



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar



Speciális tulajdonságú látszóbeton tervezése

Készítette: **Nagy Csaba**

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Konzulensek:

Dr. Nemes Rita, docens

Építőanyagok és Magasépítési Tanszék

Dr. Fenyvesi Olivér, docens

Építőanyagok és Magasépítés Tanszék

Budapest, 2021. 11. 02.

Tartalomjegyzék

1.	Bevezető	4
1.1.	A beton, mint építőanyag	4
1.2.	A beton látványa.....	4
1.3.	A látszóbeton felhasználási területe	5
1.4.	Hazai példák előregyártott látszóbetonokról	7
1.5.	A dolgozat célkitűzése.....	8
2.	Szakirodalmi áttekintés	9
2.1.	Látszóbeton összetétele	9
2.1.1.	Látszóbeton adalékanyaga.....	9
2.1.2.	Látszóbeton kötőanyaga	11
2.1.3.	Látszóbeton kiegészítő anyaga	12
2.1.4.	Látszóbeton adalékszere.....	16
2.1.5.	Látszóbetonhoz használatos keverővíz.....	17
2.2.	Öntömörödő látszóbeton	18
2.3.	Kivirágzások.....	22
2.4.	Szálerősített látszóbeton	24
2.5.	Látszóbeton zsámozása	24
2.6.	Látszóbeton utókezelése.....	25
3.	Kutatási program	26
3.1.	Kutatómunka célja.....	26
3.2.	Kutatás során elvégzendő kísérletek, mérések	26
3.2.1.	Adalékanyag vizsgálatok.....	26
3.2.2.	Frissbeton vizsgálatok	27
3.2.3.	A megszilárdult beton tulajdonságainak mérése 28 napos korban	30
3.2.3.1.	Nyomószilárdság vizsgálata	30
3.3.	Helyszíni szemle.....	31
3.4.	Tervezési alaphelyzet	31
3.5.	Beton összetétel tervezés	32
3.5.1.	Általánosan	32
3.5.2.	Adalékanyag	33
3.5.3.	Adalékszer	33
3.5.4.	Cement.....	33
3.5.5.	Kiegészítő anyag	34

3.5.6.	Műanyag szál.....	34
3.6.	Beton keverése	35
3.7.	Kísérleti keverések	36
4.	Eredmények.....	50
4.1.	1-es receptúra (általános felhasználású látszóbeton)	50
4.2.	2-es receptúra (nagy szilárdságú, öntömörödő látszóbeton)	51
4.3.	3-as receptúra (kivirágzásnak ellenálló látszóbeton).....	51
5.	Összefoglalás	51
6.	Köszönetnyilvánítás	55
7.	Irodalomjegyzék.....	55
8.	Szabványjegyzék	58
9.	Függelékek	60

1. Bevezető

„A beton a világ legtöbbet használt építőanyaga. Bár mindazt, amit a beton tud, magától értetődőnek tekintünk, igen gyakran elsiklunk afelett, mi mindent kínál valójában a beton.”

Pier Luigi Nervi [1]

1.1. A beton, mint építőanyag

Korunk meghatározó építőanyagai az acél és a beton. A beton olyan mesterségesen előállított építőanyag, amely kötőanyag, adalékanyag, adalékszer, kiegészítőanyag és levegő keverékéből áll. Az alkotók megfelelő arányú összekeverése után képlékeny, könnyen alakítható formálható lesz, ezt nevezzük frissbetonnak. A kötőanyag és víz között lejátszódó fizikai és kémiai folyamatok eredményeként szilárd, kőszerű mesterséges anyagot kapunk. A beton tulajdonságait az alkotórészek és azok arányának változtatásával tudjuk befolyásolni, így kaphatunk pl. könnyű, nehéz-, nagy szilárdságú- és látszóbetont. [2]

1.2. A beton látványa

Az átlagember a betont kevésbé szereti, szívesebben látja a vakolt-falazott- és faszerkezeteket. Sok esetben a beton negatív érzelmeket vált ki az emberekből, durvának, szürkének, ridegnek látják, nem tartják emberközelinek. A beton, mint 'szükséges rossz' él a köztudatban. Amellett, hogy a beton a legjobban használható és korszerű építőanyag – megjelenését tekintve tud esztétikus lenni. Napjainkban reneszánszát éli a látszóbeton – a kifejezést hallván nem egyértelmű, hogy milyen szerkezetet/felületet kell építeni. Gyakran úgy tűnik, hogy ez csak annyit jelent, hogy az elkészült (vas)beton szerkezet felülete véglegesen látszó marad, nem fogják eltakarni (azaz nem burkolják, nem vakolják). Érdemes elkülöníteni azokat a betonfelületeket, amelyeket (akár pénz hiányában) nem takarnak el azoktól a felületektől, amelyek egy előre meghatározott építészeti koncepció alapján nem kapnak burkolatot. Dr. Erdélyi Attila nevéhez fűződik a látványbeton kifejezés, ezt hallva mindenki tudhatja, hogy olyan (vas)beton szerkezetről van szó, amelyik végleges állapotában biztosan látszani fog. A definíció érzékelteti a tervező eredeti célját is, mégpedig, hogy a szerkezet építészeti látványosság céljából (is) épül. A látványbeton kifejezéssel leszűkítettük a betonfelületek körét, ekkor olyan szerkezetről/felületről beszélünk, amelyik nem csak látszik, de látványos is. Az építőiparban is gyakran keverednek még a látszóbeton és látványbeton kifejezések. [3]

1.3. A látszóbeton felhasználási területe

A beton szilárdsága mellett már a 20. században is kihasználták az esztétikus megjelenését is, ami jól látszik az alábbi képekről.



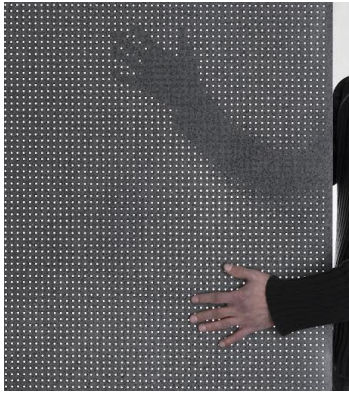
1. ábra: Régi beton pad [4]



2. ábra: Múlt századi látszóbeton [4]

A modern építészetet a minimalista, letisztult stílus jellemzi. Mindezen jegyeket magában hordozza a beton is, ezért a kortárs építészek, belsőépítészek előszeretettel alkalmazzák végleges látszó felületként. A látszóbeton felhasználási területének csak a képzeletünk szabhat határt:

- | | |
|------------------------------|-----------------------|
| - látszóbeton tartószerkezet | - fényáteresztő beton |
| - térelválasztó elem | - üvegbeton |
| - beton bútor | - pixelbeton |
| - járólap | - beton ruha |
| - kéregpanel | - betonkenu |
| - szobor | |



3. ábra: Magyar találmányú pixelbeton [5]



4. ábra: Betonruha - a látszóbeton egyik megjelenési formája [7]



5. ábra: Szegedi partfal látványbetonból [6]

Lehetséges látszóbeton felületek:

- sima
- mosott
- csiszolt
- szemcsehézagos
- zsalumintás
- színezett
- hasított felületű
- fényáteresztő
- fénykibocsájtó



6. ábra: Csiszolt felületű látszóbeton padló [8]



7. ábra: Szemcsehézagos látszóbeton fal

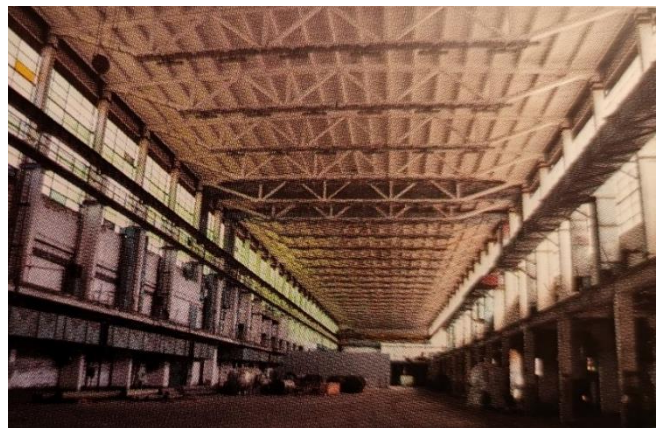
1.4. Hazai példák előregyártott látszóbetonokról

- Hazánkban a II. világháború után szóba se jöhetett a vasbetonszerkezetek felületének eltakarása/lefestése, erre nagyon jó példa az 1953-ban megnyitott Népstadion.



8. ábra: A Népstadion felső karéjának eltakaratlan beton felülete [9]

- A TVK Műtrágyagyár kompresszorcsarnoka 1960-61-ben épült és 60 év távlatából is ugyanolyan szépek a vasbeton elemek, mint újkorukban. A 30 m fesztávolságú vasbeton rácsos tartók, vasbeton födemelemek mintha festett acélszerkezetek lennének.



9. ábra: TVK Műtrágyagyár kompresszorcsarnokában látszóbeton rácsostartó [3]

A rendszerváltás után megnövekedett a kereslet az előregyártott vasbeton szerkezetek iránt. Az újonnan épülő parkolóházak és bevásárlóközpontok építésénét jelentősen gyorsította az előregyártás. Az utóbbi két évtized betontechnológiai fejlesztései kiterjesztették az előregyártott vasbeton termékek alkalmazásának lehetőségeit. Szobrok, műtárgyak és tartószerkezeti elemek egyaránt előregyárthatók.



10. ábra: A Fővárosi Állat- és Növénykert látszóbeton sziklái [10]



11. ábra: Nemzeti Atlétikai Központ előregyártott vasbeton elemei

1.5. A dolgozat célkitűzése

Az utóbbi két évtizedben jelentős mennyiségű kutatás indult korunk egyik legmodernebb építőanyagának, a beton felhasználási területeinek bővítése céljából. Nemzetközi szinten így vált az építészet egyik legművészebb eszközévé a látszóbeton. Mivel a végfelhasználása nagyon széleskörű lehet, minden felhasználási területhez különböző összetételű beton szükséges. A szakirodalomban viszonylag nagy számú kísérleti-, kutatási eredmény és tézis található. A dolgozatomban ezen eredmények és a saját tapasztalataim alapján egy már meglévő látszóbeton receptúra továbbfejlesztésével foglalkozom, amely az alábbi feltételeknek kell megfeleljen:

- legyen öntömörödő,
- legyen nagy szilárdságú,
- a megszilárdult beton felülete esztétikus legyen,
- szürkétől eltérő színben is készülhessen,
- ne legyen érzékeny a kivirágásokra

Kísérleteimmel keresem a megfelelő adalékszert, kiegészítő anyagot, cementet és ezek arányát a fenti célkitűzéseknek megfelelő beton összetétel eléréséhez.

2. Szakirodalmi áttekintés

A látszóbeton megfelelő összetétele a szabványban előírt, szilárdsági és bedolgozási követelmények mellett esztétikai követelményeket is ki kell elégítse.

Látszóbeton esztétikai követelményei:

- nem fészkes, nem porlékony,
- légpórusok mennyisége a meghatározott érték alatt marad,
- nem látszik a munkahézag, és két betonozási ütem közötti szint,
- nem látszik a zsalutáblák közötti illesztés,
- nincsenek rajta felületi vagy átmenő repedések,
- felülete nem foltos és színe egyenletes,
- kivirágzástól mentes a felülete

2.1. Látszóbeton összetétele

2.1.1. Látszóbeton adalékanyaga

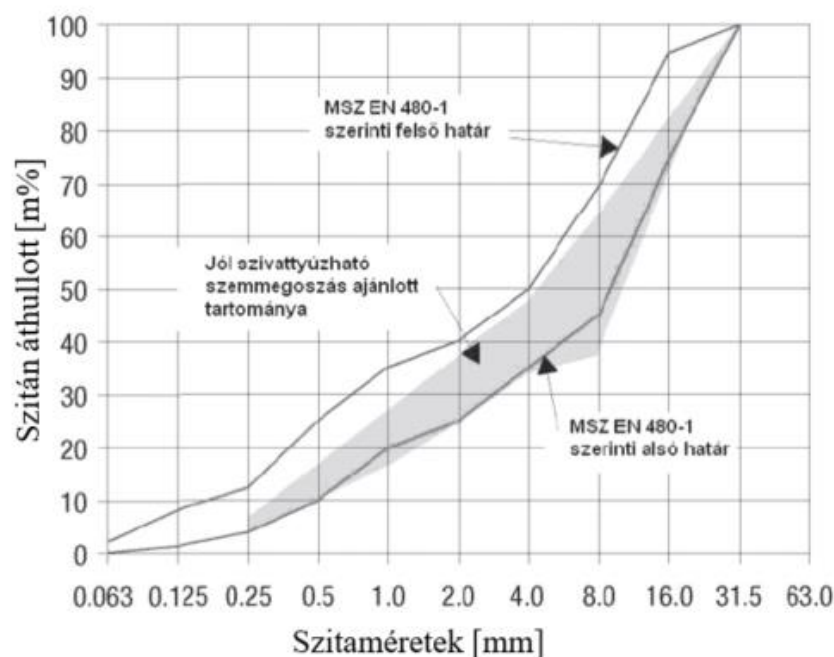
A természetben előforduló vagy mesterségesen előállított, a természetben vagy iparilag aprított, esetleg granulált szemhalmazokat, nevezzük a betontechnológiában adalékanyagnak, melyek a beton egyik fő alkotóelemét adja. [11]

A látszóbeton adalékanyaga a beton térfogatának legalább 50-60 %-át töltse ki, legnagyobb szemnagysága legyen nagyobb, mint 4 mm, általában 8 mm. Látszóbeton receptúra tervezésekor nem ajánlott természetes finomrészben gazdag adalékanyagot választani, helyette a finom frakciót kiegészítőanyaggal érdemes pótolni, hogy jó összetartó képessége legyen, ami megakadályozza a szétosztályozódást a bedolgozás során. Finomrész alatt a 0,125 mm lyukbőségű szitán áthullott adalékanyag-szemcséket értjük. A minimális finomrész tartalom megegyezik a szivattyúzható betonéval. Az egy m^3 betonhoz szükséges finomrész tartalom mennyisége a legnagyobb szemnagyság ($D_{\max}$) függvényében határozható meg, az adalékanyag szemalakját is figyelembe véve.

$D_{\max}$	Gömbölyű szemű adalékanyag	Zúzott adalékanyag
8 mm	500 kg/m^3	525 kg/m^3
16 mm	425 kg/m^3	450 kg/m^3
32 mm	375 kg/m^3	400 kg/m^3

12. ábra: A Sika ajánlása a beton finomrésztartalmára [12]

Látszóbeton receptúra tervezésekor olyan adalékanyagot célszerű választani, aminek a szemmegoszlási görbéje kiegyensúlyozott. Amennyiben lehetséges az adalékanyagot különféle egyedi frakciókból kell összeállítani úgy, hogy a szemmegoszlási görbe folytonos legyen. A 4-8 mm közötti frakció mennyiségét érdemes alacsonyan tartani, míg a maximális adalékanyag szemnagyságot lehetőség szerint a legnagyobb (24 mm vagy 32 mm) kell választani, de a görbe ne legyen lépcsős. Lehetőség szerint gömbölyű szemű adalékanyagot kell használni (a Magyarországon előforduló adalékanyagok nagyrésze gömbölyű). Az adalékanyag szemeloszlási görbéjének az MSZ EN 12620:2002+A1:2008 szerint lehetőleg a "B" szemeloszlásnak megfelelőnek vagy ehhez közelinek kell lennie.



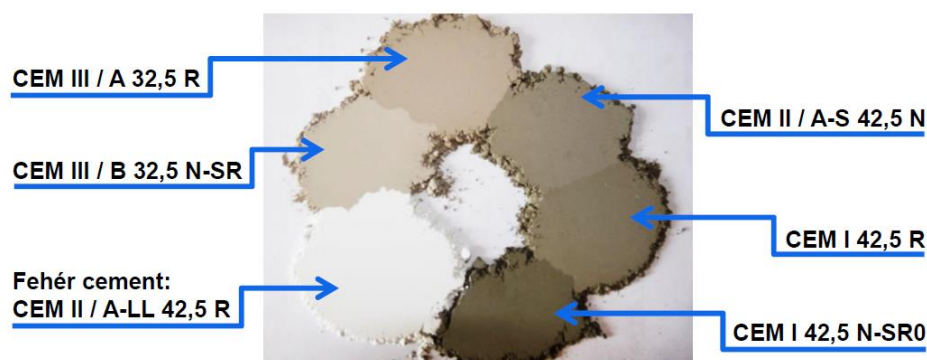
13. ábra: Látszóbeton ajánlott szemmegoszlási görbéje [12]

Látszóbeton készítésekor nagyon fontos az adalékanyag tisztasága, színe és színegyenletessége, valamennyi adalékanyagnak meg kell felelnie szennyezettség szempontjából az MSZ EN 12620:2003 előírásnak. Az adalékanyag egy nyerőhelyről származzon és lehetőleg egyszerre szállítsák. Amennyiben az adalékanyagban színeltérést okozó szennyeződést feltételezünk, akkor célszerű próbabetonozással meggyőződni az adalékanyag tisztaságáról. [2], [3]

2.1.2. Látszóbeton kötőanyaga

A beton készítése során az elsődlegesen használt kötőanyag a cement. A cement olyan hidraulikus kötőanyag, amely adalékanyag és víz hozzáadásával kémiai reakcióba lép a vízzel és képes tartósan összeragasztani az alkotókat. [13]

Amennyiben a szerkezet egyéb követelményei szerint nincs korlátozva, akkor bármely cement használható látszóbeton készítéshez. A cement színe a látszóbeton esetében esztétikai kérdéssé válik. A cementgyárak általában nem tudják garantálni a cement színegyenletességét, ezért érdemes az egymás mellé kerülő felületek betonjai lehetőleg egy gyártásból származó cementből készíteni. A felület színére gyakorolt hatása szerint választhatunk többféle színű cementet. [3]



14. ábra: Különböző cementek [4]

Amennyiben utólag megmunkált felületről van szó, akkor célszerű az adalékanyag és a cement színét megvizsgálni és az igények szerint egyeztetni azokat. A beton színének megváltoztatására oxid festékeket célszerű alkalmazni. Különböző cementek használata esetén változik a beton kötési ideje is, ami a hőfejlődés miatt korai zsugorodási repedések kialakulásához is vezethet. Látszóbeton készítéséhez célszerű lassan szilárduló, kis hőfejlesztésű cementet választani. [14]

Az 1 m³ betonhoz szükséges minimális cement mennyiséget az adalékanyag legnagyobb szemnagysága ($D_{\max}$) és a szemalak függvényében érdemes megállapítani.

$D_{\max}$	Gömbölyű szemű adalékanyag	Zúzott adalékanyag
8 mm	380 kg/m ³	420 kg/m ³
16 mm	330 kg/m ³	360 kg/m ³
32 mm	300 kg/m ³	330 kg/m ³

15. ábra: A Sika ajánlása a legkisebb cementtartalomra [12]

2.1.3. Látszóbeton kiegészítő anyaga

Kiegészítő anyagnak nevezzük a betontechnológiában az olyan finom szemű adalékokat, amelyeket jelentős arányban (5-20 m%-ban) adnak a betonhoz. Adagolásuk célja a friss és/vagy megszilárdult beton egyes tulajdonságainak javítása vagy különleges tulajdonságok elérése.

Technológiailag a beton legfontosabb alkotórészei a lisztfinomságú szemek, ezek növelik a beton pépmegtartó képességét, csökkentik a kivérzési és szétosztályozódási hajlamát, növelik a vízigényét és kedvezően befolyásolják a tömöríthetőséget.

A lisztfinomságú szemek túl nagy mennyiségű adagolása esetén a cementhabarcs viszkózussá, míg a frissbeton sűrűn folyóssá válik és megnövekszik a vízigény, ami csak folyósító adalékszerrel

csökkenthető. Ezen felül a túl sok lisztfinomságú szemet tartalmazó frissbetont nem lehet megfelelően lesimítani, mert a felülete megrepedezik. Ha a beton felülete durva szem hiányos, akkor a beton kopás- és fagyállósága lecsökken. Ez az oka annak, hogy a DIN 1045-2:2008 német betonszabvány a lisztfinomságú szemek mennyiségét korlátozza. [15]

Cementtartalom [kg/m ³]	Lisztfinomságú szemek (≤ 0,125mm) megengedett legnagyobb mennyisége [kg/m ³]
ha a beton nyomószilárdsági osztálya ≤ C50/60 és a környezeti osztálya XF és/vagy XK	
≤ 300	400
≥ 350	450
ha a beton nyomószilárdsági osztálya > C50/60 és a környezeti osztálya XF és/vagy XK	
≤ 400	500
450	550
≥ 500	600

16. ábra: Lisztfinomságú szemek korlátozása a német DIN 1045-2:2008 betonszabvány alapján [15]

A szervesetlen betonkiegészítő anyagokat két csoportba soroljuk:

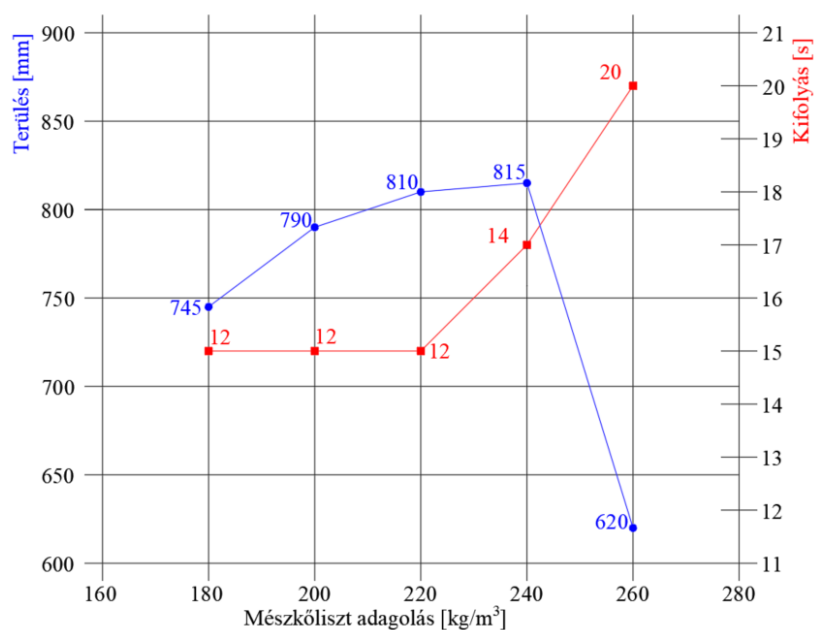
- I. típusú kiegészítő anyagok: Ezek az inert (adott körülmények között kémiai reakcióba nem lépő) anyagok, töltőanyagok (mészkőliszt, kvarcliszt) és a színezőpigmentek.

Pigmentek:

A betonok felületi vagy teljes keresztmetszetében történő színezését különböző pigmentek adagolásával érhetjük el. A pigmentek általában olyan fénoxidok, amelyek lúgállóak és a cement hidratációja során képződő kalcium-hidroxiddal nem lépnek reakcióba, ezért az inert kiegészítőanyagok közé sorolhatók. A pigment és a cement szemcsemérete közel azonos. Legfontosabb pigmentek a vas-oxid (barna, vörös, sárga), a króm-oxid (zöld), a titán-dioxid

(fehér) és a korom (fekete). Világosabb árnyalatú pigmentekkel csak a nagy kohósalak-tartalmú kohósalakcementek és a fehércementek színezhetők. [16]

Mészkőliszt: Betontechnológiában az inert kiegészítőanyagok közül a mészkőlisztet használják a legnagyobb mennyiségben. A mészkőliszt szemnagysága 0,063 mm alatti, így az adagolása kedvezően befolyásolja a frissbeton bedolgozhatóságát és szivattyúzhatóságát, és gyakori összetevője az öntömörödő betonoknak. Mészkőliszt adagolással a finomrészben szegény adalékanyagok szemmegoszlása javítható, tömítő hatása révén fokozható a betonok vízzárósága és cement megtakarítás is elérhető. [16], [17]



17. ábra: A mészkőliszt adagolás hatása a konzisztenciára
(Zsigovics 2007) [17]

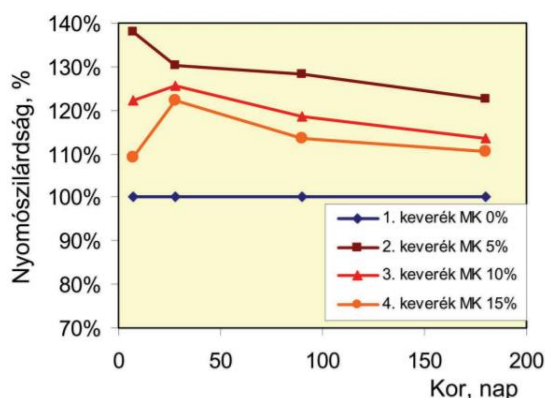
- II. típusú kiegészítőanyagok: puccolános (trasz) vagy latens hidraulikus (pernye, szilikapor, kohósalak) tulajdonságú kiegészítőanyagok.

Pernye: A pernye a porszéntüzelésű erőművekben keletkező hulladékanyag, szemcsemérete valamivel finomabb, mint a portlandcementé, általában gömb alakúak a szemek (a Magyarországon rendelkezésre álló pernyék esetében ez nem feltétlen igaz), így adagolása javítja a frissbeton bedolgozhatóságát. Pernye adagolással növelhető a beton utószilárdulásának mértéke és javítható a szulfátállósága. A pernye színe nagymértékben függ a kémiai és ásványi

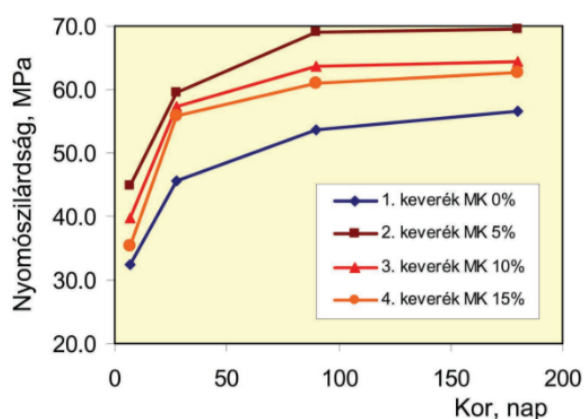
összetételétől, a sárgásbarnától a sötétszürkéig változhat. A pernyék puccolános aktivitása örléssel növelhető, ezt mechanikai aktiválásnak nevezzük. [16]

Granulált kohósalak: A kohósalak a nyersvasgyártás mellékterméke. Granulált kohósalak adagolással csökkenthető a kötэшő, így csökkennek a korai zsugorodásból keletkező felületi repedések is, ezért kedvezően befolyásolja a látszóbeton megjelenését. Ezek mellett megnő a kötэшő és a nedves utókezelés szükséges ideje is. További előnye, hogy csökken a szilárd beton víz- és gázáteresztő képessége, csökken a kloridion diffúziós tényező értéke, javul a szulfátállósága, illetve a portlandcement színénél világosabb árnyalatú betonok készíthetők. [16]

Metakaolin: A metakaolin puccolános tulajdonságokkal rendelkező kiegészítőanyag, szemcsemérete kisebb, mint a cementé, de nem olyan finom, mint a szilikapor, átlagos szemcsemérete 3 μm . A metakaolin adagolással növelhető a beton szilárdsága, és csökkenthető a porozitása és az áteresztőképessége, ezáltal növeli a kémiai ellenálló képességét és a tartósságát. Javítja a bedolgozhatóságot, csökkenti az alkáli-szilika reakcióképességet, a korai zsugorodást, illetve a só kivirágzást. Vízrel reakcióba lépve saját tömegével egyenértékű kalcium-hidroxidot fogyaszt el a betonból, ezzel lecsökkenti a beton pH értékét. Vasbeton szerkezetek esetén káros lehet az alacsony pH érték, mivel nem védené meg a beton lúgos közege az acélt a korróziótól, ezért a szakirodalom szerint a cement maximum 20 m%-a pótolható metakaolinnal. [16]



18. ábra: Nyomószilárdság a metakaolin tartalom függvényében [18]



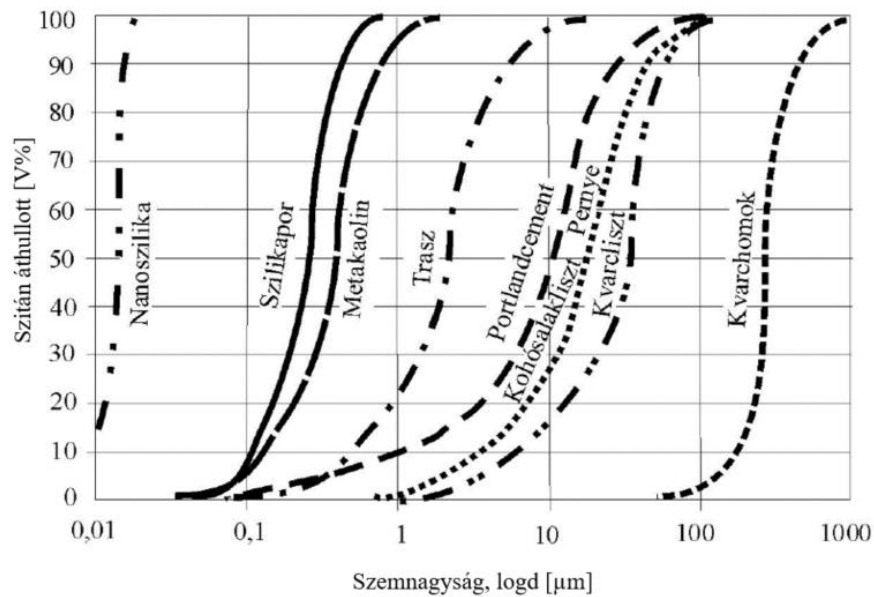
19. ábra: Relatív nyomószilárdság a metakaolin tartalom függvényében [18]

Mikroszilika (szilikapor): A cementkiegészítő anyagok közül a szilikapor rendelkezik a legnagyobb puccolános aktivitással, amely a rendkívül kis szemcseméret, (0,15 μm), nagy

fajlagos felület ($13\,000 - 30\,000\text{ m}^2/\text{kg}$) és a nagy SiO_2 tartalom eredménye. A szilikapor a bedolgozhatóság megtartása érdekében csak folyósító adalékszerrel együtt alkalmazható, mivel a szilikapor kis szemcsemérete miatt aggregálódásra hajlamos. A szilikaport tartalmazó frissbetonok kevésbé hajlamosak szétosztályozódásra, mint a normál beton, mivel a szilikapor javítja a beton kohéziós tulajdonságait. A szilikapor csökkenti a frissbeton kivérzését, azáltal, hogy a szemcsék felületén megköti a pép víztartalmának nagy részét. A szilikapor tartalom növelésével a cement konzisztenciája merevebbé válik. Szilikapor adagolásával csökkenthető a beton áteresztőképessége, ami növeli a beton tartósságát. Ellenállóbbá válik különböző vegyi ágenssek, pl. a savak, a nitrát- és a szulfátiókok támadásával szemben és csökkenti a kloridion diffúziós tényező értékét is. Előnye, hogy már a beton szilárdulásának korai időszakában is növeli a szilárdságot. [16]



20. ábra: Különböző kiegészítőanyagok [4]



21. ábra: Kiegészítő anyagok szemmegoszlási görbéinek összehasonlítása [15]

2.1.4. Látszóbeton adalékszere

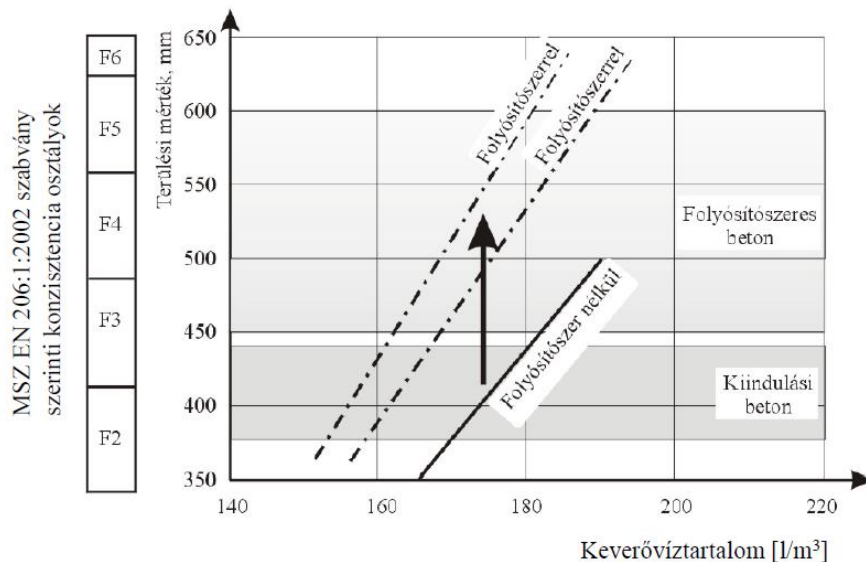
Az adalékszer a beton tulajdonságát módosító folyékony vagy por alakú, vegyipari készítmény. Az adalékszereket a beton vagy -habarcs keverékhez a cement tömegéhez képest kis mennyiségben (legfeljebb 5m%-ban) adagolják. Az adalékszerekkel az alábbi tulajdonságok befolyásolhatók:

- a frissbetonkeverékek tulajdonságai (pl.: konzisztenciája, szivattyúzhatósága)
- a kötési, illetve a szilárdulási folyamat (pl.: gyorsítható vagy lassítható)
- a megszilárdult betonok tulajdonságai (pl.: fagyállósága, vízzárósága)

Az adalékszereket az MSZ EN 934 európai szabvány-sorozat szabályozza. A sorozat első része MSZ EN 934-1:2008 az adalékszerek közös követelményeivel, míg a második rész MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 a betonadalékszerekkel foglalkozik. Az adalékszereknek megfelelőségi igazolással kell rendelkezniük. Az adalékszerek használata napjainkra forradalmasította a betontechnológiát, de használatuk még ma is nagy körültekintést igényel. Nagyon fontos a betonba történő egyenletes és alapos bekeverés, mert adott esetben a kívánt hatás eléréséhez időre is szükség lehet. Ennek a mértékét mindig az adott szer műszaki adatlapja tartalmazza, illetve a szer gyártója tudja megadni.

Látszóbetonok készítése során a következő adalékszerek alkalmazása javasolt:

- Konzisztencia javító adalékszerek (képlékenyítők, folyósítók);
- Kötésszabályzó adalékszerek,
- Légpórusképző adalékszerek.
- Stabilizálók [19], [20]



22. ábra: Frissbeton területe és keverővíz összefüggése [21]

2.1.5. Látszóbetonhoz használatos keverővíz

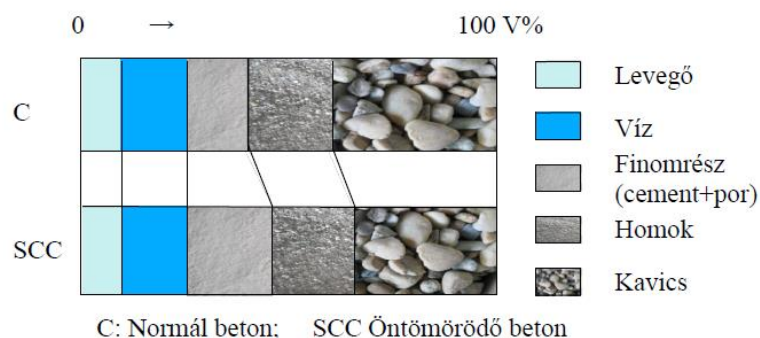
A beton előállításához szükséges keverővíz minőségére vonatkozó követelményeket az MSZ EN 1008: 2003 sz. szabvány határozza meg. A keverővíznek általában ivóvíz minőségűnek kell lenni, nem lehet gyógyvíz, ásványvíz, talajvíz, kellemetlen szagú, színezett, habzó és zavaros, különösen igaz ez a látszóbeton készítésénél. A vezetékes ivóvíz vizsgálat nélkül felhasználható keverővízként, egyéb ivóvíz használata esetén a szabvány követelményeinek kell megfelelni. A keverővízként használt egyéb vizek betonra és acélra veszélyes anyagok mennyiségét szakintézetrel kell bevizsgáltatni. A keverővízként használt visszanyert (mosóvíz) betongyártási ivóvíz eredetű, de nem tartalmazhat szerves anyagokat, szilárd részeket, olaj, zsír, tisztítószer, lebegőanyag maradványokat. Ezek az anyagok nagymértékben befolyásolják a cementpép kötési idejét, a beton illetve a cementhabarcs nyomószilárdságát és az elkészült beton felületét. [2]

2.2. Öntömörödő látszóbeton

Az öntömörödő beton olyan, nagy teljesítőképességű beton, amely newtoni folyadékként viselkedik, kiegészítő tömörítési energia nélkül, saját súlyánál fogva szétosztályozódás mentesen, kivérzés nélkül, közel szintkiegyenlítésig lassan folyik, légtelenedés közben tömörödik, miközben a vasalás köztes tereit és zsaluzatot teljes egészében kitölti, és megtartja a homogenitását. A látszóbetonok készítésénél világszerte elterjedt az öntömörödő betonok használata, ami esztétikus, minimális pórustartalmú, homogén betonstruktúrát biztosít.



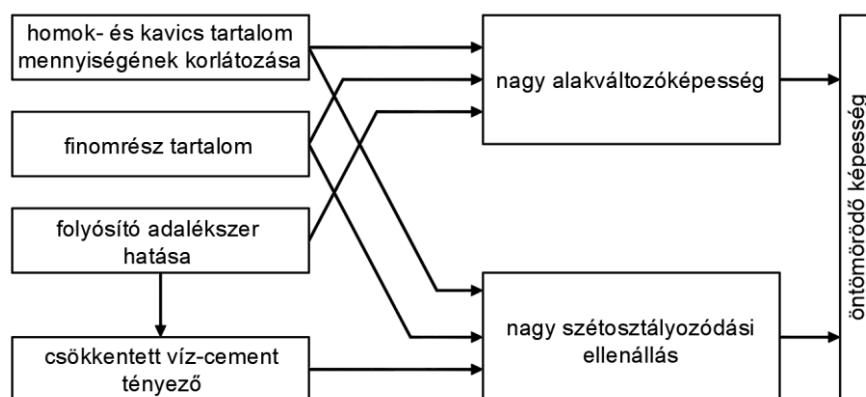
Az öntömörödő mechanizmus csökkenti a helyszíni élőmunka igényt, így kiküszöbölhetők a nem megfelelő tömörítésből adódó esztétikai és szilárdsági hibák. Azonban a pontos betontechnológiai tervezés és kivitelezés nagy technológiai fegyelmet kíván, illetve magasabb költségekkel jár, mint a normál beton készítése. Az öntömörödő beton készülhet kiemelkedő teljesítőképességgel is, ami tovább bővíti az alkalmazásának lehetőségeit. Az öntömörödő képesség megállapításának jelenleg egységesen elfogadott módszere még nem áll rendelkezésre, csak ajánlások vannak. [22], [23]



24. ábra: A normálbeton és az öntömörödő beton összetevői [V%], [22]

Öntömörödő beton készítésekor a hagyományos betonoknál alkalmazott receptúrát több pontban is módosítani szükséges. Ahhoz, hogy elérjük az öntömörödő képességet növelni kell

a pép alakváltozó képességét, ezt a folyósítószer nagyobb mennyiségű alkalmazása és kiegyensúlyozott víz/finomrész tartalom teszi lehetővé. A durva adalékanyag szemek közötti súrlódás csökkentése érdekében a beton kis kavics térfogatú (nagy péptartalmú) és az adalékanyaghoz és cementhez viszonyítva optimális minőségű és mennyiségű finomrésztartalmú legyen. A szétosztályozódással szembeni ellenálló képesség eléréséhez csökkenteni kell a szilárd anyagok kiválását és minimalizálni kell a kivérzést. Ezt a durva adalékanyag mennyiségének korlátozásán túlmenően elő lehet segíteni a legnagyobb szem nagyság csökkentésével, kis víz/finomrész tartalom arány alkalmazásával, nagy fajlagos felületű, finomszemcsés anyagokkal, viszkozitás csökkentő adalékszer alkalmazásával, kis víztartalommal. A betonacélok közötti megfelelő áthaladási képesség eléréséhez, a durva adalékanyag szemek blokkolódásának elkerülése érdekében fokozni kell a frissbeton kohézióját. A betonacélok közötti szabad tér közt össze kell hangolni az adalékanyag szemmegoszlási jellemzőivel, amely az előzőekben elmondottak szerint elsősorban a kis kavics térfogat alkalmazásával, a megfelelő legnagyobb szem nagyság megválasztásával a kis víz/finomrész arány alkalmazásával és viszkozitás csökkentő folyósító adalékszer alkalmazásával lehetséges. [24]



25. ábra: Frissbeton öntömörődő képességének elérési módja [3]

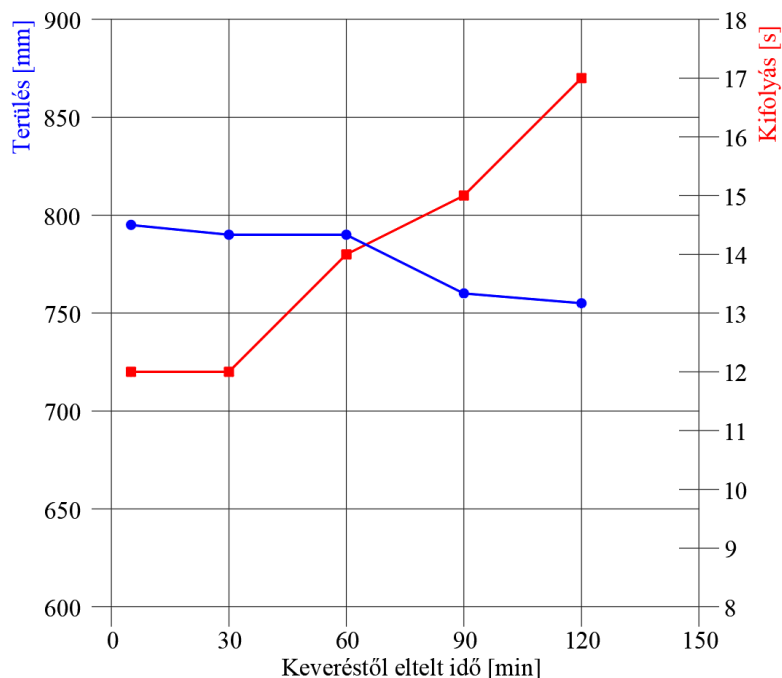
Az öntömörődő beton tervezésének, a japán Okamura által meghatározott lépései:

1. Legfeljebb $0,5 \text{ m}^3$ kavicsváz összeállítása a kavics frakciókból köbméterenként.
2. Pép konzisztencia vizsgálatok: a víz/finomrész tartalom térfogataránya $0,9 \dots 1,0$ értékűre vehető fel a finomrész tulajdonságainak függvényében.
3. Habarcstervezés, amelyben a homoktartalom rögzített (a habarcs térfogata $40 \text{ V}\%$) és az adalékszer adagolást is be kell állítani.
4. Az öntömörődő beton ellenőrzése frissbeton vizsgálatokkal, korrekciók elvégzése. [3]

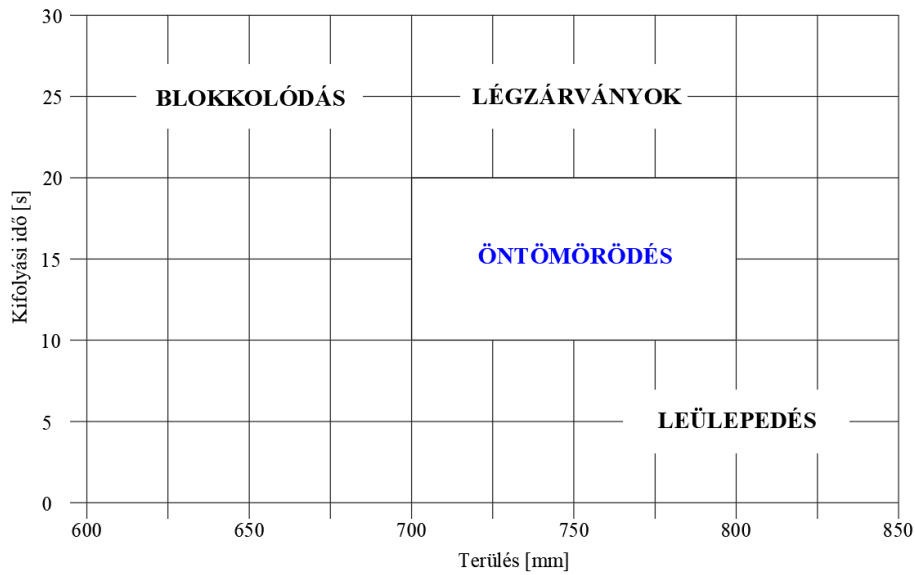
Az öntömörödő betonok összetételének Zsigovics István (2007) szerinti tervezési lépései:

- „1. A kavicsstartalom maximalizálása 500 liter/m³ halmaztérfogatban.
2. Cementtartalom és cement típus meghatározása a víztartalommal együtt (v/c)
3. Adalékszer kiválasztása, és az adagolás meghatározása a víztartalom függvényében és nem a cementtartalomra vonatkoztatva.
4. A betonkeverék legkedvezőbb finomrésztartalmának meghatározása, a frissbeton területének és kifolyási idejének vizsgálatával.
5. A meghatározott finomrésztartalommal a keverék véglegesítése és a keverék eltarthatóságának vizsgálata a fékezőgyűrűs roskadási terület és kifolyási idő mérésével.
6. Henger próbatestek készítése. A henger próbatestek elhasításával a beton homogenitásának ellenőrzése.”

A betont akkor tekinthetjük Zsigovics István szerint nagy teljesítőképességű öntömörödő frissbetonnak, ha két óráig képes tartani az öntömörödő képességét. Ennek feltétele, hogy a terület 750±50 mm, a kifolyási idő 10-20 s között legyen.



26. ábra: A terület és a kifolyási idő az idő függvényében módjai [25]



27. ábra: Az öntömörödő látszóbeton bedolgozhatósági tartománya [25]

Öntömörödő beton előnyei:

- nem szükséges tömöríteni,
- nem keletkeznek hibahelyek (fészkek),
- kifogástalan, egyenletes betonfelület,
- nincs vibrátorok okozta zaj és rezgés,
- egyenletes betonminőség [22]

Öntömörödő beton hátrányai:

- a korai zsugorodási repedésérzékenysége nagyobb, mint a szokványos betoné,
- zsugorodása nagyobb, mint a szokványos betoné,
- fagyállósága rosszabb, mint a szokványos betoné [2]

2.3. Kivirágzások

A látszóbetonokkal szemben támasztott követelmények közül talán a megjelenés a legfontosabb. Az előregyártásban kimondottan fontos a megjelenés, a vásárló ez alapján ítéli meg a terméket. A beton felületén megjelenő elszíneződések, kivirágzások leginkább a talajjal érintkező termékeknél jelentkeznak, de más előregyártott elemeknél is előfordul.

A beton felületén megjelenő, annak színétől eltérő, megszilárdult foltosodást nevezzük kivirágzásnak. Ezek a foltok lehetnek fehéres, szürkés és barnás árnyalatúak, vékony fátyoltól pár milliméterig terjedhet a vastagságuk. A

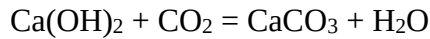


28. ábra: Kivirágzott beton felület

legtöbb esetben csak esztétikai problémát jelentenek a kivirágzások, viszont előfordul, hogy a beton felülete is károsodik, ami szilárdsági és tartóssági problémákat eredményez.

A beton alkotóelemei és a hozzáadott adalékszer tartalmazhat olyan vegyületeket, amelyek önmagukban vagy egymással reakcióba lépve vízben oldódnak. A legjobban tömörített beton cementkővében is vannak kapillárisok, amelyekben a folyadék mozgás esetén a vízben oldott anyagok a beton felületére kerülhetnek, a folyadék elpárolgását követően pedig lerakódnak és elszíneződést okozhatnak. A kivirágzási folyamatot és annak sebességét befolyásolja a beton tömörsége porozitása, a környezet és az időjárás (hőmérséklet, szél), ami befolyásolja a beton nedvességtartalmának párolgását.

A kivirágzások leggyakoribb formája a mészkivirágzás, amiért leggyakrabban a cement hidratációja során keletkező kalcium-hidroxid (Ca(OH)_2), vagy más néven portlandit a felelős. A portlandcement klinkert alkotó kalcium-szilikát (főleg alit) hidratációja során kb. 20 m% portlandit keletkezik. Ez a folyamat elkerülhetetlen, viszont hasznos is, mert az amúgy erősen lúgos portlandit lúgos kémhatást ($\text{pH} \sim 13$) ad a betonnak, ami megvédi a betonacélokat a korrózióval szemben. A portlanditot a víz oldja, és a kapillárisokon keresztül a felszínre jutva, a levegő széndioxidjával (CO_2) reagálva kalcium-karbonáttá (CaCO_3), azaz mészkővé alakul.



Ezt a folyamatot nevezzük karbonátosodásnak, ami a frissbeton sötét szürke színéből világosabb szürkét eredményez. Ha viszont ez nem egyenletes, egyes foltokban intenzívebb, akkor mészkivirágzásról beszélünk. A karbonátosodás idővel a pórusok és kapillárisok elzáródásához vezet, így leggyakrabban közbeavatkozás nélkül lezárul. Tiszta mészkivirágzással ritkán találkozunk, leggyakrabban a lekapart mintában kálium-, nátrium-, magnézium-, vas- és kalcium-szulfátok találhatóak. A mészkivirágzás a frissbeton szilárdulását követően közvetlenül elsődleges kivirágzásként, a sókivirágzás általában másodlagos kivirágzásként (újabb mészkivirágzással) a későbbiekben jelentkezik. A kivirágzást kiváltó sók az alapanyaggal együtt is a betonba kerülhetnek, viszont általában a talajjal, szennyezett vízzel érintkezve szívódnak fel a kapillárisokon.

A nem esztétikus megjelenés mellett főleg a térfogat növekedéssel járó sókivirágzások (pl. a glaubersó ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), vagy a keserűsó ($\text{MgSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)) okozhatják a beton súlyos, felületéről, vagy belsejéből induló mállásos károsodását is. A kivirágzás típusát, és a kivirágzást kiváltó vegyületeket a kiválásból lekapart por röntgen-pordiffrakciós fáziselemzésével lehet biztonsággal megállapítani.

A kivirágzás esélyét csökkenti a gondos alapanyag választás, a frissbeton alacsony víztartalma, a megfelelő bedolgozásnak is köszönhető kisebb porozitás. A bedolgozáshoz szükséges konzisztencia elérése alacsony víztartalom mellett képlékenyítő vagy folyósító adalékszer adagolásával lehetséges, amelyek között vannak olyanok is, amelyek kivirágzás ellen hatásos egyéb komponenst (pl. hidrofóbizáló anyag) is tartalmaznak. További lehetőségek a kivirágzás esélyének csökkentésére a tömörséget és vízzáróságot javító adalékszerek használata, az elkészült beton elem megfelelő páratartalmú és hőmérsékletű zárt térben történő érlelése, zsugorfóliában történő utókezelése, impregnálása és fedett helyen való tárolása. Fontos megjegyezni, hogy az előregyártott elemek utókezelése során nem kedvező, ha a fólia részben hozzáér a betonhoz, mert a felület így foltosodni fog. Célszerű a fóliát távtartókra helyezni, ezzel biztosítva a légrést. A kizsaluzási idő csökkentése érdekében az előregyártásban előnyben részesítik a CEM I jelű, nagy korai szilárdságú tiszta portlandcementeket. A heterogén portlandcementek használata esetén, pl. a pernye, vagy a puccolán megköti a mészkivirágzást okozó kalcium-hidroxid jelentős részét, csökkentik a kapillárisok mennyiségét és megbontják azok folytonosságát. [26], [27]

2.4. Szálerősített látszóbeton

A betonba rövid, karcsú szálakat keverve szálerősített betont kapunk. A szálak anyaga lehet: acél, műanyag, szén és üveg. A szálak lehetnek teherhordók (általában fémszálak) vagy nem teherhordók (pl. a korai zsugorodási repedésérzékenységet csökkentő, tűzállóság növelő, melyek anyagai jellemzően műanyag vagy üveg). A betonba belekevert szálak kedvezően befolyásolják a beton kezdeti és végleges tulajdonságait. Hagyományos (nem feszített) vasalás egyes esetekben részben vagy teljesen helyettesíthető teherhordó makroszálakkal, így rövidebb lehet az építési idő (vasszerelés helyett csak a szálak bekeverése szükséges). A szálerősítésű beton nyomószilárdsága csökken a szálak adagolásával. Ebből következik, hogy ha a hajlított elem tönkremenetele a nyomott öv tönkremenetele miatt következik be, akkor a szálak csak kismértékben növelik a törőerőt, illetve a törőnyomatékot. A szálak hatására nő a beton fáradási szilárdsága és lökésszerű (dinamikus) teherrel szembeni ellenállása, a szálak jobban szétosztják a repedéseket, mint a hagyományos vasalás. Mikroszálak használata esetén csökken a frissbeton repedésérzékenysége, a gátolt zsugorodás okozta repedéstágassága. Emellett csökken a berepedt keresztmetszeten átfolyó víz mennyisége, javul az elem kopásállósága, tartóssága. A különböző száltípusok korai zsugorodási repedésérzékenység-csökkentő hatása függ a száلكarcsúságtól ($l_f/\varnothing_f$). A 800 mm/ μ m feletti karcsúságú szálak hatékonyan csökkentették a beton zsugorodási repedésérzékenységét, míg a 600 mm/ μ m alatti karcsúságú szálak nem. A túl vastag szálak teherbírásának jelentős részét nem lehetett kihasználni, mivel a beton és a szálak közti tapadás hamarabb kimerült, mint a szálak teherbírása. [28], [29], [30]

2.5. Látszóbeton zsaluzása

A zsaluzóanyag közvetlenül érintkezik a betonnal, így annak végleges megjelenési módját közvetlenül befolyásolja. Látszóbeton készítésénél kiemelten fontos a megfelelő minőségű zsalu kiválasztása, ebben a zsalutechnológus nyújt segítséget. Hagyományos háromrétegű fa zsaluhéjak esetén célszerű új zsaluzó táblát használni, míg műanyag héjak használata állandó minőséget biztosít az egész kivitelezés folyamán. A zsalumintás látszófelületek esetében sokszor szükség van a zsalulenyomati kép tervezésére is. A zsaluzatra zsalufólia kasírozásával teljesen egyedi, szövetszerű felület kialakítása lehetséges. A fólia szivárgó rendszerként működve a felület közeléből elvezeti a felesleges vizet, ezzel megszüntetve a légbuborékok képződésének lehetőségét is. A zsaluhéj könnyed és sérülésmentes eltávolítása érdekében érdemes már a tervezés során figyelmet fordítani arra, hogy a zsaluzatot betonozás előtt milyen formaleválasztó anyaggal kezelik. A formaleválasztó anyag fajtája és a felkent anyag

menyisége is befolyásolja a végleges beton felületet. A formaleválasztó szer csak abban az esetben tudja az elvárt eredményt biztosítani, ha egyenletesen és vékonyan borítja a zsaluzat felületét. A túlzott formaleválasztó szer alkalmazása esetén megszűnhet a beton felületi habarcsrétegének folytonossága. [31]

2.6. Látszóbeton utókezelése

A beton kötési folyamata exoterm, amely a cement és víz kémiai reakciójának eredménye. A beton szerkezeti vastagságától függően az utókezelés eltérő lehet. A hidratáció során betonok belsejében kialakuló adiabatikus környezet hőelvezetési problémákat okoz, mivel a betontest magja és felszíne között kialakuló hőmérséklet-különbség a betonban a megengedhető húzófeszültségnél nagyobb feszültséget okoz, amely repedések kialakulásához vezethet. [35]

Látszóbeton esetén gondos és alapos utókezelésre van szükség. Ennek megtervezésekor figyelembe kell venni az aktuális időjárási viszonyokat is. A tartósság fokozása érdekében a betonnak nemcsak „erősnek”, hanem tömörnek is kell lennie, különösen a felületközeli részeken. Minél kisebb a porozitás és minél tömörebb a megszilárdult cementkő, annál nagyobb az ellenállása a külső környezeti hatásokkal, igénybevételekkel és támadásokkal szemben. Látszóbeton szerkezeteket érdemes hosszabb ideig még a függőleges szerkezeteket is több napig – a zsaluzatban tartani, csökkentve ezzel a felületek, élek sérülésének esélyét és növelve az egyenletes utókezelést. A zsaluzatok forgási ideje ebben az esetben jelentősen módosul, növelve a kivitelezési költségeket. A látszóbetonok esztétikus megjelenésének egyik alapfeltétele az egyenletes és megfelelő mértékű utókezelés. Ennek eléréséhez párazáró film alkalmazása a legbiztonságosabb mód, bár ez egyenetlen felhordás esetén foltokat hagyhat, így a nedvesen tartás is jó megoldás lehet. A fóliával való letakarás a nem zsaluzott, szabadon maradó felületeknél és a zsaluzat eltávolítása után szabaddá váló felületeknél lehetséges.



29. ábra: Beton utókezelése

A műanyag fólia használata különösen ajánlott a látszóbetonoknál, mivel azok nagymértékben gátolják a nem kívánatos kivirágzást. Mindenképpen kerüljük a vízszugárral történő közvetlen locsolást. Mivel ez – túl azon, hogy sérülést okozhat a felületen – kivirágzást, színeltérést és mikroropedéseket okozhat, amelyek esetleg csak később jelennek meg szemmel látható módon a beton felületén. A betonfelület utólagos megmunkálásával (kikefélés, homokfúvás) egyedi látszófelület alakítható ki. Használhatóak például színezett felületvédő anyagok, melyek a felület színének egyenletességét segítik elő. [3], [31]

3. Kutatási program

3.1. Kutatómunka célja

Egy - többek között - látszóbeton elemeket gyártó cég azzal keresett meg minket, hogy a már meglévő beton receptúrájukat dolgozzuk át, tökéletesítsük és specifikáljuk meghatározott alkalmazási célokra. A betonüzem legfőbb problémája a kültéren elhelyezett beton elemek kivirágzása volt, mellette a felületi hajsza-repedések mennyiségét és a porozitást szeretnék volna csökkenteni. Fontos szempont volt a cég részéről, hogy az új receptúra olyan legyen, hogy a frissbetonnal könnyen lehessen dolgozni, ugyanakkor a végső termék megfeleljen a szilárdsági és esztétikai követelményeknek. Célunk az volt, hogy lehetőleg az alapanyag beszállítók megtartásával a lehető legjobb betonreceptúrát készítsük el.

3.2. Kutatás során elvégzendő kísérletek, mérések

3.2.1. Adalékanyag vizsgálatok

3.2.1.1. Nedvességtartalom mérés

Az adalékanyag tömegét meg kell mérni, majd denaturált szesz elégetése segítségével elpárologtatni az adalékanyagban levő vizet és újból megmérni az immár száraz adalékanyag tömegét. A száraz és nedves tömeg közti különbség az adalékanyagban levő víz mennyisége, ezt a száraz tömegre vetítve megkapjuk százalékos formában az

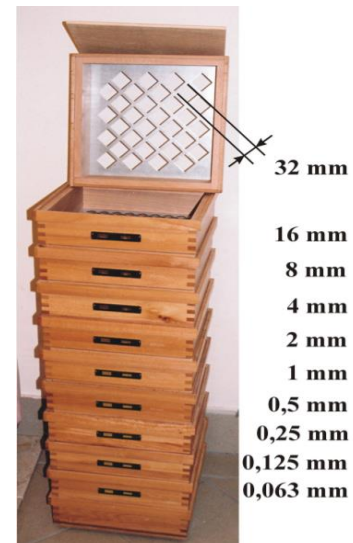


30. ábra: Az adalékanyagban lévő nedvesség elpárologtatása denaturált szesz égetésével

adalékanyag nedvességtartalmát. A mérés előnye, hogy helyszínen is elvégezhető, így a receptúra beállításánál jól használható.

3.2.1.2. Szemmegoszlás meghatározása

A szemmegoszlási görbe a szitavizsgálat eredményei alapján állítható elő. A szitavizsgálat során 11 különböző lyukbőségű (32; 16; 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25; 0,125; 0,063 mm) szitát használtunk. Először az adalékanyagot tömegállóságig ki kell szárítani. Ezt követően a vizsgálatra kimért adalékanyagot az alulról felfelé növekvő lyukbőségű szitasorozat legfelső tagjára rá kell önteni és a szita vízszintes mozgásával vagy vibrálással addig kell rostálni, amíg már semmi sem hull át a legalsó szitán. A vizsgálati jegyzőkönyvben meg kell adni az egyes szitákon áthullott és fennmaradt anyagot m%-ban a teljes vizsgált anyagmennyiséghez viszonyítva. [13]



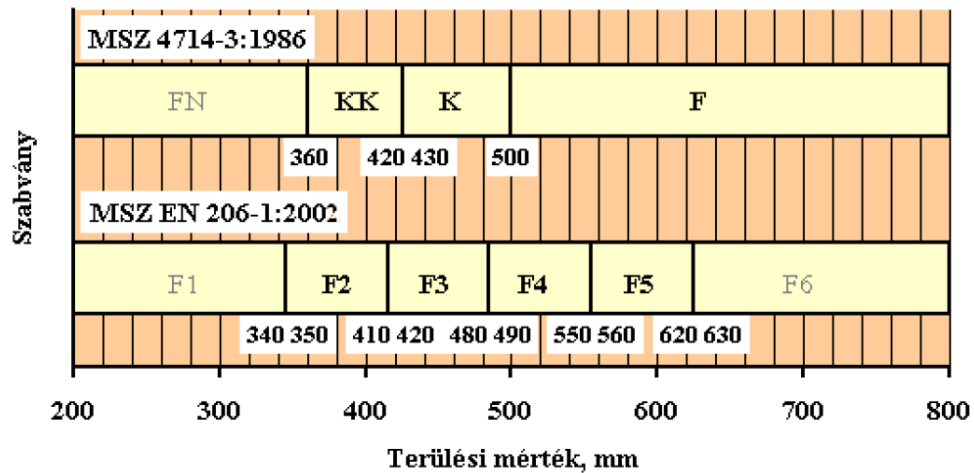
31. ábra: Szabványos szitasor [33]

3.2.2. Frissbeton vizsgálatok

3.2.2.1. Terület mérés

Közönséges betonok esetén a kúpforma ($h=200$ mm) belső falának benedvesítését követően azt rá kell helyezni egy merev, sima, vízszintbe állított nem nedvszívó alapra úgy, hogy a kúp és az alap között a vizsgálat ideje alatt cementpép, vagy víz ne folyhasson ki. Ezt követően a betonkeveréket az előkészített formába két egyforma vastagságú rétegben kell bedolgozni. Minden egyes réteget a csömöszölő rúd (négyzet alakú 40 ± 1 mm oldalhosszú fahasáb) 10-szeres egyenletes beszúrásával kell tömöríteni a réteg teljes mélységében. Az utolsó réteget úgy kell betölteni, hogy az a kúp felső pereme fölé púpozódjon. A tömörítés befejezésével a felső réteget le kell húzni a csömöszölő rúd fűrészelő mozgásával, ezt követően a formát függőleges irányba mozgatva óvatosan le kell emelni a betonról. A forma eltávolítását követően azonnal le kell mérni a betonkúp területét, és a mért értéket 5 mm-re kerekítve kell megadni. [33]

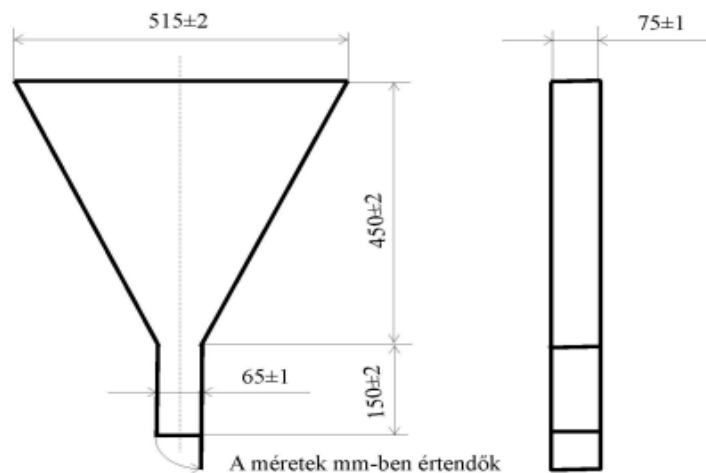
**Területi mérték az MSZ 4714-3
és az MSZ EN 206-1 szabvány szerint**



32. ábra: Szabvány szerinti területi osztályok [34]

3.2.2.2. Tölcséres kifolyási idő mérés (nevezik V-tölcséres kifolyási vizsgálatnak is)

A tölcséres kifolyási idővel a beton viszkozitását és térkitöltő képességét tudjuk jellemezni. A tölcséres kifolyási időt az MSZ EN 12350-9:2010 szabvány szerint kell megmérni. A mérés eszköze egy fémből készült trapéz alakú tölcsér, melynek pontos méretei 33. ábrán láthatók. Az öntömörödő betonok konzisztencia vizsgálatához való.



33. ábra: MSZ EN 12350-9:2010 szabvány szerinti
kifolyási tölcsér (méretek mm-ben értendőek) [32]



34. ábra: Tölcséres kifolyási idő mérés

A bezárt zárszerkezetű, tiszta, benedvesített, de nem vizes tölcserő meg kell tölteni betonnal, tömöríteni tilos. (10 ± 2) s várakozási idő leteltével ki kell nyitni a tölcserő alján lévő zárszerkezetet, ezzel egyidőben elindítani a stopper órát, amikor az tölcserőből az összes beton kifolyt meg kell állítani az órát és a mért időt a következő 0,5 másodpercre kell kerekíteni. Amennyiben a beton kifolyása elakad, akkor új mintán kell megismételni a mérést. [33]

Tölcséres kifolyási idő	
MSZ EN 12350-9:2010 szabvány szerint	
Konzisztencia osztály	Kifolyási idő [s]
VF1	< 9,0
VF2	9,0 - 25,0

35. ábra: Tölcséres kifolyási idő mérésének szabványos kiértékelése [32]

3.2.2.3. Fékező gyűrűs terület vizsgálat (nevezik blokkológyűrűs vizsgálatnak is)

A fékező gyűrűs vizsgálattal az öntömörödő frissbeton azon bedolgozási körülményeit modellezzük, amelynek során a betonnak szétosztályozódás nélkül kell leküzdeni akadályokat, mint például a vasbetonban az acél armatúrát. A vizsgálatot az MSZ EN 12350-12:2010 szabvány szerint kell elvégezni. A fékező gyűrűs vizsgálat eszközei: - a roskadási terület vizsgálatához hasonlóan – Abrams féle Ø200/Ø100x300 mm méretű roskadás mérő kúp, egy 900x900 mm



36. ábra: Fékező gyűrűs terület vizsgálat során a szétterülő öntömörödő beton

élhosszúságú terület mérő asztal és egy kör ($D = 300 \pm 2$ mm) alakú fésű lefelé álló körgyűrű 12 vagy 16 db acél foggal ($d = 18 \pm 0,5$ mm, $h = 125$ mm). A terület mérő asztalt vízszintes helyzetbe kell helyezni (az élek esése ≤ 3 mm). A belülről vizes ruhával nedvesített Abrams-

féle roskadás mérő kúpot álló helyzetben, nagyobb nyílásával lefelé helyezzük el a szintén nedvesített terület mérő asztalra, majd megtöltjük a kúpot frissbetonnal. 30 s várakozási idő után a kúpot 1-3 s alatt függőlegesen fel kell emelni. A szétterülő beton átfolyik a fékező gyűrűn. A fékező gyűrűs területi mértéket a szétterült beton két egymásra merőleges, 1 mm pontossággal leolvasott átmérőjének átlaga adja.

3.2.3. A megszilárdult beton tulajdonságainak mérése 28 napos korban

3.2.3.1. Nyomószilárdság vizsgálata

A vizsgálatot MSZ EN 206-1:2002 szabvány alapján hengeres, illetve kocka próbatesten végzik, erővezérelt nyomógéppel. A vizsgálat során használt nyomógép nyomólap felülete nagyobb, mint a próbatest nyomott felülete. A $0,5 \text{ N/mm}^2/\text{s}$ egyenletesen növekvő terhelésnek központosnak kell lenni, amit a gépbe épített csuklók biztosítanak. A vizsgálat a maximális nyomóerő eléréséig tart. A vizsgálatot több próbatesten kell elvégezni és a törőfeszültséget minden próbatestre meg kell határozni az alábbi képlettel.



37. ábra: Kocka alakú próbatesten végzett nyomószilárdság vizsgálat

$$\sigma = \frac{F}{A}, \text{ ahol:}$$

$\sigma \text{ [N/mm}^2\text{]}$ a törőfeszültség,

$F \text{ [N]}$ a törőerő,

$A \text{ [mm}^2\text{]}$ a próbatest nyomott felülete

3.2.3.2. Testsűrűség mérés

A megszilárdult próbatest térfogatát és tömegét meg kell mérni, az alábbi képlettel megkapható a beton testsűrűsége.

$$\delta = \frac{m}{V}, \text{ ahol:}$$

δ [g/cm³] a beton testsűrűsége,

m [g] a próbatest tömege,

V [cm³] a próbatest térfogata

3.3. Helyszíni szemle

A tökéletes receptúra kidolgozásához elengedhetetlen volt megnézni az üzemben folyó munkát az előkészítéstől az utókezelésig.

A szemlét az alapanyagok vizsgálatával kezdtük. Elkészítettük az üzem által használt adalékanyag szemmegoszlási görbáját, (45. ábra) az is kiderült, hogy a beszállító 0/4 és 4/8 frakciók összekeverésével állítja elő az adalékanyagot. Ez azért fontos számunkra, mivel beszerezhető a két különböző frakció is, így a későbbiekben lehetőség volt ezek különböző arányú keverésére. Megnéztük az üzem adalékanyag depóniáját. Fedetlen színben tárolták a homokos kavicsot, így az adalékanyag nedvességtartalma folyamatosan változott, ezt a számításokban figyelembe kellett venni. Az alapanyagok tanulmányozását követően az előkészítő munkákat néztük meg alaposabban, ott mindent rendben találtunk, korszerű zsalutechnikával dolgoznak, megfelelő mennyiségű és minőségű zsaluleválasztó olajt használtak. Harmadik lépésben a beton keverésének és bedolgozásának folyamatát szemrevételeztük figyelmesebben. Már az elején feltűnt, hogy a munkások nem tartják be pontosan a receptúrát, ez főleg a víz adagolásánál jelentett problémát. A receptúrában előírt vízmennyiséggel nehezen volt bedolgozható a frissbeton, így extra vizet adtak hozzá, ami minőségi (szilárdság, porozitás, korai zsugorodás, stb.) problémákat okoz. A bedolgozást követően megfigyeltük a tömörítést és az utókezelést, ezeket nagyon precízen hajtották végre. Összességében az üzem egy megtervezett receptúra alapján dolgozott, viszont nem tartotta be pontosan az előírt mennyiségeket. A későbbiekben az üzem által használt receptúrát fejlesztjük tovább és több receptúrát tervezünk.

3.4. Tervezési alaphelyzet

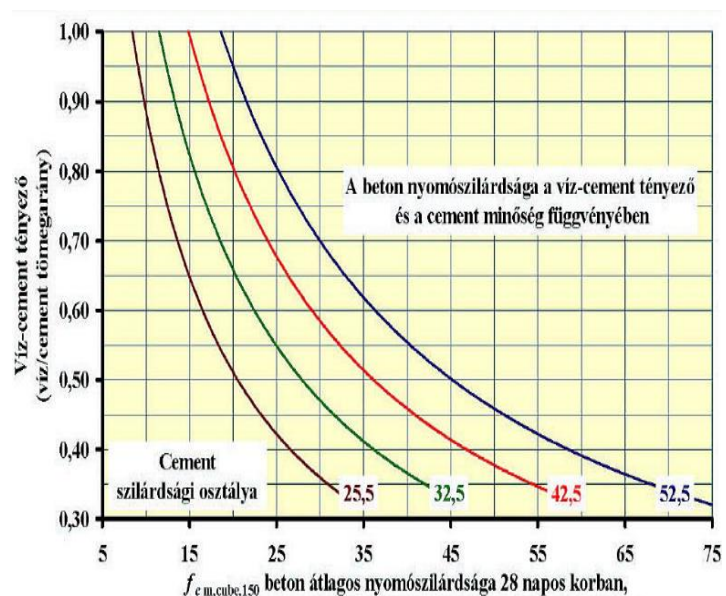
A receptúra tanulmányozása és a helyszíni szemle után kezdődött a tervezés. A beton összetétel tervezés során a következő feltételeket kellett teljesítenünk:

- csak a már eddig is használt adalékanyag használható,
- az adalékanyag víztartalma a szabadtéri tárolás miatt változik,
- a szürke cementes elemek nem virágozhatnak ki,
- a beton felületén lévő hajsza-repedések minimalizálása,
- a végső felület ne legyen pórusos,
- a frissbeton könnyen bedolgozható legyen,
- legyen legalább egy öntömörödő receptúra.

3.5. Beton összetétel tervezés

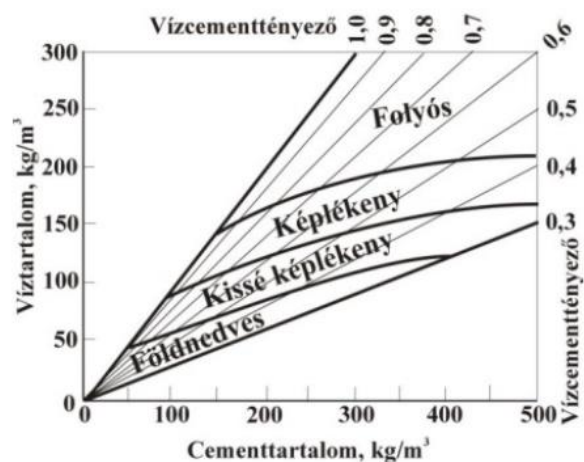
3.5.1. Általánosan

Ahhoz, hogy a tervezett beton kielégítse a látszóbeton felületekkel szemben támasztott magas követelményeket repedés és pórus mentes felületet kellett elérnünk. A víz-cement tényező csökkentésével növelni tudtuk a tömörséget és a szilárdságot, ami egyenletes és esztétikus betonfelületet eredményezett.



38. ábra: A beton nyomószilárdság [MPa] - víz/cement tényező összefüggése [34]

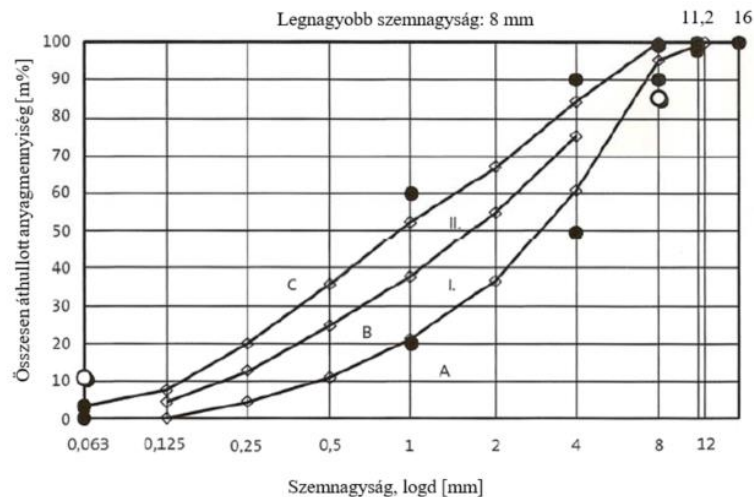
A megfelelő bedolgozhatósághoz szükséges konzisztenciát folyósító adalékszer(ek) adagolásával, alacsony víz/cement tényező mellett kell elérni, hogy a szilárdság és a felület megfeleljen az elvárásoknak.



39. ábra: A víz és cementtartalom hatása a frissbeton konzisztenciájára [33]

3.5.2. Adalékanyag

A beton üzem az adalékanyagot a 0/4-es és a 4/8-as frakció 1:1 arányú keverékében rendelte. Az adalékanyag és annak beszállítója adott, viszont így is volt lehetőség a fejlesztésre. Jobb minőség érhető el, ha a homokot és a kavics frakciót külön mérve adagoljuk. Így lehetőség van az általunk leginkább megfelelő szemmegoszlás elérésére.



40. ábra: Szemmegoszlási határgörbék 8 mm legnagyobb szemcseméret esetén [21]

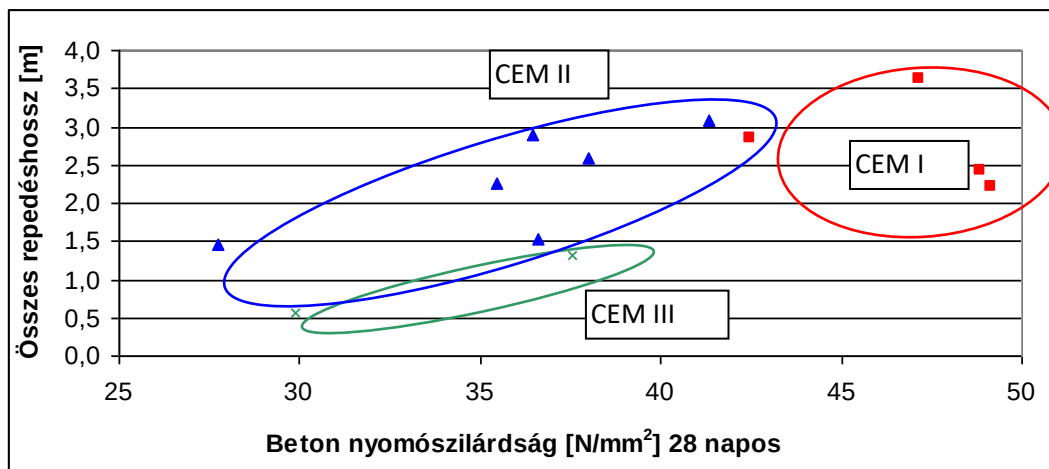
3.5.3. Adalékszer

Alacsony víztartalommal a bedolgozáshoz szükséges konzisztencia csak folyósító adalékszer adagolásával érhető el. Ehhez folyósítószeret terveztünk a receptúrákba, az eltarthatóság növelése érdekében pedig kötéskésleltetőt használtuk.

3.5.4. Cement

A receptúrákhoz megfelelőnek találtuk az üzem által eddig is használt CEM I 52,5 R típusú cementet, melynek a fehér színe mellett a korai nagy szilárdság az előnye. A sókivirágzásnak ellenálló receptúrába CEM III 32,5 típusú cementet terveztünk, mivel az ellenáll az agresszív kémiai hatásoknak, kiváló alapanyag a talajvíznek fokozottan kitett betonok készítéséhez és alacsonyabb portlandcement-klinker tartalma miatt kivirágzásra

jóval kevésbé érzékeny. További előnye, hogy hidratációja kis hőfelszabadulással megy végbe, így a repedési hajlam csökken.



41. ábra: Betonok korai zsugorodási repedésérzékenysége és az alkalmazott cementek szabványos nyomószilárdsága közti összefüggés [30]

3.5.5. Kiegészítő anyag

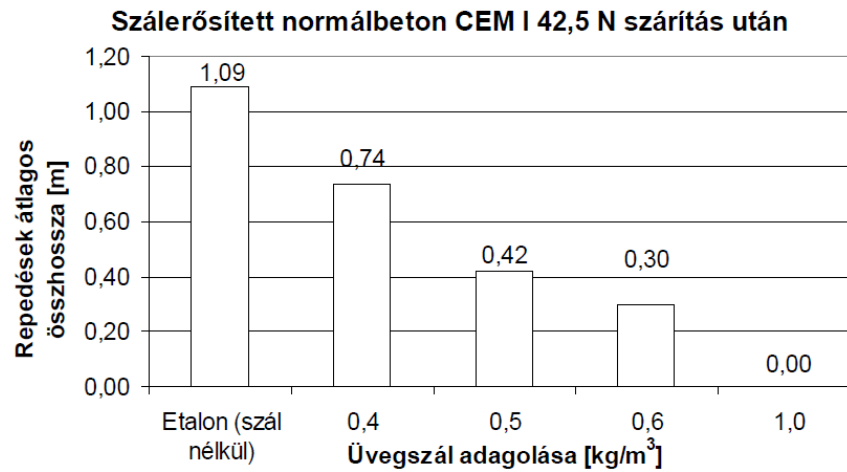
Az 1/A receptbe az üzem által eddig is használt mészkőlisztet adagoltunk, mely növeli a finomrésztartalmat, javítja a bedolgozhatóságot és a szemmegoszlási görbét. A 2-es és 3/A receptúrákba metakaolint adagoltunk, amely részt vesz a kötésben, így nagyobb szilárdság és cementmegtakarítás érhető el vele. További előnye a metakaolinnak, hogy a portlandittal, amely a kivirágzást okozza reakcióba lép a kötés során és fogyasztja azt, ezzel csökkentve a kivirágzás esélyeit.

3.5.6. Műanyag szál

Kétféle (mikro és makro) műanyag szálakat terveztünk a betonokba. A makroszálakat a teherbírás növelése és a mechanikai hatásoknak való nagyobb ellenállás érdekében terveztük a receptúrákba. A mikro szálakat pedig a korai zsugorodásból származó repedések csökkentésére alkalmaztuk. A 43. ábra a szálak adagolása és a repedések átlagos összhossza közötti összefüggést mutatja.



42. ábra: Műanyag szálak adagolása a betonba



43. ábra: Szálerősített betonok korai zsugorodási repedésérzékenysége azonos szál esetén, száladagolás szerint [30]

3.6. Beton keverése

A kísérleti betonozások során Imer Mix 750 Bolygóműves (VTSZ:84743100) betonkeverőt használtunk.



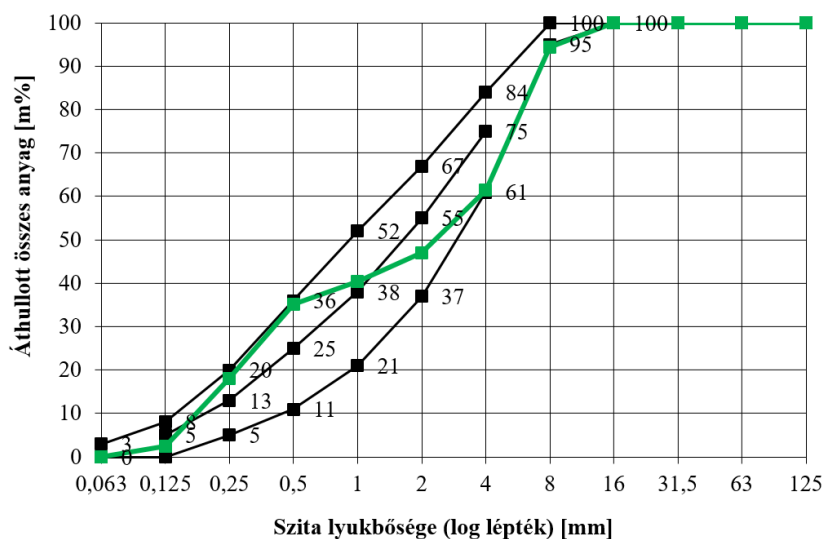
44. ábra: A kísérletek során használt kényszerkeverő

3.7. Kísérleti keverések

Kísérlet sorozatunkat az üzemben használatos adalékanyag szemmegoszlásának vizsgálatával (3.2.1.2. fejezetben leírtak alapján) kezdtük.

Szita	Fennmaradt anyag [g]	Fennmaradt anyag [m%]	Áthullott összes anyag [m%]
125	0	0	100
63	0	0	100
31,5	0	0	100
16	0	0	100
8	111	6	94
4	658	33	61
2	288	14	47
1	131	7	40
0,5	105	5	35
0,25	344	17	18
0,125	312	16	2
0,063	48	2	0
tálca	6	0	0
Összes	1997	100	

45. ábra: A használt adalékanyag szitavizsgálatának eredménye



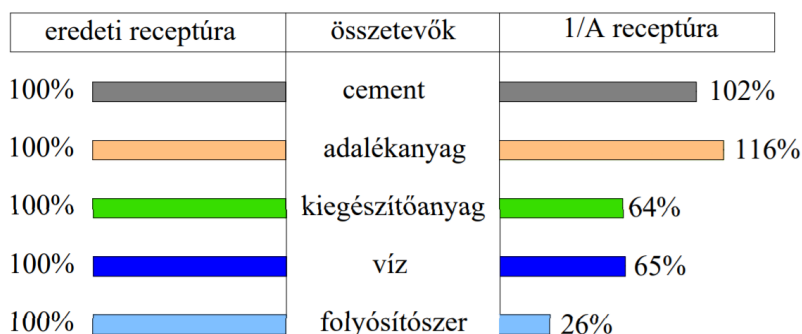
46. ábra: A használt adalékanyag szemmegoszlási görbéje (zöld), szabványos szemmegoszlási határgörbék (fekete)

Folytatva az adalékanyag vizsgálatokat, megmértük a homokos kavics nedvességtartalmát, amely 7,7 m% lett (3.2.1.1. fejezetben leírtak alapján). A mindenkor aktuális többlet víz

mennyiséget az összetétel tervezésekor minden esetben belekalkuláltuk a keverék víztartalmába.

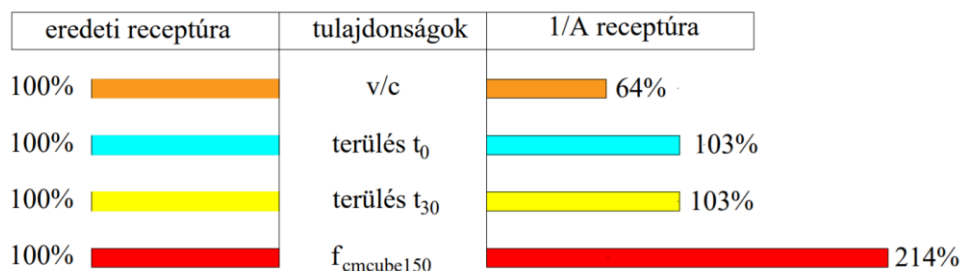
Kiindulásként a munkások a szokott módon megkeverték az eredeti receptet, látván azt, hogy nem tartották be pontosan a receptúrát (többit vizet adagoltak), így a továbbiakban eredeti receptúrának az általuk megkevert keveréket nevezzük. Kötőanyagként CEM I 52,5 R típusú cementet használtak, finomrészként mészkölisztet adagoltak, adalékszerként olyan folyósítószer alkalmaztak, ami a hosszú konzisztencia eltarthatóságot biztosít. A folyósítószerrel nem érték el a bedolgozáshoz szükséges konzisztenciát, így többit vizet adagoltak, amivel a víz-cement tényező 0,61-re adódott. A frissbeton területe (3.2.2.2. fejezetben leírtak alapján) 675 mm lett, 30 perc elteltével pedig 600 mm volt, és kissé kivért a beton. A keverékből készült próbatestek 28 napos nyomószilárdságának átlaga 27,4 N/mm² lett.

Az 1-es receptúra, azaz egy általános felhasználású látszóbeton kidolgozásával kezdtük a próbabetonozásokat. Az 1/A recept tervezésekor az eredeti keverékben használt alapanyagok arányán változtattunk és a víz-cement tényezőt csökkentettük, illetve megváltoztattuk az eredetileg használt folyósítószer típusát. A frissbeton területe 695 mm, 30 perc elteltével 618 mm lett és a beton nem vérzett ki. Az 1/A recept alapján készült beton 28 napos átlagos nyomószilárdsága 58,1 N/mm² lett.



47. ábra: Az eredeti- és az 1/A receptúra relatív összehasonlítása

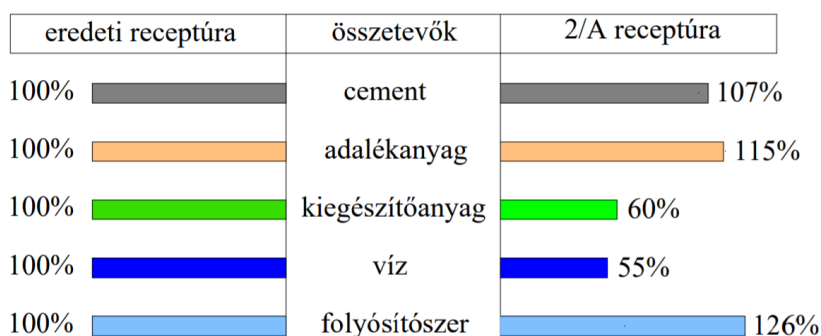
A nagyobb szilárdság, kevésbé porózus felület és korai zsugorodásból származó repedések csökkentése érdekében csökkentettük a v/c tényezőt. A beton összetartókéességének növelése céljából alkalmaztunk új adalékszer.



48. ábra: Az eredeti- és az 1/A receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

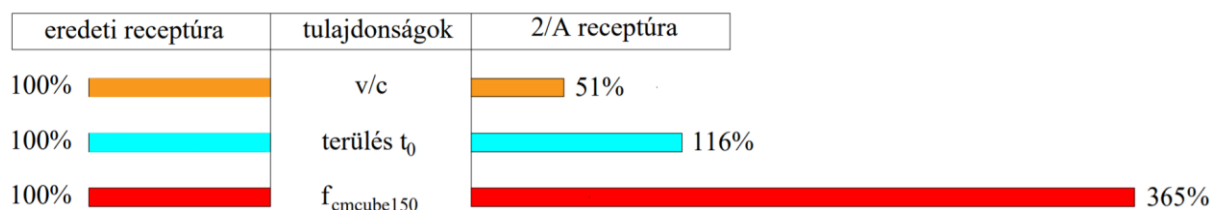
Az összehasonlításból jól látszik, hogy a víz-cement tényező csökkentésével nőtt a nyomószilárdság, emellett sokkal tömörebb betont kaptunk, így a porozitás is jelentősen csökkent. A terület mérés során nem történt szétosztályozódás, elértük a célunkat az új típusú folyósítószerrel. A beton tulajdonságai megfeleltek az üzemnek, így az 1-es receptúra sorozatban nem készült másik keverék.

Ezután elkezdtek a 2-es receptúra sorozat, azaz egy fehér, öntömörödő, nagy szilárdságú beton keverék kidolgozását. A 2/A recept az 1/A-ba tervezett alapanyagokat tartalmazza más arányban, kivéve a cementkiegészítő anyagot, itt mészkőliszt helyett metakaolint használtunk, ami jelentős utószilárdulást eredményez.



49. ábra: Az eredeti- és a 2/A receptúra relatív összehasonlítása

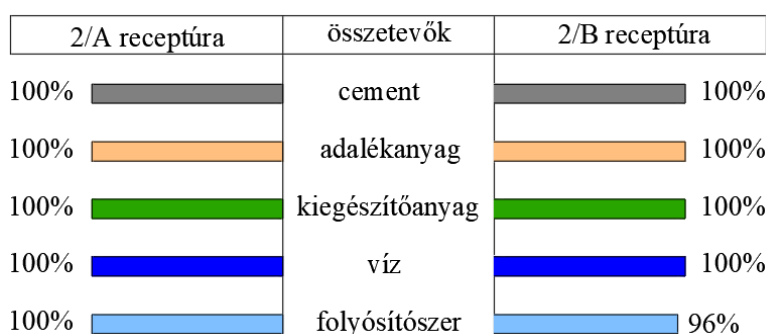
A 2/A recept alapján készült beton területe 780 mm lett, így az öntömörödő konzisztencia osztályba lehet besorolni, viszont a kifolyási ideje 29 s, ami sok és légzárványokat okoz a betonban. A beton víz-cement tényezője 0,37 volt, a készített próbatestek nyomószilárdságának átlagértéke 99,8 N/mm² lett.



50. ábra: Az eredeti- és a 2/A receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

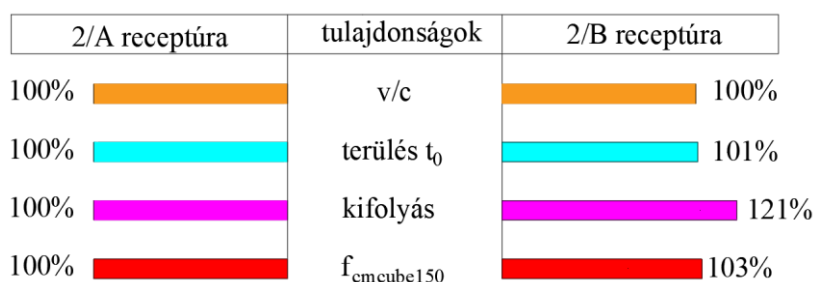
A 2/A receptúra alapján készített beton terüleskor kissé kivérzett, enyhén ragadós állagú volt és csak 20 percig tartotta a megfelelő konzisztenciát.

A 2/B recept tervezésekor az előzőhöz képest csak az adalékszer típusában és adagolásában változtattunk. Az eltarthatóság növelése érdekében kipróbáltunk a két rendelkezésre álló adalékszer keverékét, a 2/A-ban használt folyósítószer adagolását csökkentettük.



51. ábra: A 2/A és a 2/B receptúra relatív összehasonlítása

A 2/B receptúra alapján készült beton víz-cement tényezője szintén 0,37, területe 788 mm, kifolyási ideje 35 s lett, amely jelentősen meghaladja az öntömörödő betonokhoz Zsigovics által ajánlott 20 s-ot. A készült próbatest átlagos nyomószilárdsága 102,7 N/mm² lett.



52. ábra: A 2/A és 2/B receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

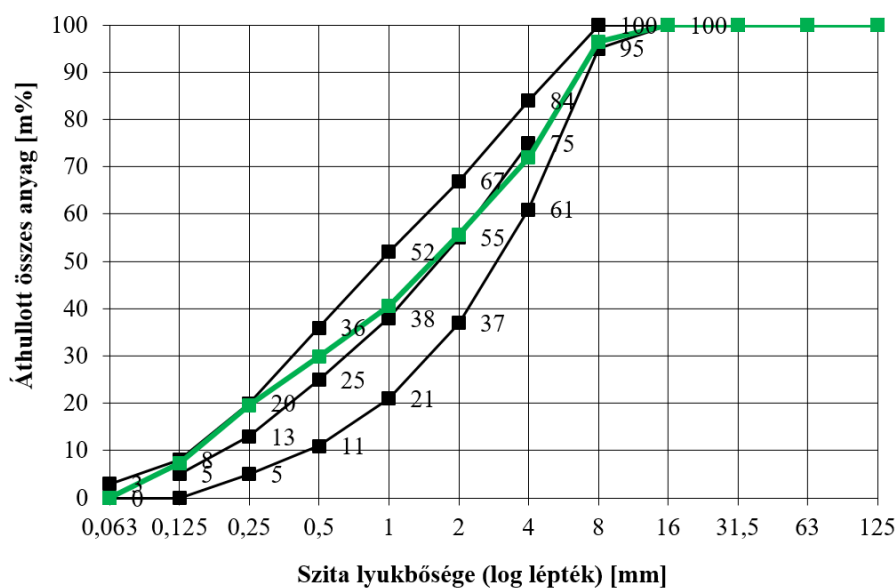
A 2/C receptúra tervezésekor a leginkább megfelelő szemmegoszlás elérése érdekében az adalékanyagot 0/4-es frakciójú homok és 4/8-as frakciójú kavics 3:1 arányú keverékéből állítottuk elő.

Szita	Fennmaradt anyag [g]	Fennmaradt anyag [m%]	Áthullott összes anyag [m%]
125	0	0	100
63	0	0	100
31,5	0	0	100
16	0	0	100
8	0	0	100
4	77	4	96
2	420	22	74
1	387	20	54
0,5	279	14	40
0,25	266	14	26
0,125	315	16	10
0,063	190	10	0
tálca	58	0	0
Összes	1933	100	

Szita	Fennmaradt anyag [g]	Fennmaradt anyag [m%]	Áthullott összes anyag [m%]
125	0	0	100
63	0	0	100
31,5	0	0	100
16	0	0	100
8	111	14	85
4	658	85	0
2	0	0	0
1	0	0	0
0,5	0	0	0
0,25	0	0	0
0,125	0	0	0
0,063	0	0	0
tálca	0	0	0
Összes	770	100	

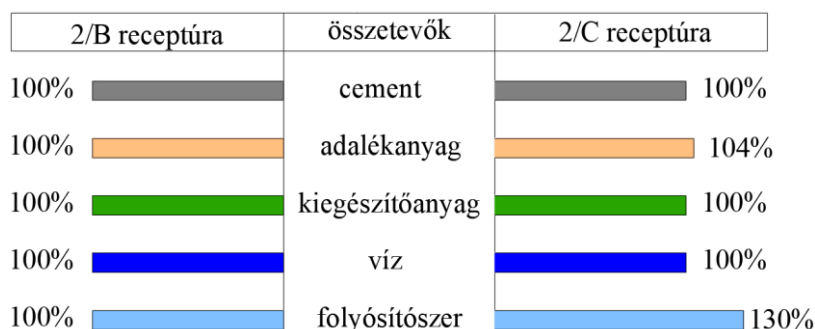
53. ábra: 0/4-es frakció szitavizsgálatának eredménye

54. ábra: 4/8-as frakció szitavizsgálatának eredménye



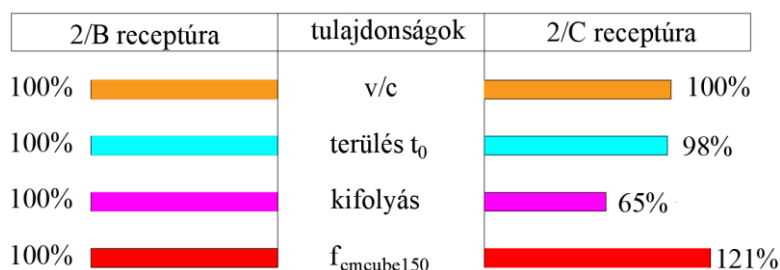
55. ábra: 0/4 és 4/8 frakció 1:3 arányú keverékének szemmegoszlási görbéje (zöld), szabványos szemmegoszlási határgörbék (fekete)

A 2/C receptúrát 0,37-os víz-cement tényezővel terveztük, új folyósítószer fajtát választottunk, egy olyat, amivel átlagon felüli vízmegtakarítás érhető el és a gyártó öntömörödő betonokhoz javasolja. Az adagolást 2,5%-ra emeltük a cement tömegéhez viszonyítva. A két különböző frakció nedvességtartalmát ismét megmértük, a homoké 7,1 m%, a kavicsé 0,70 m% lett.



56. ábra: A 2/B és 2/C receptúra relatív összehasonlítása

Az új adalékszer adagolásával úgy értünk el víz megtakarítást, hogy a kifolyási időt csökkenteni tudtuk 22,9 s-ra és a terület mindössze 2%-kal csökkent, 770 mm lett. A víztartalom csökkentésével a szilárdság is nőtt, az átlag nyomószilárdság 124 N/mm² lett.



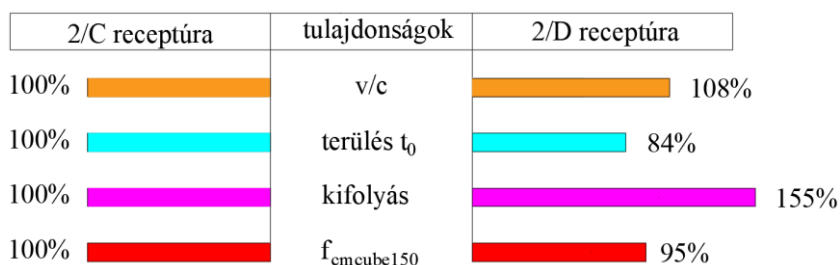
57. ábra: A 2/B és 2/C receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

A 2/D receptúrában a 2/C-hez képest növeltük a víz-cement tényezőt 0,4-ra és 3%-ra emeltük a folyósítószer adagolását a cement tömegéhez viszonyítva, ezen kívül csökkentettük a cement és kiegészítőanyag mennyiségét is.



58. ábra: A 2/C és 2/D receptúra relatív összehasonlítása

A konzisztencia kedvezőtlenül változott, a frissbeton területe 648 mm-re csökkent, míg a kifolyási idő 35,6 s-ra nőtt. Az átlagos nyomószilárdság 117,2 N/mm² lett.



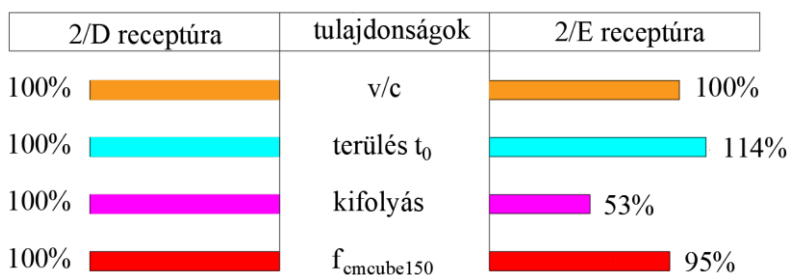
59. ábra: A 2/C és 2/D receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

A 2/E receptúrában megnöveltük a péptartalmat, így a víz-cement tényező továbbra is 0,4 volt, emellett növeltük a kiegészítőanyag és cement tartalmat. A kedvezőbb konzisztencia elérése céljából 3%-os növeltük a folyósítószer adagolást alkalmaztunk a cement tömegéhez viszonyítva.



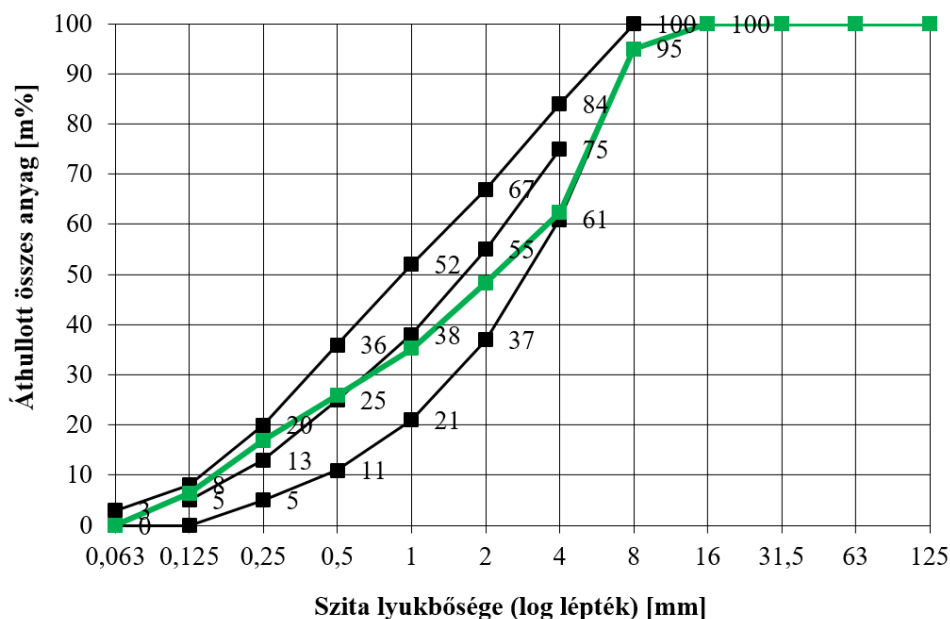
60. ábra: A 2/D és 2/E receptúra relatív összehasonlítása

A várakozásoknak megfelelően frissbeton kifolyási ideje lecsökkent 19 s-ra és a területe 740 mm lett, ami már megfelel az öntömörödő kritériumnak.



61. ábra: A 2/D és 2/E receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

A 2/G receptúra adalékanyagát a 0/4-es frakciójú homok (65%) és a 4/8-as frakció kavics (35%) keverékéből állítottuk elő, így kedvezőbb szemmegoszlási görbét kaptunk.



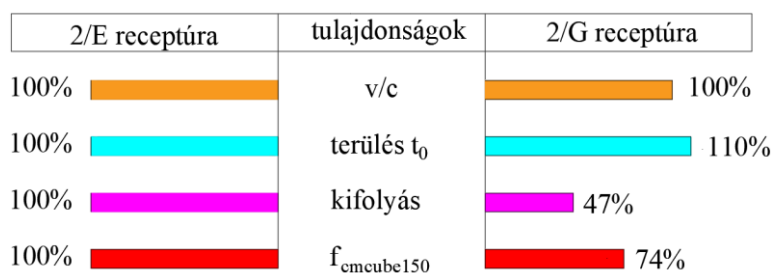
62. ábra: 0/4 (65%) és 4/8 (35%) frakció keverékének szemmegoszlási görbéje (zöld), szabványos szemmegoszlási határgörbék (fekete)

A 2/G receptúrát 0,4-es víz-cement tényezővel terveztük, másik típusú folyósítószer használtunk, amivel szintén átlagon felüli víz megtakarítás érhető el és tartós folyósító hatást biztosít, emellett használtunk egy kötőkéstseltető adalékszer is.

2/E receptúra	összetevők	2/G receptúra
100%	cement	100%
100%	adalékanyag	96%
100%	kiegészítőanyag	100%
100%	víz	100%
100%	folyósítószer	33%
	kötőkéstseltető	100% = 0,2% (cement tömegére vetítve)

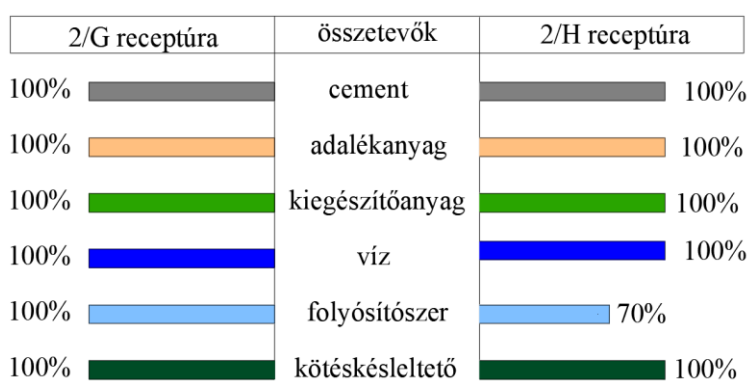
63. ábra: A 2/E és 2/G receptúra relatív összehasonlítása

Az átlagos nyomószilárdság $82,9 \text{ N/mm}^2$ lett és a konzisztencia kedvezően alakult, a frissbeton területe 813 mm , míg a kifolyási idő 9 s lett. 30 perc elteltével megismételtük a méréseket, a terület 760 mm , a kifolyási idő $17,8 \text{ s}$ lett, ami ebben az esetben nemcsak az öntömörödő konzisztenciát, de a megfelelő eltarthatóságot is jelenti.



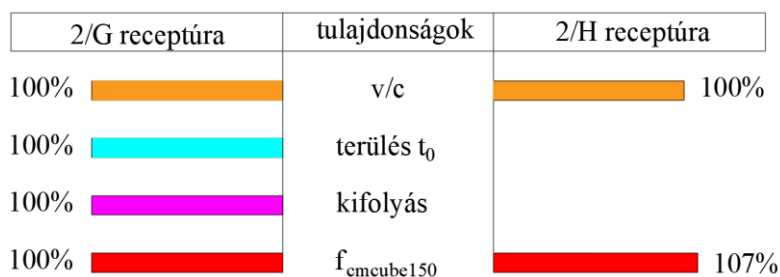
64. ábra: A 2/E és 2/G receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

A 2/H keverékben a 2/G receptúrához képest a folyósító adalékszer mennyiségét csökkentettük 0,7% -ra a cement tömegéhez viszonyítva.



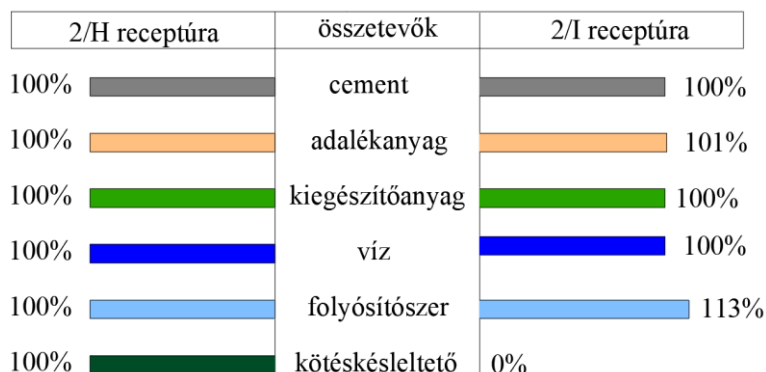
65. ábra: A 2/G és 2/H receptúra relatív összehasonlítása

A cél a beton ragadósságának elkerülése és a bedolgozáshoz megfelelő konzisztencia elérése volt. A konzisztencia nem lett megfelelő, a V-tölcséres kifolyási idő mérő eszközökből nem folyt ki.



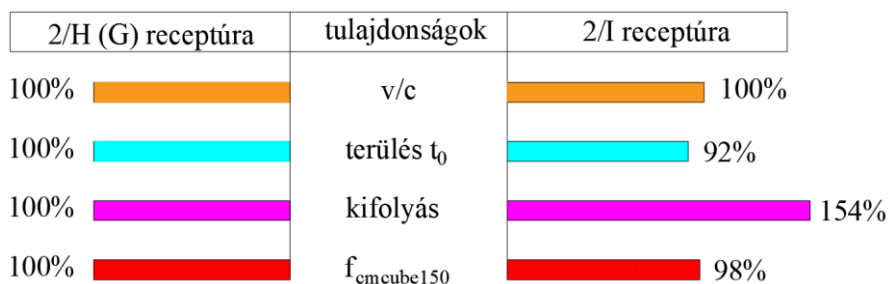
66. ábra: A 2/G és 2/H receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

A 2/I receptúrát 0,4-es víz-cement tényezővel terveztük, a folyósító adalékszer adagolását 0,8%-ra növeltük és elhagytuk a kötéskésleltető adalékszer, hogy meggyőződjünk annak hasznosságáról.



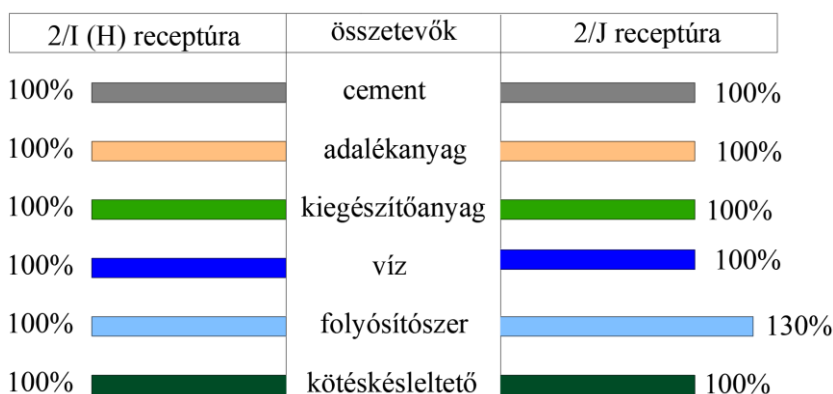
67. ábra: A 2/H és 2/I receptúra relatív összehasonlítása

A frissbeton kifolyási ideje 13,9 s, a területe 745 mm lett, 30 perc elteltével megismételtük a konzisztencia méréseket, a kifolyási idő 26 s, a terület pedig 665 mm lett. A keverés végétől 30 percre végzett konzisztencia mérések eredményei mutatják a kötéskésleltető fontosságát, mivel mindkét esetben jelentősen kedvezőtlen irányú változást tapasztalhattunk a frissbeton konzisztenciájához képest. A keverékből készített próbatestek átlagos nyomószilárdsága 86,4 N/mm² volt.



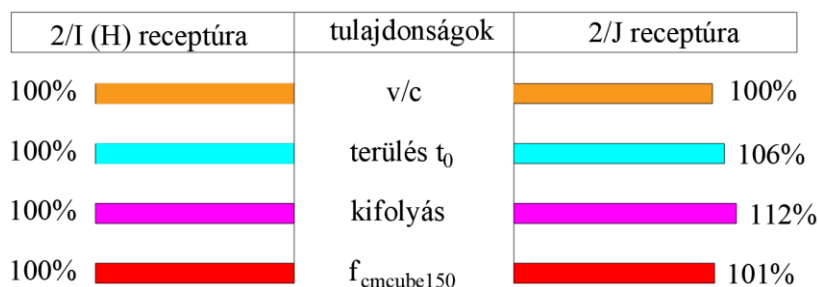
68. ábra: A 2/H és 2/I receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása (a terület és a kifolyási idő a 2/G-hez van viszonyítva)

A 2/J receptúra tervezése közben a legfőbb cél az eddig elért megfelelő konzisztencia tartása volt legalább 30 percig. A kedvező konzisztencia elérése céljából folyósítószerből a cement tömegéhez viszonyítva 1,0%-ot adagoltunk, a kötéskésleltetőből a konzisztencia megfelelő eltarthatóságának érdekében 0,2%-ot adagoltunk a keverékbe.



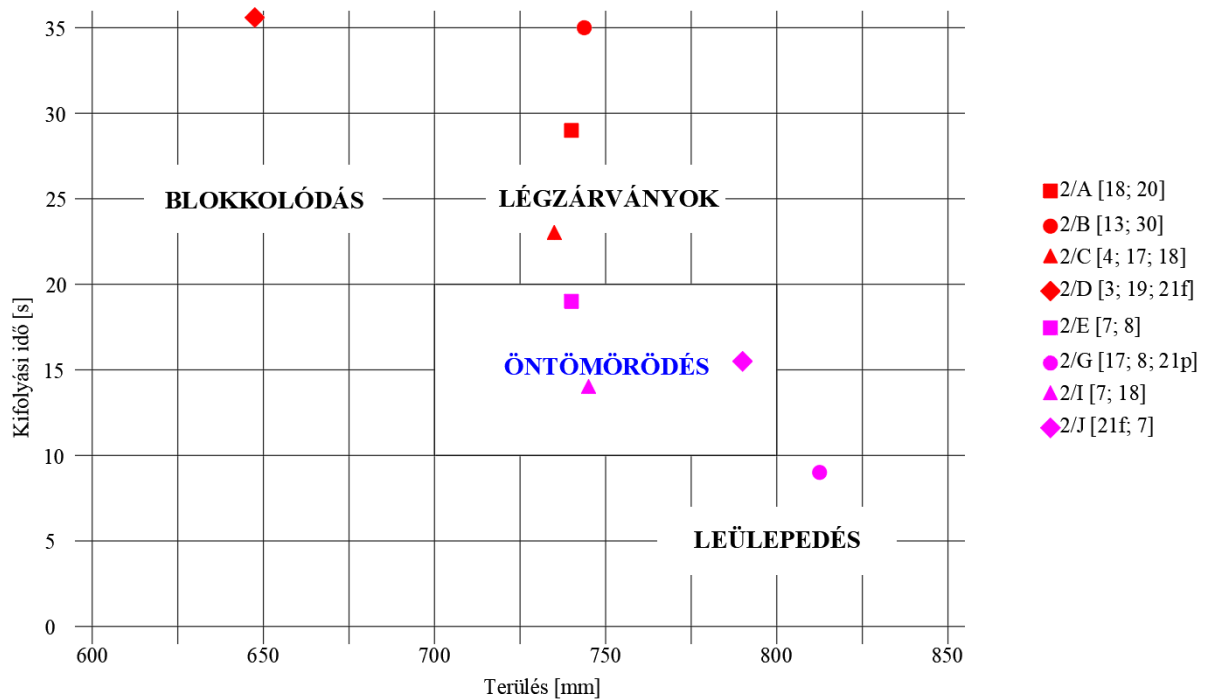
69. ábra: A 2/I és a 2/J receptúra relatív összehasonlítása (a kötéskésleltető adagolása a 2/H receptúrához viszonyítva)

Várákozásunknak megfelelően a frissbeton konzisztenciája megfelelő, a terület 790 mm és a kifolyási idő 15,5 s lett. A keverés végétől 30 perc elteltével megismételtük a konzisztencia méréseket, a terület 625 mm, míg a kifolyási idő 22,8 s lett, jól látható a kötéskésleltető hatása. A keverékből készített próbatestek átlagos 28 napos nyomószilárdsága 87,1 N/mm² lett.



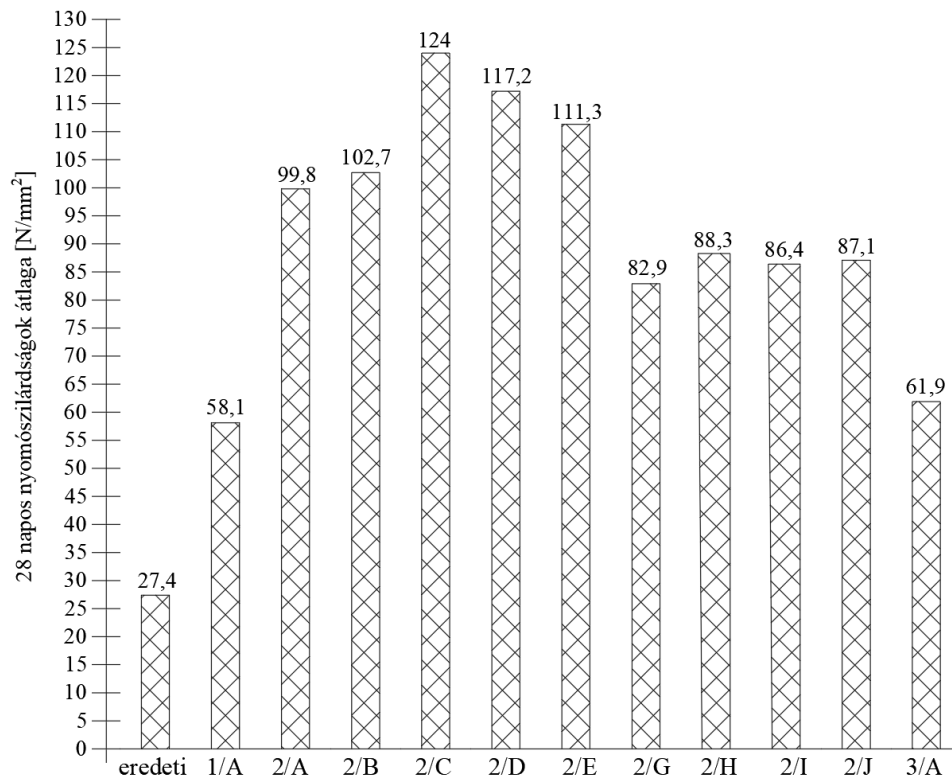
701. ábra: A 2/I és 2/J receptúra alapján készült betonok tulajdonságainak relatív összehasonlítása

A Zsigovics által az öntömörödő betonok besorolásához készített diagramon ábrázoltam a 2-es receptúra sorozat frissbeton vizsgálatainak eredményeit a látszóbeton bedolgozhatósági tartományának függvényében. A diagram alapján 3 általunk tervezett beton sorolható az öntömörödő látszóbeton kategóriába.



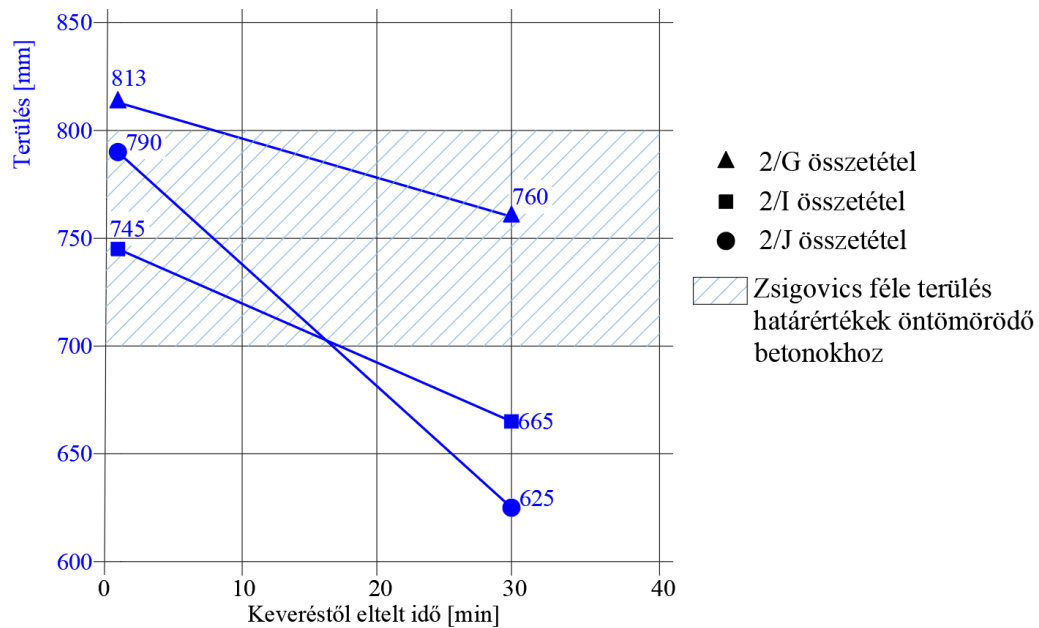
71. ábra: A 2-es receptúrák frissbeton vizsgálatainak eredménye az öntömörödő látszóbetonok bedolgozhatósági tartományának függvényében

A 2-es receptúrában fontos volt a karcsú szerkezetek öntéséhez szükséges szilárdság elérése. Az üzem által megfogalmazott szükséges nyomószilárdság 28 napos korban 70 N/mm^2 volt, ezt az összes 2-es sorozatszámú receptúra alapján készített beton meghaladta. Az öntömörödő látszóbeton kategóriába sorolt receptúrák (2/E; 2/I; 2/J) alapján készített betonok mindegyike meghaladta a 85 N/mm^2 nyomószilárdságot 28 napos korban.

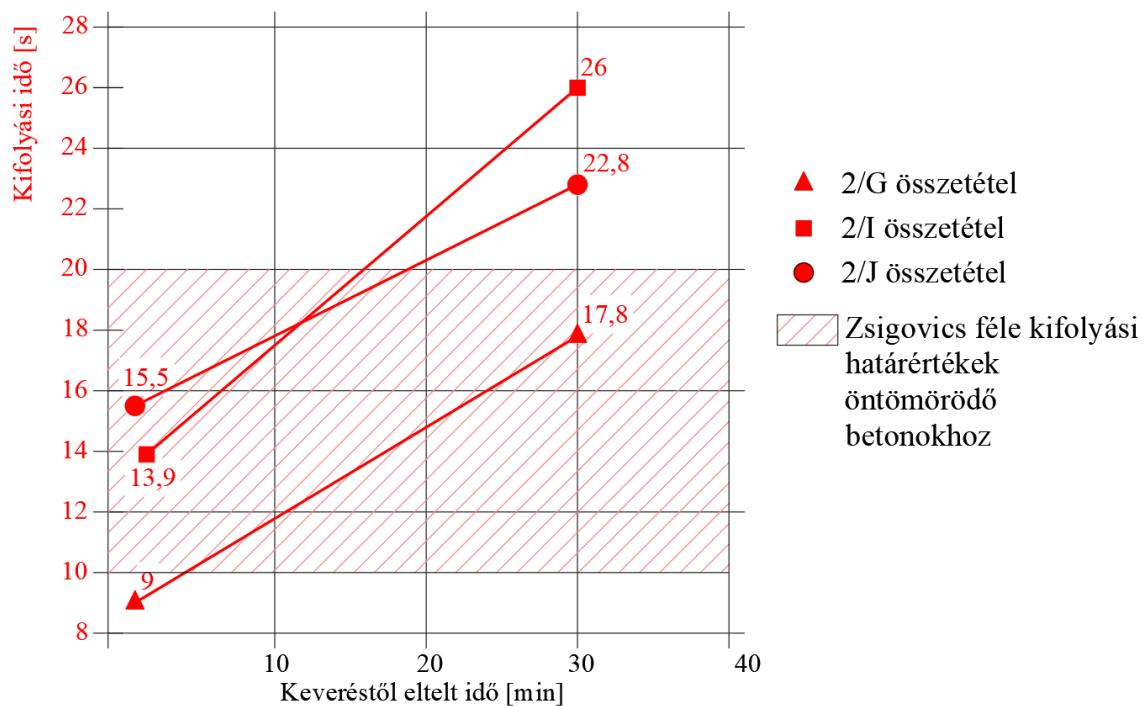


722. ábra: Különböző receptúrák alapján készült betonok 28 napos nyomószilárdságainak átlagértéke szabványos kockán

Célunk az volt, hogy a frissbeton legalább 30 percig megtartsa az öntömörödő képességét, mivel ennyi a maximális bedolgozási idő az üzemben. Elvégeztük a frissbeton vizsgálatokat, ezt követően 30 perc elteltével megismételtük azokat. Kiértékelve a három öntömörödő látszóbeton kategóriába sorolható receptúra kifolyási idő és terület mérés eredményeit látható a konzisztencia kedvezőtlen változása az idő múlásával, ám az öntömörödő képesség a keveréstől számítva 30 percen át biztosított.



73. ábra: Öntömörödő betonok területei az idő függvényében



74. ábra: Öntömörödő betonok kifolyási idejei az idő függvényében

A 3-as receptúra tervezéskor a legfőbb cél volt, hogy a beton felületén ne jelenjenek meg kivirágzások. A keverékhez CEM II/A 32,5 típusú cementet terveztünk, melynek mindössze 50%-a tiszta portlandcement-klinker tartalma. A cement hidratációja során a tiszta portland

cementből 20 m%-nyi kalcium-hidroxid (portlandit) keletkezik, ami a kivirágzásokat okozza. Mivel az általunk használt cement típusnak mindössze az 50 m%-a tiszta portland cement, ezzel csökkentettük a kivirágzást okozó kalcium-hidroxid termelődését 50%-kal. Cement kiegészítő anyagként a metakaolint választottuk, a beton szilárdságára kifejtett pozitív hatásán túl, növeli a beton kivirágzással szembeni ellenállóképességét, azáltal, hogy víz jelenlétében kalcium-hidroxiddal (amely a cement hidratációja során keletkezett) reagálva kalcium-aluminát-hidrátokat és kalcium-szilikát-hidrátokat hoz létre, a reakció során a metakaolin fogyasztja a kalcium-hidroxidot. Továbbá a kiegészítőanyag használata kisebb porozitást eredményez, ami szintén előnyös a kivirágzás szempontjából, hiszen csökken a betonon átszivárgó víz (pl. talajvíz) mennyisége.

Puccolános tulajdonságú anyag	Elhasznált Ca(OH)_2 grammonként (mg)
kohósalak	40
szilikapor	400
pernye	500-850
metakaolin	1000

75. ábra: Puccolánok reakciókapacitása [38]

A 3/A receptúra víz-cement tényezőjét 0,45-ra terveztük, kötőanyagként CEM II/A 32,5 típusú cementet használtunk, cement kiegészítő anyagként metakaolint adagoltunk a keverékbe, az adalékszerként használt folyósítóval átlagon felüli vízmegtakarítás érhető el és tartósan folyós konzisztenciát biztosít. A kivirágzásnak ellenálló 3/A receptúra alapján készített beton 28 napos nyomószilárdságok átlagértéke 61,9 N/mm² lett.

4. Eredmények

4.1. 1-es receptúra (általános felhasználású látszóbeton)

- 35%-kal csökkentettük a víztartalmat, a cement tartalmat mindössze 2%-kal növeltük az eredeti receptúrához képest és a nyomószilárdság pedig 114%-kal növekedett
- optimalizálva a folyósítószer típusát, víz- és folyósítószer tartalom csökkentése mellett sikerült 3-3%-kal növelni a területesi (t_0 ; t_{30} időben) értéket

- a víz-cement tényező csökkentésével és a megfelelő konzisztencia beállításával minimalizálni tudtuk a felületi pórusokat és csökkentettük a korai zsugorodásból származó repedéseket

4.2. 2-es receptúra (nagy szilárdságú, öntömörödő látszóbeton)

- a 2-es receptúra sorozatban készült betonok nyomószilárdsága mind nagyobb lett, mint 80 N/mm^2 , ezzel elérve a karcsú szerkezetek öntéséhez szükséges szilárdságot
- a 71. ábra alapján 3 általunk kidolgozott receptúra (2/E; 2/I; 2/J) sorolható öntömörödő látszóbeton kategóriába
- a 2/G receptúra alapján készült öntömörödő beton legalább 30 percig képes megtartani a megfelelő konzisztenciát

4.3. 3-as receptúra (kivirágzásnak ellenálló látszóbeton)

- cement típusának megváltoztatásával 50%-kal csökkentettük a kalcium-hidroxid (portlandit) termelődését, amely a kivirágzásokat okozza
- a korábbi mészkőlisztet lecseréltük metakaolinra, mely így csökkenti a beton mésztartalmát, ami bizonyos agresszív talajvizek esetén kimosódhat és kivirágzás okozhat a felületen
- a metakaolin puccolán reakcióját kihasználva növeltük a beton kivirágzásokkal szembeni ellenállását és csökkentettük a beton porozitását, ami az átszivárgó nedvesség mennyiségét is csökkenti.

5. Összefoglalás

Dolgozatomban egy meglévő látszóbeton receptúra optimalizálásával és speciális igényeknek megfelelő látszóbeton receptúrák kidolgozásával foglalkoztam. A tervezés során elsődleges cél a látszóbeton magas esztétikai követelményeinek való megfelelés volt az ipari bedolgozhatóság, az optimális anyagjellemzők és a gazdaságosság figyelembevételével. Kísérleteink során 3 különböző igény kielégítésére szolgáló látszóbeton összetételt dolgoztunk ki.

Az 1/A receptúra esetén, az üzemben eredetileg is használt keverék optimalizálásával egy általános igényeknek megfelelő látszóbeton összetételt dolgoztunk ki. Sikerült elérni az optimális bedolgozáshoz szükséges konzisztenciát és annak eltarthatóságát a maximális

bedolgozási idő végéig. A nyomószilárdság megduplázása mellett homogén, esztétikus felületet kaptunk.

Kísérleteink alapján általánosságban megfogalmazható:

- A megfelelő konzisztencia elérése folyósító adalékszerrel, extra vízadagolás helyett javítja a beton szilárdságát, tömörségét és megjelenését, ezért nagyon fontos az adalékanyag víztartalmát beleszámolni a vízadagolásba.

A 2-es receptúrát karcsú szerkezetek öntéséhez terveztük, ezért elengedhetetlen volt a nagy szilárdság és emellett a minél kisebb korai zsugorodási repedésérzékenység elérése. A tömörítésből származó hibák elkerülése és a megfelelő minőségű felület elérése érdekében öntömörödő képességű betont terveztünk. Sikertől kialakítani és az üzem bedolgozási idejéig megtartani az öntömörödő képességet az egyszerű bedolgozhatóság és a nagy szilárdság mellett. A repedésérzékenység csökkentése érdekében szálerősítést alkalmaztunk a betonban és az egyes betonösszetételi jellemzőket is módosítottuk. A 2-es receptúra alapján homogén felületű karcsú szerkezetek készíthetők, ennek elérése hosszú és kihívásokkal teli fejlesztési folyamat volt, melyet a 76. ábrán foglaltam össze.

Kísérleteink alapján általánosságban megfogalmazható:

- Kísérletileg bebizonyítottuk, hogy a Glénium Sky 519 és a PowerFlow 3200 típusú adalékszerek használhatók együtt, sem egymásra sem a beton tulajdonságaira nem hatnak negatívan.
- A konzisztencia eltarthatósága tartós folyósító hatású folyósító adalékszerrel érhető el.
- Kötéskésleltető adagolásával megfelelően növelhető a konzisztencia eltarthatósága.
- Metakaolin adagolásával a mészköliszt adagolású betonhoz képest a konzisztencia merevebbé válik, ezért kisebb területi értékek érhető el, a kifolyási idő viszont csökken, ami a keverék stabilitásának növekedését jelzi.

A 3-as látszóbeton receptúrát mészkivirágzásnak ellenállóan terveztük meg, fontos volt a homogén, repedésektől és pórusoktól mentes felület. A 3/A receptúrában kohósalak cementet

használva elértük, hogy a portland cementhez képest 50 m%-kal kevesebb kalcium-hidroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) keletkezik, amely a kivirágzást okozza. Cement kiegészítőanyagként mészkőliszt helyett metakaolint használtunk, mivel az a puccolán reakciója során fogyasztja a $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -t, illetve önmaga nem tartalmaz mészkövet, ami később kimosódhat az anyagból. Sikerült a 3/A receptúrával egy kivirágzásnak ellenálló és egységes, letisztult felületű betont eredményező keveréket kidolgozni.

Kísérleteink alapján általánosságban megfogalmazható:

- Megfelelő típusú és mennyiségű adalékszer adagolása mellett heterogén cementből is készíthető esztétikus és megfelelő szilárdságú látszóbeton.

nagyszilárdságú öntömörödő beton kísérleti lépései						
receptúra jele	kitűzött cél	eredmény	keverés közben felmerülő probléma	megmaradó probléma	változtatás	tovább lépés
2/A	nagy szilárdság elérése	nyomószilárdság: 99,8 N/mm ²	kivért a beton, enyhén ragadós állagú	20 perces eltarthatóság, magas kifolyási idő	2 különböző típusú folyósítószer adagolása	2/B
2/B	nagy szilárdság, kifolyási idő csökkentése adalékszer kókttállal, kivérzés megszüntetése	nyomószilárdság: 102,7 N/mm ² , kifolyási idő: 35s, nem vérzett ki a beton	ragadós állagú	rövid eltarthatóság	más típusú folyósítószer használata, mellyel hosszabb eltarthatóság érhető el, az adalékanyagot 0/4 és 4/8 frakciók keverékéből állítjuk elő	2/C; 2/D; 2/E
2/C	magas szilárdság mellett a kifolyási idő csökkentése	nyomószilárdság: 124 N/mm ² , kifolyási idő: 22,9s		rövid eltarthatóság	cementtartalom csökkentése	2/D
2/D	konzisztencia javítása kisebb cementtartalom mellett	kifolyási idő: 35,6 s, terület: 648 mm		túl sok a kifolyási idő, nem megfelelő a terület	cementtartalom-, víztartalom- és folyósítószer mennyiség növelése	2/E
2/E	konzisztencia javítása magas nyomószilárdság mellett	nyomószilárdság: 111,3 N/mm ² , kifolyási idő: 19 s, terület: 740 mm		sok a kifolyási idő	víztartalom növelése, kötőkéssleltető adalékszer adagolása	2/G
2/G	konzisztencia javítása, nem elsődleges cél a nagy szilárdság, eltarthatóság növelése	nyomószilárdság: 82,9 N/mm ² , kifolyási idő: 9 s, terület: 813 mm, megfelelő eltarthatóság			víztartalom növelése, folyósítószer adagolás csökkentése	2/H
2/H	konzisztencia megtartása magasabb víztartalom és kisebb folyósítószer adagolása mellett	nem megfelelő konzisztencia (nem folyt ki a tölcéses kifolyási idő mérőből)	nagyon ragadós állagú	öntömörödő betonhoz nem megfelelő konzisztencia	víztartalom csökkentése és folyósítószer adagolás növelése, kötőkéssleltető kihagyása	2/I
2/I	öntömörödő betonhoz szükséges konzisztencia elérése, eltarthatóság növelése	kifolyási idő: 13,9 s, terület: 745 mm, nem megfelelő eltarthatóság	kissé ragadós állagú	eltarthatóság növelése	folyósítószer adagolás növelése, kötőkéssleltető adagolása	2/J
2/J	öntömörödő betonhoz szükséges konzisztencia elérése, eltarthatóság növelése	kifolyási idő: 15,5 s, terület: 790 mm, nem megfelelő eltarthatóság				

76. ábra: 2-es receptúra kísérleti lépései

6. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik munkám során segítettek, támogattak.

- A kísérleti hely és az alapanyagok biztosításáért az Ornamentika Épületszobrász Kft.-nek.
- A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Magasépítés Tanszék Anyagvizsgáló Laboratóriumnak.
- MC Bauchemie Kft.-nek az adalékszerek biztosításáért.
- Avers Kft.-nek a szálak biztosításáért.
- Dr. Nemes Rita és Dr. Fenyvesi Olivér konzulenseimnek.
-

7. Irodalomjegyzék

[1] Szabó Z.: Kis zöld könyv a betonról, Magyar Betonelemgyártó Szövetség

[2] Forrai J.: A beton összetétele, a beton alkotóelemei, Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet

[3] Kapu L.: Látszóbeton – Látványbeton, TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. 2014., ISBN: 9789639968394

[4] Pluzsik T. – Látszóbetonok, CRH Magyarország Kft., 2017. 02.23., (letöltve: 2021. 09. 17.)

[5] http://hirlevel.ferlingpr.com/upload/1141646130/tovabb.php?id=454&hir_id=1966, Budapest, 2013. április 17. (letöltve: 2021. 10. 24.)

[6] Kincses B., Nagy Gyula: A szegedi partfal rekonstrukció komplexitás és nyilvánosság szempontú vizsgálata, Földrajzi Közlemények, 2016.

[7] Lebhardt O.: Ruha betonból? https://www.vasarnapihirek.hu/izles/ruha_betonbol, 2012. október 7. (letöltve: 2021. 10. 24.)

- [8] Perényi J.: Betonfelületek csiszolása, polírozása, Ezeremester 2016. áprilisi szám, ISSN 1587-1444 (letöltve: 2021. 10. 24.)
- [9] https://hu.m.wikipedia.org/wiki/F%C3%A1jl:N%C3%A9pstadion_fels%C5%91_kar%C3%A9j.JPG, 2012. június 17. (letöltve: 2021. 10. 24.)
- [10] Wikipédia: Népstadion felső karéj
https://hu.wikipedia.org/wiki/A_F%C5%91v%C3%A1rosi_%C3%81llat-%C3%A9s_N%C3%B6v%C3%A9nykert_%C3%A9p%C3%BCletei, (letöltve: 2021. 10. 24.)
- [11] Kausay T.: Adalékanyag, Magyar Cementipari Szövetség: Beton szakmai lap, 2003 október, XI. évf. 10. szám., ISSN 1218-4837
- [12] T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C. Spirig, U. Waeber: Sika Hungária Kft.:Sika beton kézikönyv, 2009. 11.
- [13] Balázs Gy.: Építőanyagok és kémia, Tankönyvkiadó Vállalat – 1984 Budapest, ISBN: 963-18-2258-3
- [14] Kapu L.: Látványbeton felületek, Vasbetonépítés –, 2011/2 - XIII. évfolyam, 2. szám, ISSN 1419-6441
- [15] Kausay T.: Finomszemek a betonban, a beton péptartalma, Betontechnológiai Szakirányú Továbbképzés - 2020 április
- [16] Pluzsik T., Sz. Kertész É., Urbán F., Zadravec Zs.: Web CemBeton zsebkönyv: Magyar Cement-, Beton- és Mészipari szövetség, 2017, ISBN 978-963-12-8133-0
- [17] Zsigovics I.: Effects of Limestone Powder on the Consistency and Compressive Strength of SCC. Proceedings of the Second North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete (SCC) and the Fourth International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete 30 October-3 November, 2005, Chicago, USA, ISBN: 978-2-35158-047-9
- [18] Borosnyói A., Szijártó A.: Metakaolin vizsgálata cement kiegészítő anyagként a k-érték elve szerint, Építőanyag folyóirat 68. évf. 2. szám, Budapest 2016 ISSN: 2064-447 7
- [19] Kausay T.: Cement-beton Kisokos, Holcim Hungária Zrt., Budapest, 2008. október 14.

- [20] Asztalos P., Láda P., Pankhardt K., Kovács J.: Látszóbeton építés, Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka XVII. Kolozsvár, 2012. március 22–23.
- [21] Kausay T.: Betonos e könyv I. kötet, Budapest, 2020. június, ISBN 978-615-00-6699-8
- [22] S. Georges N.: Öntömörödő betonok tulajdonságai, Budapest, 2015. április. 30.
- [23] Zsigovics I.: Öntömörödő beton Phd. értekezés, BME Építőmérnöki Kar Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, (2004)
- [24] Okamura, H. and Ozawa, K.: Mix-design for self-compacting concrete, Concrete Library of JSCE, 1995
- [25] Zsigovics I: Mix Design Of Self Compacting Concrete pp 161-167, Balázs L. Gy., Nehme, S. G.: Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures, Central European Congress on Concrete Engineering – Budapest, 2007. 09. 16-17., ISBN 978-963-420-923-2
- [26] Pluzsik T.: Kivirágzások a beton felületén, Beton szakmai lap, 2015. november-december XXIII. évf. 11-12. szám, ISSN 1218 - 4837
- [27] Jankó A., Gável V.: Kivirágzási jelenségek a beton felületén, Beton szakmai lap, 2000. július-augusztus VIII. évf. 7-8. szám, ISSN 1218-4837
- [28] Balázs L. Gy., Polgár L.: A szálerősítésű betonok múltja, jelene és jövője, Vasbetonépítés 1999 1. évf., 1. szám, ISSN 1419-6441
- [29] Kovács I., Erdélyi A., Balázs L. Gy.: Vasbeton gerendák törési viselkedése acélszálak és hagyományos vasalás egyidejű alkalmazása esetén, Szálerősítésű betonok – a kutatástól az alkalmazásig, Budapest, 1999. március 4-5., ISBN: 963 420 589 5
- [30] Fenyvesi O.: Betonok korai zsugorodási repedésérzékenysége, PhD-értekezés, BME Építőmérnöki Kar, Budapest, (2012)
- [31] Kapu L.: Készül a látványbeton, MAGYAR ÉPÍTÉSTECHNIKA, 2010. 12., ISSN 1216-6022
- [32] Önterülő-öntömörödő betonok konzisztencia mérése,
<http://www.betonopus.hu/notesz/onterulo-konzisztencia.pdf> (letöltve: 2021. 10. 24.)

[33] Kausay T.: Adalékanyagok geometriai tulajdonságai, Magyar Közút Zrt., Budapest, 2011. 11. 23.

[34] Kausay T.: Betonok összetevői és konzisztenciája, Erdélyi Magyar Műszaki Tudományos Társaság, XX. évf. 7-8. szám, Kolozsvár, 2009. 05. 11.

[35] Bitay E., Domonyi E., M. Csizmadia B., Telekes G.: Hőmérséklet különbség változása beton és vasbeton szerkezetek kötési folyamata során, Erdélyi Múzeum-Egyesület - Műszaki tudományos közlemények 7. XXII. Fiatal Műszakiak Tudományos Ülésszaka – Kolozsvár, 2017. 03. 23., ISSN 2393 – 1280

[36] Nehme, S. G.: Kiegészítőanyagok hatása a szokványos és az öntömörödő betonra, Építőanyag 67. évf. 1. szám, ISSN: 2064-4477

[37] Kopecskó K.: Metakaolin hatása a betonra, Beton szakmai lap XXII. évf. 3-4. szám, 2014 március-április, ISSN 1218 – 4837

[38] Nehme, S. G.: Kiegészítő anyagok hatása a szokványos és öntömörödő betonokra, Építőanyag folyóirat 67. évf. 1. szám. pp 28-33, Budapest 2015. 02. 22. ISSN: 2064-4477

8. Szabványjegyzék

MSZ EN 12620:2002+A1:2008 Kőanyaghalmozok (adalékanyagok) betonhoz

MSZ EN 12620:2003 Homok, homokos kavics és kavics

MSZ EN 934 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 6. rész: Mintavétel, megfelelőség-ellenőrzés és megfelelőségértékelés

MSZ EN 934-1:2008 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 1. rész: Közös követelmények

MSZ EN 934-2:2009+A1:2012 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. 2. rész: Betonadalékszerek. Fogalommeghatározások, követelmények, megfelelőség, jelölés és címkézés

MSZ EN 1008: 2003 Keverővíz betonhoz. A betonkeverékhez szükséges víz mintavétele, vizsgálata és alkalmasságának meghatározása, beleértve a betongyártási folyamatból visszanyert vizet is

MSZ EN 12350-9:2010 A frissbeton vizsgálata. 9. rész: Öntömörödő beton. Tölcséres kifolyási vizsgálat

MSZ EN 12350-12:2010 A frissbeton vizsgálata. 12. rész: Öntömörödő beton. Fékezőgyűrűs vizsgálat

MSZ EN 206-1:2002 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés