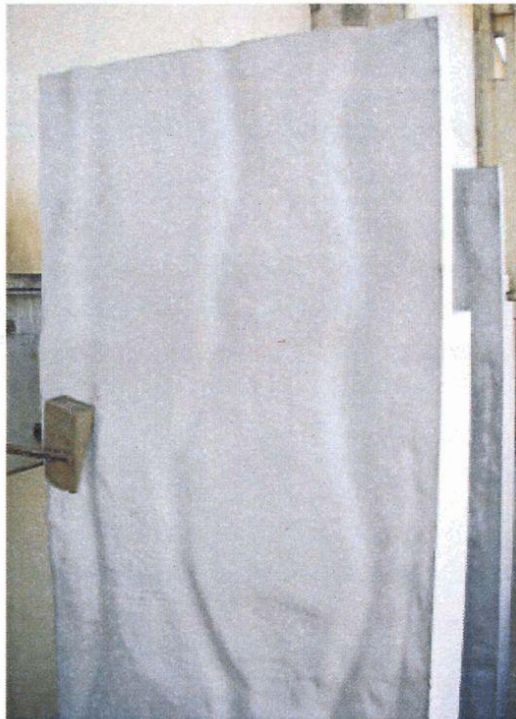
6.2. Példa könnyű adalékanyagos öntömörödő beton alkalmazására

A készház gyártásnál a LIAPOR beton falakat vízszintesen fekvé öntik ki, majd a szilárdulás után billentik az asztalt függőleges helyzetbe. Így, mivel a falvastagság 25-50 cm, a beton szétosztályozódásának a veszélye kicsi, a fal minden egyes magasságban hasonló tulajdonságú lesz.

Ezzel szemben egy 2,8-3,5 m magas zsalu esetén a szétosztályozódás veszélye erőteljesen megnő. Ezt egy esetleges bevibrálás még jobban elősegíti. A könnyű bedolgozhatóság megköveteli a pumpálhatóságot, esetleg még az öntömörödést is (ez nem feltétlenül szükséges).

A beton ugyanakkor megfelelő hőszigeteléssel kell hogy rendelkezzen, hogy a mai kor követelményeinek meg tudjon felelni. Mivel a pumpálhatósághoz és az öntömörödéshez is mészkőliszt kell, ami pedig nehéz és jó hővezető, ezért ennek a hatását is ellensúlyozni kellett. Így LIAPOR-LIAVER (duzzasztott üvegkavics) kevert adalékot használtak, ami viszont drágító tényező volt.

A megoldás először Svájcban született meg, majd Németországban (Infrleichtbeton), illetve egy ehhez hasonló Ausztriában.



17. ábra: LIAPOR-LIAVER adalékanyagos beton faltest [liapor.hu]

A 17. ábrán egy osztrák minta látható, melyet éppen vizsgálnak. Ez mint külső homlokzati elem is megfelelő. Ámbár a külső felület egy zárt betonfelületet mutat, mégis jelentős mennyiségű levegőt tartalmaz, és ezért indokolt lenne a "haufwerksporig" azaz részlegesen hézagtömör elnevezés. A beton testsűrűsége 800 kg/m³.

A beton természetesen fagyálló. Mégis a még jobb tartósság érdekében javasolják a beton hidrofobizálását, függetlenül attól, hogy helyben öntött, vagy gyárban késztermékként gyártott látszóbetonról van szó. Ennek megfelelően a termék páraáteresztése nagyon jó.

Erre a betonra sajnos Ausztriában sincs kötelező érvényű szabvány, csak az ÖNORM EN 1520 tartalmaz ilyen jellegű utalásokat.

Az első házat, amelyet LIAPOR-LIAVER keverékes könnyűbetonból a helyszínen öntöttek látszóbetonként zsaluzatba, Svájcban, az Alpok lábánál építették. Minimalista stílusban, külső belső vakolás nélkül, egy beton, üveg, fa konstrukció. (18. ábra)

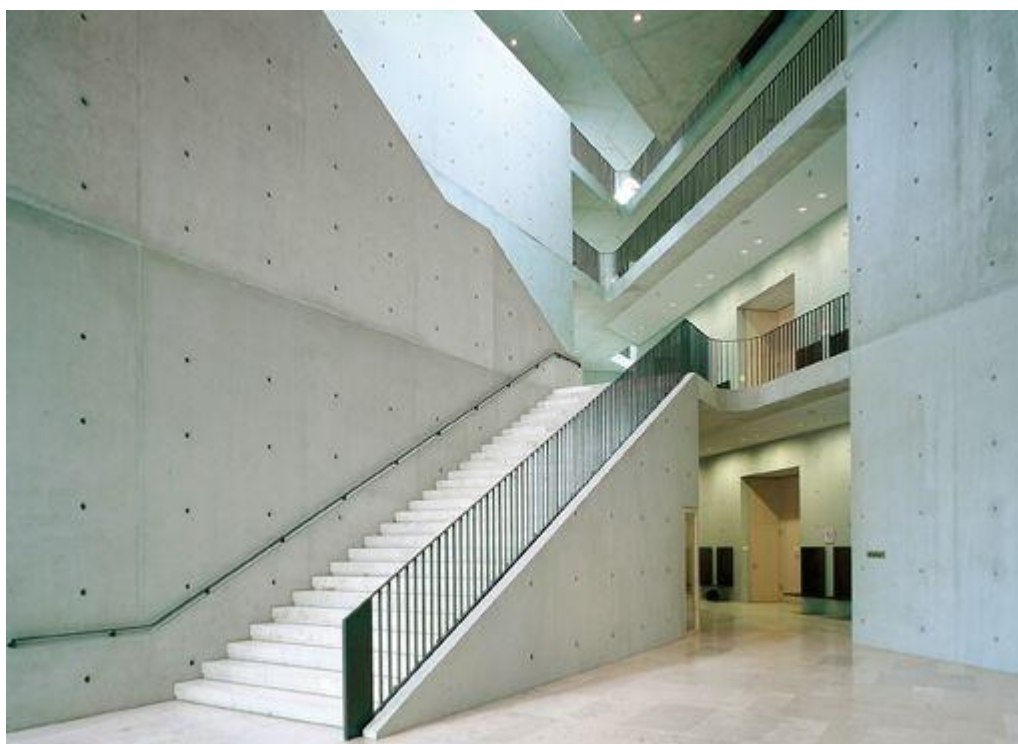


18. ábra: Az első LIAPOR-LIAVER keverékes könnyűbetonból épült ház [liapor.hu]

Hasonlóképpen az irodai nagyobb épületek is sokat megspórolnak a vakoláson, hőszigetelésen, mint pl. az Amtsgericht Frankfurt am Oder (városi bíróság) épülete. (19., 20. ábra)



19. ábra: Amtsgericht Frankfurt am Oder [liapor.hu]



20. ábra: Amtsgericht Frankfurt am Oder [liapor.hu]

[www.liapor.hu]

7. BETONSZABVÁNYOK

7.1. Az új európai betonszabványról

Az új európai betonszabvány közel 20 év alatt készült el. Tervezetét az Európai Szabványügyi Bizottság (CEN) 1981-ben kezdte el kidolgozni, 1985-ben már közzé is tette prEN 206 hivatkozási szám alatt, előszabványként.

Ezzel párhuzamosan, 1979-1981 között készítették a transzportbetonokra vonatkozó, ezek készítéséről és megfelelőségéről szóló prEN 199 szabványtervezetet.

1986-ban úgy határoztak, hogy a prEN 206 és prEN 199 szabványtervezeteket összevonják, a beton tulajdonságait, készítését, bedolgozását, megfelelőségét igazoló közös előszabványt készítenek azzal a céllal, hogy rögzítsék a beton követelményrendszerét, mely harmonizál az Eurocode 2-vel (betonszerkezetek tervezése) és az Eurocode 4-el (együttműködő beton-, és acélszerkezetek tervezése). Az előszabványt ENV 206:1990 jelzet alatt vezették be. Ez az előszabványt váltotta fel 10 évvel később, az EN 206-1:2000, az új európai betonszabvány.

Ez a szabvány hazánkban 2002-ben lépett életbe MSZ EN 206-1:2002 jelzet alatt, majd 2004-ben Nemzeti Alkalmazási Dokumentummal bővült (MSZ 4798-1:2004). A Nemzeti Alkalmazási Dokumentumok leginkább a főszabványt egészítik ki az eltérő éghajlati, földrajzi adottságok, valamint a hagyományok és tapasztalatok figyelembe vételével Európában.

Az új európai betonszabvány (MSZ EN 206-1:2002) érvényre emelésével a régi nemzeti betonszabványokat (MSZ 4719:1982, MSZ 4720-1:1979, MSZ 4720-2:1980, és MSZ 4720-3:1980) folyamatosan visszavonták.

A szabvány a következő, legfontosabb betonfajtákra alkalmazható: normál beton, nehézbeton, könnyűbeton, előfeszített beton, azonban könnyűbetonokra és nehézbetonokra, vagy más, különleges összetételű betonra (pl. bontási hulladékból készített beton) részleteiben nincs kidolgozva, kiegészítésre szorul. Érvénye nem terjed ki többek között cementhabarcsokra, sejtbetonokra, könnyű adalékanyagos, nagy hézagterfogatú betonokra, szálerősítésű betonokra, öntömörödő betonokra. Mindent nemzeti szabványok, vagy műszaki irányelvek kidolgozásával, kiadásával próbálják pótolni.

[Balázs, Kausay, 2005.]

7.2. Öntömörödő betonokkal kapcsolatos szabályozás

A betontechnológia fejlődésével megjelent öntömörödő és önterülő betonok kapcsán igény mutatkozott ezek vizsgálatainak szabványban rögzítésére, ugyanis például a hagyományos konzitenciamérő módszerek (kúproskadás, ejtőasztalos terület, átformálási ütésszám, Vebe-méteres mérés) nem alkalmasak öntömörödő betonok konzisztenciájának mérésére.

A mai magyar betonszabvány az MSZ EN 206-1:2002 számon lett honosítva. Ez az szabvány azonban egészen 2010-ig ezt figyelmen kívül hagyta, nem foglalkozott az SCC betonokkal. Így 2010-ig a „DAfStb-Richtlinie Selbstverdichtener Beton”, röviden „DAfStb-Richtlinie SVB” német műszaki irányelv szerint lehet öntömörödő betonokat készíteni és vizsgálni.

Az öntömörödő betonok szétterülésének, ülepedésének, szétosztályozódási hajlamának vizsgálatára e német műszaki irányelven kívül is dolgoztak ki konzisztencia vizsgálati módszereket: Krüger 1999, Zsigovics 2003.

A 2010-ben érvényre lépett EN 206-9:2010 európai szabványban az öntömörödő betonra fogalmaztak meg az EN 206-1:2000 európai betonszabványhoz tartozó kiegészítő szabályokat. Az európai öntömörödő betonszabványt MSZ EN 206-9:2010 számon honosították hazánkban, és együtt kell kezelni az MSZ EN 206-1:2002 betonszabvánnyal.

A szabványbeli különbség normál beton és SCC beton vizsgálatok közt lényegében csak konzisztencia-vizsgálatok közt van. A többi vizsgálatban (összetevők vizsgálatai, nyomószilárdság, stb.) a betonszabvány az irányadó.

Az MSZ EN 206-9:2010 európai szabványban hat konzisztencia osztály található. Az ezekre vonatkozó vizsgálatokat szintén 2010-ben érvénybe lépett szabvány rögzíti: MSZ EN 12350-8:2010-től az MSZ EN 12350-12:2010-ig.

A konzisztencia osztályokat az 1. táblázat mutatja be.

Roskadási terület		
Osztály jele	Roskadási területi mérték határértéke [mm]	Vizsgálati szabvány
SF1	500-650	MSZ EN 12350-8:2010
SF2	660-750	
SF3	760-850	
Területi idő (az 500 mm-es területi átmérő eléréséhez szükséges idő roskadási terület mérése során)		
Osztály jele	t ₅₀₀ területi idő mértékének határértéke [s]	Vizsgálati szabvány
VS1	< 2	MSZ EN 12350-8:2010
VS2	> 2	
Tölcséres kifolyási idő		
Osztály jele	t _v területi idő mértékének határértéke [s]	Vizsgálati szabvány
VF1	< 9	MSZ EN 12350-9:2010
VF2	9-25	
L-szekrényes átfolyási képesség		
Osztály jele	L-szekrényes átfolyási képesség arányszámának határértéke [-]	Vizsgálati szabvány
PL1	> 0,8 két fékező acélrúd alkalmazásával	MSZ EN 12350-10:2010
PL2	> 0,8 három fékező acélrúd alkalmazásával	
Fékező gyűrűs átfolyási képesség		
Osztály jele	Betonlepeny belső és külső magassága különbségének határértéke [mm]	Vizsgálati szabvány
PJ1	< 10 tizenkét fékező acélrúd alkalmazásával	MSZ EN 12350-12:2010
PJ2	< 10 tizenhat fékező acélrúd alkalmazásával	
Ülepedési (szétosztályozódási) hajlam vizsgálata szitán		
Osztály jele	Szitán átfolyt anyag mennyiségének határértéke [tömeg%]	Vizsgálati szabvány
SR1	< 20	MSZ EN 12350-11:2010
SR2	< 15	

1. táblázat: Öntömörödő beton konzisztencia osztályai

[Kausay, 2011.]

7.3. Könnyűbetonokkal kapcsolatos szabályozás

A szerkezeti könnyűbetonokra általában a betonokkal foglalkozó szabványok, illetve azok kiegészítései, nemzeti szabványok, műszaki irányelvek érvényesek, ha léteznek. Hazánkban a betonszabvány érvényes a könnyűbetonokra is.

A szabályozás mára egész Európában egységes. A készítéssel és minősítéssel az MSZ 4798-1:2004, a méretezéssel az EN 1992-1-4 (általános nevén Eurocode 2), adalékanyagaival pedig az EN 13055-1, illetve az ez alapján készített nemzeti szabványok foglalkoznak.

[Nemes, 2006.]

8. VIZSGÁLATI KÖRÜLMÉNYEK

Kutatási munkám fő célja a könnyű adalékanyagos öntömörödő betonokkal kapcsolatos eddigi ismeretek összefoglalása, rendszerezése, a kapcsolódó szabályozás bemutatása volt. Ezt kiegészítendő igyekeztem továbbá olyan, kísérleti úton meghatározott, duzzasztott agyagkavicssal készített betonkeverékre is javaslatot tenni, amik együttesen elégítik ki a könnyű,- valamint az öntömörödő betonra vonatkozó követelményeket.

A vizsgálatokban homokot, homokos kavicsot, valamint LIAPOR duzzasztott agyagkavicsot használtam adalékanyagként.

A homok frakciót (0-4 mm) két frakcióra választottam szét: 0-1 mm-esre és 1-4 mm-esre. A szétválasztás oka a dolgozatban már említett technikai tényen alapul, miszerint 1 mm szemcseméret alatt LIAPOR-t nem forgalmaznak, azonban, a 0-1 mm frakció nem hagyható ki emiatt (a megfelelő öntömörödést biztosítani kell), így hagyományos formában kerül a betonba.

A keverékek megtervezésénél egyszerre próbáltam szem előtt tartani a már említett tervezési elveket: kellően sok finomrész az öntömörödő képesség eléréséhez, mindemellett megfelelő mennyiségű könnyű – durva – adalékanyag a testsűrűség csökkentése miatt.

A keverékeket kis mennyiségben (~1-2 dm³) állítottam elő. Mivel a betonok esetében $D_{MAX} < 8$ mm, így a betont habarcskeverőben kevertem az alábbi ütemezésben: 2 min száraz keverés $D < 1$ mm alkotókkal, 1 min száraz keverés az összes alkotóval, 1 min nedves keverés a víz hozzáadása után, 3 perc nedves keverés a folyósító hozzáadása után.

A frissbeton konzisztenciáját a kis kísérleti mennyiség miatt a szabványos konzisztencia-mérő eszközökkel nem lehetett vizsgálni, így a habarcsok konzisztencia-mérése alkalmazott habarcsterülő kúppal és asztalon mértem. Mivel több keverék esetében már a keverés során nyilvánvalóvá vált, hogy nem öntömörödő betont kaptam, így ezeken a keveréken roskadási próbát nem végeztem. Az eredmények ismertetése szempontjából fontos adat, hogy a roskadási kúp alsó átmérője 10 cm.

Minden betonkeverékből 70*70*70 mm-es próbakockát készítettem, melyeken kizsaluzás után vizuálisan megállapítható, hogy a beton megfelelően térkitöltő-e (öntömörödő), képződtek-e zárványok, fészkek, illetve milyen az adalékanyag és a cementpép egymáshoz való viszonya. A kockákat később elhasítottam a szemcsemegoszlás megállapítása céljából.

Minden keverék friss állapotú testsűrűségét is megmértem.

9. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK

Az elkészített próbakeverékeket egyedileg vizsgáltam, értékeltem testsűrűség, területi jellemzők, és szemcsemegoszlás alapján. A dolgozat 9. fejezete ezeket az eredményeket mutatja be.

9.1. X-jelű keverék

A vizsgálati sorozat ezzel a keverékkel kezdődött. Térfogatarányos tervezés alapján állapítottam meg a betonösszetételt. Már a keverés közben megállapítást nyert, hogy a keverék mozgékonyága nem kielégítő.

A friss beton nem terült.

A 17.ábrán látszik, hogy a keverék „nem terült”. Átmérője megegyezett a csonkakúp átmérőjével. A beton nem öntömörödő, ha megpróbálnánk hagyományos konzisztencia osztályokba sorolni, akkor is - a régi terminológia alapján – csak „földnedves” vagy „alig földnedves” minősítést kaphatna. (21. ábra)



21. ábra: Az X-jelű keverék terülése

A keverékből készített próbakockán kiszaluzás után zárványok láthatóak. Egyértelmű tehát, hogy a beton nem tudott tömörödni, nem volt képes kitölteni a zsaluzat egészét vibrálás nélkül. Ezek alapján kimondható, hogy az X-jelű keverék nem öntömörödő beton. (22.ábra)



22. ábra: Az X-jelű keverékből készült próbakocka

Egy próbakockát elhasítottam az egyenletes szemcseeloszlás megítélésének céljából. Látható, hogy a LIAPOR szemcsék nem egyenletesen helyezkednek el a betonban, valamint mennyiségük is nyilvánvalóan kevés. (23.ábra)

A frissbeton testsűrűsége 2192 kg/m^3 volt, tehát a könnyűbeton fogalmát nem elégíti ki.



23. ábra: Az X-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe

9.2. 3X-jelű keverék

A 3X-jelű betonkeverék az X-jelű keverékhez hasonló, a különbség csupán annyi, hogy a folyósító mennyiségét 2%-ról 4%-ra emeltem az X-keveréken tapasztalt konzisztencia-problémák miatt.

A keverék konzisztenciája a többlet folyósító adalékszer hatására nagyban javul, a betonkeverék területe 23 cm. Az öntömörödő betonokra jellemző pezsgés, mézes jelleg is tapasztalható. (24.ábra)



24 .ábra: A 3X-jelű keverék területe

Hasonlóan az X-jelű keverékhez, itt is készült kocka próbatest, melynek zsáuzása után látható a megfelelő térkitöltés, a vibráció nélkül is kielégítő tömörödés, a tetszetős, sima felület fészkek, zárványok nélkül. (25.ábra)

Mivel az összetételben csupán a folyósító adalékszer mennyiségét változtattam, így hasítás után a 3X-jelű próbakockáról is az alábbiak figyelhetők meg: nem egyenletes szemcseeloszlás: a könnyű adalékanyag szemcsék a kocka alján találhatóak, valamint szemmel látható, hogy mennyiségük kevés az összmennyiséghez képest. A frissbeton testsűrűsége 2157 kg/m³ volt, a keverék nem könnyűbeton, viszont a vizuális észlelés alapján kielégítő öntömörödő beton könnyű adalékanyaggal. (26.ábra)



25. ábra: A 3X-jelű keverékből készült próbakocka



26. ábra: A 3X-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe

9.3. 0-jelű keverék

Mivel az első két keverék (X és 3X jelűek) a könnyű adalékanyag alkalmazása ellenére sem lettek könnyűbetonok, úgy döntöttem, „0”-jelű, standard keveréket készítek, hogy az esetleges tervezési pontatlanságokat megállapíthassam. Ez a keverék nem tartalmaz LIAPOR-t, általános öntömörödő beton.



27. ábra: A 0-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe

A hasítás után egyenletes szemcsemegoszlás látható (27. ábra). A beton friss állapotú testsűrűsége 2402 kg/m³ volt. A beton a számított és tényleges testsűrűsége közötti eltérés elhanyagolható, a tervezésben tehát nem volt hiba.

9.4. A-jelű keverék

A 3X-jelű betont alapul véve alakítottam ki az A-jelű keveréket. A 4-8 mm átmérőjű duzzasztott agyagkavics mennyiségét megemelttem, a 1-4 mm-es homokfrakciót pedig kivettem a keverékből. Ennek eredményeként csökken a finom rész aránya a betonban, öntömörödő képessége leromlott, viszont a keverék könnyűbeton lett. Testsűrűsége 1860 kg/m³.

A 28. ábrán látható próbakockán látszik, hogy a térkitöltés nem megfelelő, több helyen zárványok képződtek.

A hasítás után látszott, hogy a könnyű adalékanyag mennyisége még mindig nem kielégítő, valamint a LIAPOR a kocka tetejére úszott fel. (29., 30. ábra)



28. ábra: Az A-jelű keverékből készült próbakocka



29. ábra: Az A-jelű keverékből készült próbakocka hassításképe



30. ábra: Az A-jelű keverékből készült próbakocka vágásfelülete

9.5. D-jelű keverék

A kísérletben az eddigi legjobb eredményt a D-jelű keverék hozta. Az egyetlen változás az A-jelűhöz képest, hogy az 1-4 mm-es homokfrakciót pótoltam, és kihagytam a keverékből a 4-8 mm-es kavicsfrakciót. Így a testsűrűség csökkent, a bedolgozhatóság javult. (31., 32. ábra)

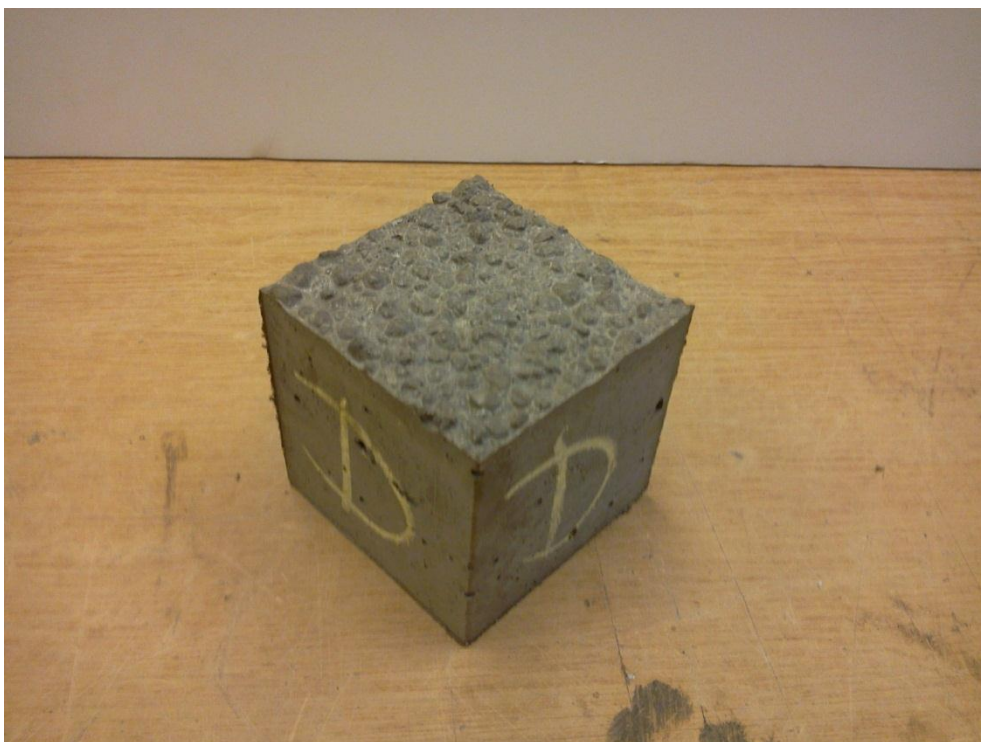
Könnyű adalékanyagos, öntömörödő betont kaptam. A konzisztenciája ugyan még finomításokra szorul, de a további kísérletek alapját az a betonrecept képezte.

A hasított felületen egyenletes szemcsemegoszlás látható. (33. ábra)

A beton friss testsűrűsége 1799 kg/m³ volt. Úgy gondoltam, ez az eredmény még fokozható lenne több könnyű adalékanyag adagolásával, a későbbiekben ezen elv alapján készült el az E-jelű keverék. (8.6. fejezet)



31. ábra: A D-jelű keverék összetevői



32. ábra: A D-jelű keverékből készült próbakocka



33. ábra: A D-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe

9.6. E-jelű keverék

A D-jelű keverék ismertetésénél már említésre került, hogy feltevésem szerint több LIAPOR-ral is lehetne próbálkozni, egy még könnyebb beton elérésnek érdekében. Az E-jelű keverék így 2x-3x több könnyű adalékanyagot tartalmaz, mint az eddigiek. Ennek hatása jól látható mind a konzisztencián, mind a testsűrűsége. A beton konzisztenciája nagyon leromlott - visszautalva az X-jelű keverékre – az E-jelű is „alig földnedves” lehetett. (34. ábra)

Testsűrűsége jelentősen csökkent: 1122 kg/m³.

A hasított felületen jól látható a LIAPOR szemek nagy aránya. (35. ábra)

Az E-jelű keverék tehát egy nem öntömörödő, de könnyűbeton keverék lett. Látható, hogy a túlzott durva-adalékanyag adagolás lerontja a beton speciális teljesítőképességét – öntömörödő hajlamát.



34. ábra: Az E-jelű keverékből készült próbakocka



35. ábra: Az E-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe

9.7. D2-D4-D6-jelű keverékek

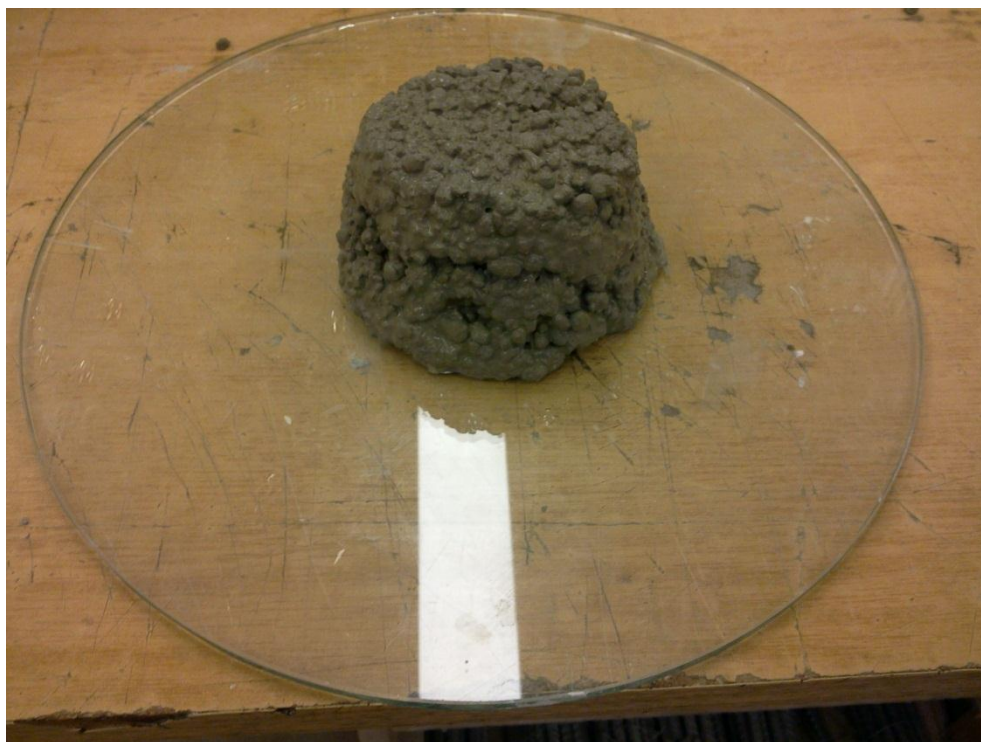
Mivel a D-jelű keverék már egy stabil kiindulási alapját képezte a további kísérleteknek, így ehhez a keverékhez „tértem vissza”, ennek finomítását tűztem ki célul.

Ismét elkészítettem a D-jelű keveréket, mely eredetileg 4% folyósító adalékszeret tartalmazott, de ebben a kísérleti sorozatban 2%, 4%, majd 6% folyósító adalékszer hozzáadásával vizsgáltam a keveréket, míg a többi alkotóelem aránya változatlan maradt.

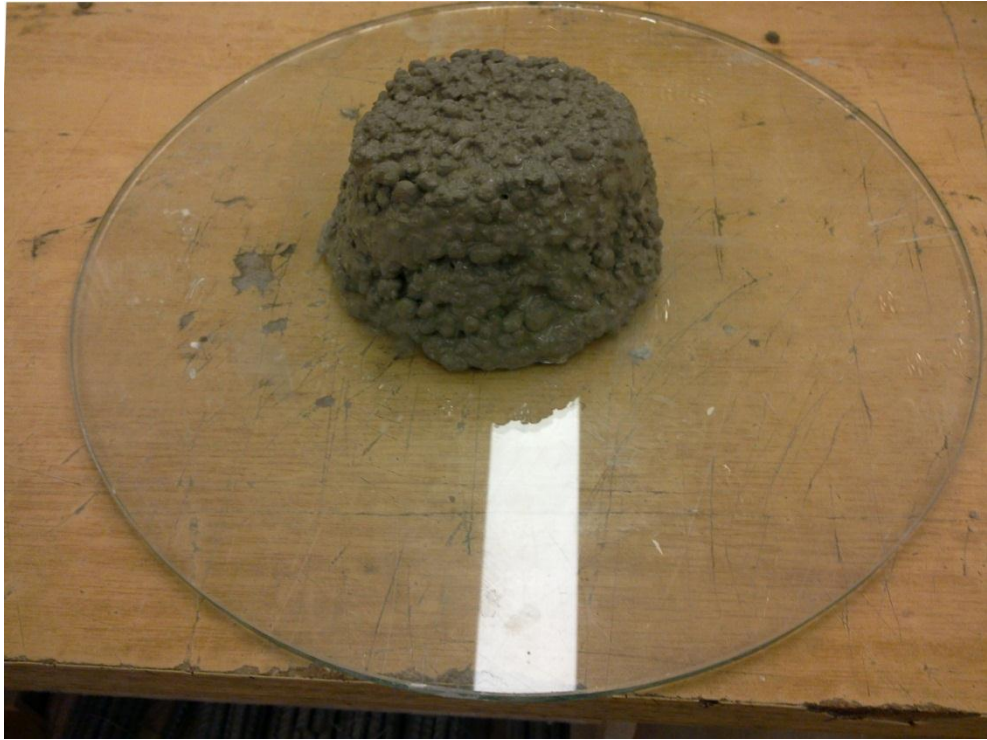
2% folyósítóval (D2-jelű keverék) a keverék nem mozog, nincs mérhető területe. Testsűrűsége friss állapotban: 1796 kg/m³ (36. ábra).

4% folyósítóval (D4-jelű keverék) a beton nagyon enyhe mozgást mutat. Területe 10,65 cm. A keverék jobb, mint a D2-s beton. Friss állapotú testsűrűsége 1803 kg/m³ volt (37. ábra).

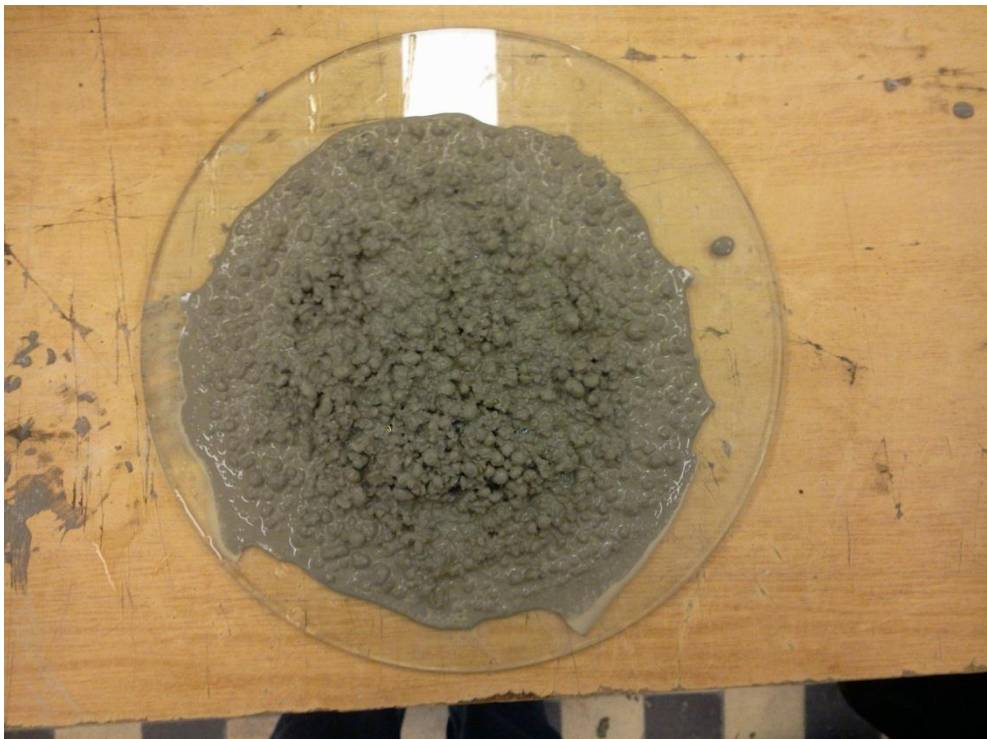
6% folyósító hozzáadása után (D6-jelű keverék) a vizuális észlelés alapján öntömörödő beton jön létre. A területi vizsgálat elvégzése után azonban látható, hogy a beton kis mértékben kivérzik, azonban ennél is nagyobb probléma a szemcsék önmaguktól való torlódása. A keverék maga meglehetősen ragadós (a kúpforma is nehezen emelhető fel róla). Testsűrűsége 1808 kg/m³ volt (38., 39. ábra).



36. ábra: A D2-jelű keverék területe



37. ábra: A D4-jelű keverék területe



38. ábra: A D6-jelű keverék területe



39. ábra: A D6-jelű keverék területe

A kísérleteket a D6-jelű keverék finomításával folytattam.

9.8. D61-jelű keverék

A D6-jelű keveréknél szemcsetorlódás, valamint kis vérzés volt tapasztalható. Ennek okát abban találtam, hogy a keverékben nem elég nagy a finomrész-hányad. A D61-jelű keverékben a durva adalékanyag arányát lecsökkentve, növeltem a finomrész-arányt a keverékben.

A beton területe 14,65 cm volt, ovális alakban terült.

Friss állapotban mért testsűrűsége 1901 kg/m³.

A többlet finomrész-adagolás tehát rontotta a beton konzisztenciáját.

A keverékből készített próbakocka hasítása után szemrevételezéssel az állapítható meg, hogy a durva LIAPOR szemcsék a kocka alján helyezkednek el (40. ábra).



40. ábra: A D61-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe

9.9. D62-jelű keverék

A D61-jelű keverék konzisztenciája a megnövel finomrész-tartalom hatására leromlott. A D62-es keverék tervezése közben arra a következtetésre jutottam, hogy ez a konzisztencia-romlás a fajlagos felület megnövekedése miatt következhetett be. A D62-es keverékben ennek eredményeként csak a keverővíz mennyiségét változtattam meg: 175 l/m³-ről 190 l/m³-re emeltem.

A keverék konzisztenciája egyértelműen javult. Vizuális észlelés alapján öntömörödő beton jött létre. Kör alakban terült, területe 25,5 cm volt (41. ábra).

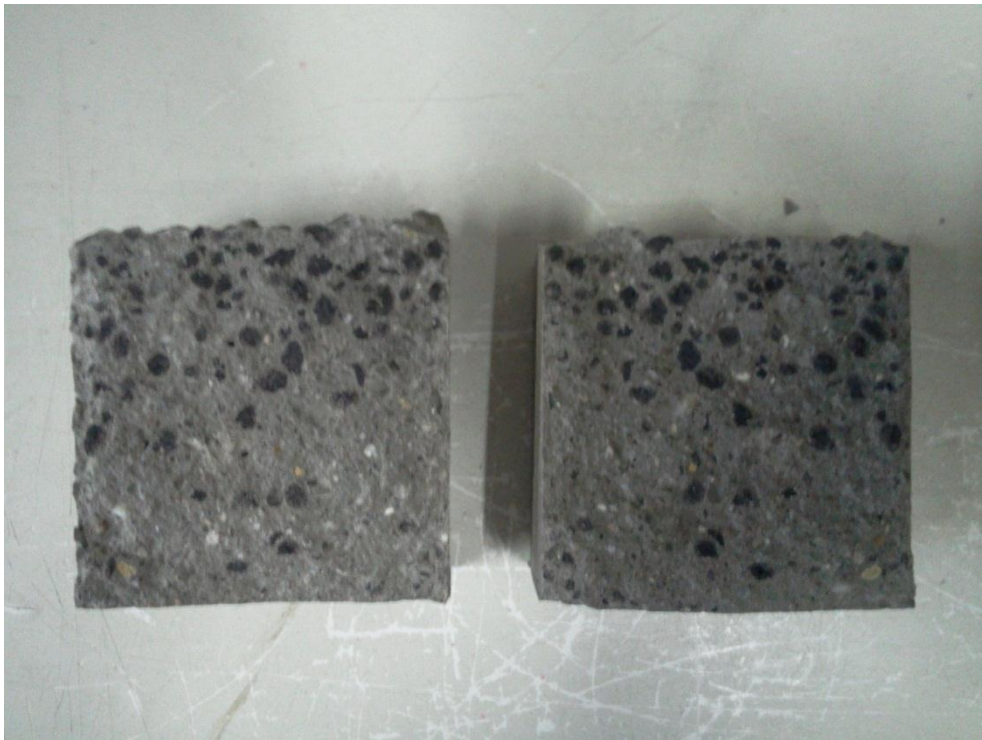


41. ábra: A D62-jelű keverék területe

Testsűrűsége friss állapotban 1980 kg/m³ volt.

A próbakocka hasítása után jól látható, hogy a keverékben a LIAPOR szemcsék felúsztak a kocka tetejére – a szemcsemegoszlás nem egyenletes. Az ok feltehetően a nagyobb finomrész arány: a sűrűbb finomrész kiszorította a könnyebb adalékanyagot a keverékből, így az felúszott (42. ábra).

A keverékből készített kocka felületi minősége megfelelő: zárványoktól, fészkektől mentes, felülete sima (43. ábra).



42. ábra: A D62-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe



43. ábra: A D62-jelű keverékből készült próbakocka

9.10. D63-jelű keverék

A vizgálatsorozat utolsó keveréke a D63-jelű keverék. A D62-jelű keverékhez képest a változás az, hogy a 0-1 mm-es homokfrakciót szitálással nyert LIAPOR adalékanyagra cseréltem a testsűrűség csökkenésének érdekében.

Az említett frakció cseréje a testsűrűségben csökkenést eredményezett a várt módon, a keverék friss állapotú testsűrűsége 1848 kg/m³ volt.

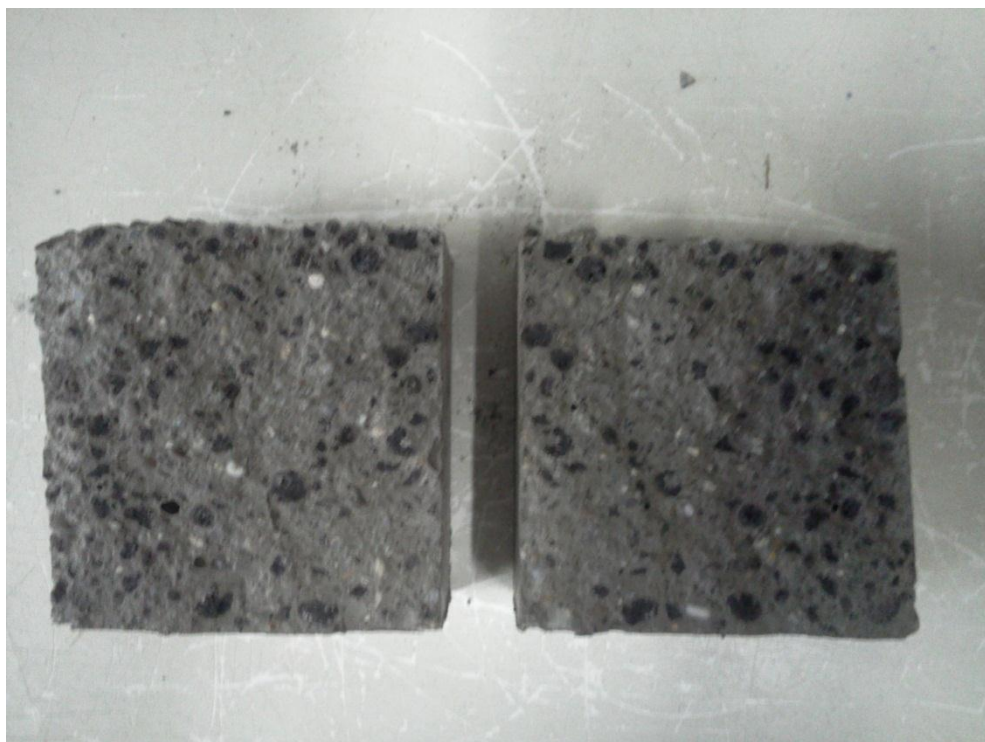
A beton konzisztenciája azonban leromlott, területé 17,7 cm volt (44. ábra).



44. ábra: A D63-jelű keverék területe

Hasítás után látható, hogy a keverékben a szemcsemegoszlás nem egyenletes (45. ábra).

A felületi minőség is romlott az előző (D62-jelű) próbakocka felületéhez képest. Zárványok láthatóak a D63-jelű próbakockán (46. ábra).



45. ábra: A D63-jelű keverékből készült próbakocka hasításképe



46. ábra: A D63-jelű keverékből készült próbakocka

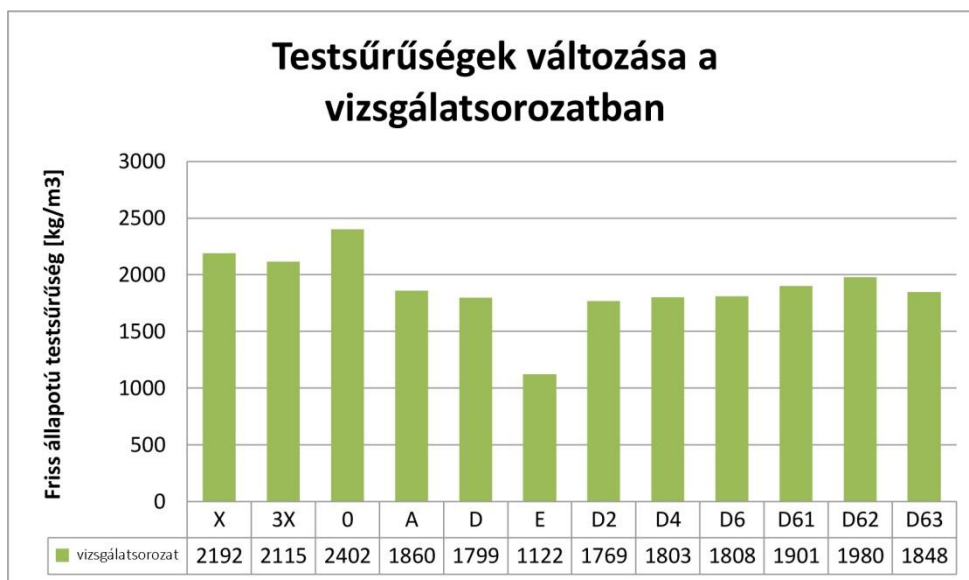
9.11. Betonösszetételek, vizsgálati eredmények összefoglalása

Keverék jele:	X	3X	O	A	D	E	D2	D4	D6	D61	D62	D63
Keverés időpontja:	2012.11.09	2012.11.09	2012.11.12	2012.11.14	2012.11.14	2012.11.14	2012.11.22	2012.11.22	2012.11.22	2012.11.26	2012.11.26	2012.11.26
Alkotóanyagok:	sűrűség (kg/dm ³)	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³
CEM I 42,5 R	3,125	350	350	296,9	397,8	296,9	397,8	397,8	397,8	460,625	460,625	460,625
mészkelet	2,7	272,7	272,7	229,5	307,5	229,5	307,5	307,5	307,5	343,844	361,8	343,844
víz	1	180	180	155	227,8	170	227,8	227,8	227,8	234,5	254,6	254,6
OH 0-1	2,625	464,6	464,6	131,3	175,9	131,3	175,9	175,9	175,9	175,875	175,875	0
OH 1-4	2,625	135,2	135,2	540,8	351,8	262,5	351,8	351,8	351,8	351,75	351,75	351,75
OK 4-8	2,65	137,8	137,8	548,5	0	0	0	0	0	0	0	0
LIA 0-1	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
LIA 1-4	1,5	63,6	63,6	41,2	55,2	150	55,2	55,2	55,2	60,3	60,3	60,3
LIA 4-8	1,5	70,5	70,5	182	243,9	600	243,9	243,9	243,9	180,9	180,9	180,9
levegő	0,001	0,020	0,020	0,015	0,020	0,015	0,020	0,020	0,015	0,0201	0,0201	0,0201
folyósító	1	2	4	4	6,0	4	2,0	4,0	6,0	8,04	8,04	8,04
		1676,42	2342,32	1304,915	1766,0	1844,215	1761,9761	1763,9761	1765,971	1815,8541	1853,9101	1760,5791
Terülés [cm]:	10	23					10	10,65	22,25	14,65	25,5	17,7
Friss állapotú testsűrűség [kg/m ³]:		2192	2115	1860	1799	1122	1769	1803	1808	1901	1980	1848
Szemrevételezéssel megállapítható tulajdonságok:	nem terül, zsugorodás után zárva, kevés könnyű adalékanyag	terülés, megfelelő, öntömörödő, szemmegoszlás nem egyenletes	terülés, megfelelő, szemmegoszlás egyenletes	nem megfelelő, terülés, tértöltés nem megfelelő, könnyű adalékanyag felosztott	megfelelő, terülés, megfelelő, tértöltés, egyenletes szemmegoszlás	nem terül, nem öntömörödő	nem terül	enyhe mozgást mutat terülés során	megfelelő, terülés, öntömörödő-jellegű, de önállóan	terülése kicsi, nem egyenletes, könnyű adalékanyag a kocka aljára szorult	megfelelő, terülés, öntömörödő, megfelelő, terülés, tértöltés, nem egyenletes szemmegoszlás	terülése kicsi, nem öntömörödő, nem egyenletes szemmegoszlás

2. táblázat: Betonösszetételek, vizsgálati eredmények

A 2. táblázatból az alábbi eredmények láthatóak:

- 13 keverék készült a vizsgálsorozat alatt,
- 10 keverék esetén teljesült a 2000 kg/m³ alatti testsűrűség, a betonok könnyűbetonok voltak,
- 3 keverék esetén teljesült az öntömörödő jelleg biztosítása,
- 2 keverék esetén mindkét feltétel egyszerre teljesült: a beton könnyű és öntömörödő is volt,
- a kísérletsorozat legjobban teljesítő betonja a D62-jelű keverék volt (9.9 fejezet).



1. diagram: Testsűrűségek változása a vizsgálsorozatban

A vizsgálsorozatban a testsűrűségek változását mutatja be az 1. diagram. Látható, hogy a testsűrűségek az első három keverék után 2000 kg/m³ alatt maradtak, egyetlen kiugrás az E-jelű keverék esetében tapasztalható.

10. ÖSSZEFOGLALÁS

Könnyű adalékanyagos betonokat és öntömörödő betonokat a szakirodalomban számtalan helyen fellelhetünk, rengeteg vizsgálati eredményt találunk. Kettejük ötvözetének, a könnyű adalékanyagos öntömörödő betonnak a tulajdonságai, esetleges vizsgálatait azonban még nem sok kutatás tárgyát képezték, sokrétű felhasználási lehetősége ellenére.

Duzzasztott agyagkavics adalékanyagos öntömörödő betont a szakirodalomban sok helyen egyáltalán nem említik.

Tanulmányom célja az volt, hogy elősegítsem a könnyű adalékanyagos öntömörödő betonok tulajdonságának megismerését, hogy képet alkothassunk a betonok ezen új fajtájáról, megismerjük viselkedését.

Elsősorban a szakirodalom, és a vonatkozó szabványok feldolgozását helyeztem előtérbe, de igyekeztem előkísérleteket is végezni könnyű adalékanyagos öntömörödő beton készítésére vonatkozóan. Az elmúlt néhány évre vonatkozó szakirodalom közül konkrét receptúrákat is, én elsősorban adott gyártmányú – LIAPOR – duzzasztott agyagkavicssal próbáltam öntömörödő betont készíteni, és ezeknek a kísérleteknek az eredményét értékeltem elsősorban vizuális szemrevételezés, testsűrűségmérés alapján.

A kísérletek során fő célom volt szem előtt tartani az öntömörödő betontervezés és a könnyűbeton tervezés szemléletét, hogy meghatározhassam azt a tartományt, melyben a beton öntömörödő, és könnyű is (testsűrűsége $< 2000 \text{ kg/m}^3$).

Eredményként a D62-jelű keverék esetén sikerült mindkét kritériumot biztosítani: a beton könnyű volt és öntömörödő (9.9. fejezet).

A tapasztalatok alapján azt mondhatom, hogy nem egyszerű duzzasztott agyagkavicssal öntömörödő betont készíteni. Általános probléma volt a keverékeknél a szegregáció, a nem megfelelő reológiai jellemzők, valamint az, hogy túl sok finomrész esetén a beton már nem lesz könnyűbeton.

Mindezek ellenére lehetőséget látok arra, hogy könnyű adalékanyagos öntömörödő betont készítsünk duzzasztott agyagkavicsból, de az alkalmazott adalékanyagok mennyiségei és szükséges aránya viszonylag szűk határok között mozog. Valószínűleg külön figyelmet érdemel a keverés technológiája is.

A későbbiekben még több összetételt ki kell próbálni, valamint szabványos vizsgálatokat kell végezni az előkísérletek alapján megfelelőnek ítélt keverék mozgékonyásával kapcsolatban. Ugyancsak vizsgálni kell az eltarthatóságot, valamint a nyomószilárdságot a szilárdulás különböző időpontjaiban.

11. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm Dr. Takács Márton konzulensemnek a TDK dolgozat készítése során adott hasznos tanácsait, ötleteit, támogatását.

Külön köszönöm Leczovics Péter laborvezetőnek a kísérletek elvégzésben nyújtott segítségét, türelmét.

12. IRODALOMJEGYZÉK

- [Balázs, 2007.] Balázs György: Különleges betonok és betontechnológiák I-II-III.
- [Nemes, 2006.] Nemes Rita: Habüveg adalékanyagok könnyűbetonok (Phd értekezés)
- [BETON, 2003. október] Beton szakmai havilap, 2003. október
- [Ouchi, 1998.] History of Development and Application of Self-Compacting Concrete in Japan
- [Zsigovics, 2003.] Zsigovics István: Öntömörödő betonok (Phd értekezés)
- [Sugár] Sugár Viktória: Az öntömörödő beton technológiai határai (TDK dolgozat)
- [wikipedia.org] www.wikipedia.org utolsó letöltés: 2012.10.13.
- [www.liapor.hu] www.liapor.hu utolsó letöltés: 2012.11.24.
- [Hubertova, 2010.] M. Hubertova – R. Hela: Ultra lightweight self-consolidating concrete
- [BASF]: BASF Chemical Company: Tervezési segédlet öntömörödő beton készítéséhez
- [Kausay, 2011.]: Dr. Kausay Tibor: Az önterülő-öntömörödő beton konzisztenciamérése
- [Balázs, Kausay, 2005.] Balázs L. György – Kausay Tibor: Az MSZ EN 206-1 és MSZ 4798-1 betonszabvány és alkalmazása
- [Móczár, 2000.]: Móczár Ferenc – ifj. Móczár Ferenc: Építőanyagok