



Széchenyi István Egyetem
Műszaki Tudományi Kar
Szerkezetépítési és Geotechnikai Tanszék
Tudományos Diákköri Dolgozat



Változó betonösszetétel (péptelítettség) látszóbeton felületekre gyakorolt hatásának vizsgálata próbatesteken

OTDK-dolgozat

Belső konzulens: Fehér Zoltán,
egyetemi tanársegéd

Külső konzulens: Zsoldos Gábor,
okl. szerkezet-építőmérnök,
betontechnológus szakmérnök,
Holcim Magyarország Kft.

Írta: Károlyfi Kitty
építész osztatlan szak
IV. évfolyam

Győr

Kézirat lezárása:

2014. december 21.

Tartalomjegyzék

Bevezetés	- 3 -
I. Irodalomkutatás	- 5 -
1. A látszóbeton fogalma.....	- 5 -
2. Szabványok, előírások.....	- 5 -
3. A látszóbeton felületét befolyásoló tényezők.....	- 6 -
3.1 Zsaluzat	- 7 -
3.2 Zsaluleválasztó szer	- 9 -
3.3 Betonösszetétel	- 10 -
II. Kísérletek feldolgozása	- 15 -
1. A vizsgálat tárgya, célkitűzések	- 15 -
1.1 A vizsgálat során állandó paraméterek	- 16 -
1.2 A vizsgálat során változó paraméterek (betonösszetétel)	- 17 -
1.3 Adalékanyag összetétel	- 19 -
1.4 Zsaluzat kialakítása	- 21 -
1.5 Kivitelezés.....	- 23 -
1.6 A kísérletek előtti elvárt eredmények	- 23 -
III. Kísérleti eredmények	- 24 -
1. Értékelési szempontok.....	- 24 -
1.1 Felületi pórustartalom vizsgálat	- 25 -
1.2 Színtónus-egyenlőség	- 30 -
1.3 Fészkesség.....	- 32 -
1.4 Egyéb felületi eltérések.....	- 33 -
1.5 Szilárdságvizsgálat.....	- 35 -
1.6 Költségkimutatás.....	- 36 -
2. A kiértékelések alapján levonható következtetések	- 37 -
Összefoglalás	- 41 -
Irodalomjegyzék	- 42 -
Mellékletek	- 44 -
Köszönetnyilvánítás	- 50 -

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a beton, mint építőanyag új értelmet nyert. Nyers betonfelületekkel már a XIX. századi brutalizmus idején találkozhattunk, de a '60-as, '70-es évek tömeges lakásépítésének is előszeretettel alkalmazott építőanyaga volt. Talán ebből fakad a nyers betonfelületekkel szembeni ellenérzésünk. Napjaink látszóbeton építészetét azonban korábban elképzelhetetlen formák és magas minőségű felületek jellemzik. Tervezése és kivitelezése összetett folyamat, ezért különös gondosságot, szakértelmet és csapatmunkát igényel.

A témát azért tartom fontosnak és aktuálisnak, mivel hazánkban is egyre nő az igény látszóbeton felületek készítésére, a tervezési és kivitelezési folyamatnak még nincs kiforrott gyakorlata. A feladatot sokáig megnehezítette a hazai szabályozás hiánya; csak nemrégiben jelent meg az **MSZ 24803-6-3:2010**: „Épületszerkezetek megjelenési módjának előírásai: Monolit beton- és vasbeton szerkezetek. A helyi alakhűség és felületi állapot követelményei” című szabvány, amely iránymutatást adhat a látszóbeton felületek készítéséhez és értékeléséhez.

A látszóbeton felületek minőségét számos tényező befolyásolja úgy, mint az alkalmazott zsaluhéj, a zsaluleválasztó szer, a betonösszetétel, a geometria, az időjárási körülmények és a kivitelezés minden apró részlete. Ebből adódóan az esetleges hibák gyakran a legapróbb részletekre vezethetők vissza és a felület utólagosan már nem javítható.

Kutatási munkám elsődleges célja a látszóbeton felületek minőségének vizsgálata az egyik meghatározó befolyásoló paraméter, a **betonösszetétel** szempontjából. 2014 nyarán lehetőséget kaptam a Holcim Magyarország Kft-től látszóbeton próbatestek készítésére és vizsgálatára. A kísérlet elméleti alapjainak kidolgozásában Zsoldos Gábor, a Holcim Magyarország Kft. betontechnológusa nyújtott sok segítséget. A kísérletek során négy különböző betonösszetételű próbatestet készítettem, melynek során a péptelítettség növelésének függvényében vizsgáltam a felület minőségét, majd a kapott eredményeket összevetettem a szakirodalom adataival és a szabványok tűrési értékeivel. A szakirodalom szerint látszóbetonok esetén kis mértékben túltelített keveréket érdemes alkalmazni. Kutatásom során azt vizsgálom, hogy a péptelítettség további növelése milyen hatást gyakorol a látszóbeton felületek minőségére.

A kutatási munkám keretében végzett kísérletek során a következő kérdésekre keresek választ:

- A betonösszetétel milyen paraméterei és hogyan befolyásolják a felület minőségét? (különös tekintettel a péptelítettségre)
- A betonösszetétel egy jellemző paraméterét (péptelítettséget) változtatva hogyan változik az egyes felületek minősége?
- Van-e különbség a különböző síkú felületek között? Ha igen, milyen mértékű?
- A szabványok által előírt és alkalmazott vizsgálati szempontok és tűrési értékek alapján az egyes próbatestek milyen követelményszintet teljesíthetnek?
- Az alkalmazott betonösszetételek közül kimutatható-e egy olyan optimális keverék, amely a vizsgált szempontokat egybevetve a legkevesebb felületi eltérést mutatja?

I. Irodalomkutatás

1. A látszóbeton fogalma

A látszóbeton olyan minőségi beton, amely mindamellett, hogy eleget tesz az épületszerkezeti követelményeknek, előre meghatározott, a kizsaluzást követően „nyersen maradó”, esztétikus felülettel bír.

A látszóbeton felületek nem keverendők össze az elburkolatlan betonfelületekkel, hiszen az a koncepció szerves része, a tervezési folyamat fontos tényezője. A XXI. század betonja tehát mind a tervezés, mind a kivitelezés minőségében jelentősen különbözik a megszokott betonfelületektől. Mivel a látszóbeton egy bizonyos szint felett már egyéni ízlés kérdése, ezért különösen fontos a felülettel szemben támasztott igények tisztázása. A látszóbetonnal létrehozható felületek variációja szinte végtelen. A felületképzési lehetőségek három fő csoportba sorolhatók:

- zsaluzattal, zsalumatricával kialakított felületek
- színezett felületek
- utólag megmunkált felületek,

illetve ezek kombinációja.

2. Szabványok, előírások

Hazánkban jelenleg még nincs kifejezetten látszóbetonokra vonatkozó szabvány. Először a Magyar Építőanyagipari Szövetség által kiadott 1995-ös „Beton és Vasbeton készítése, látszóbetonok” című műszaki előírás foglalkozik látszóbetonok készítésével – építőanyag szempontból. A szabvány sem a tervezési szempontokról, követelményekről, sem pedig az új technológiákról nem ejt szót. A témához kapcsolódó előírás a nemrégiben, 2010-ben megjelent **MSZ 24803-6-3:2010** „Épületszerkezetek megjelenési módjának előírásai: Monolit beton- és vasbeton szerkezetek. A helyi alakhűség és felületi állapot követelményei”. Ez a szabvány az MSZ EN 13670:2010 „Betonszerkezetek kivitelezése” szabvány mellékletének tekinthető, tehát a tervezési és kivitelezési folyamat során be kell tartani a hierarchiát. Az új szabvány a 2004-ben a DBV (Német Beton és Építőanyag Egyesület) és a BDZ (Német Cementipari Szövetség) által kiadott „Merkblatt Sichtbeton” (Látszóbeton Irányelvek) elveit

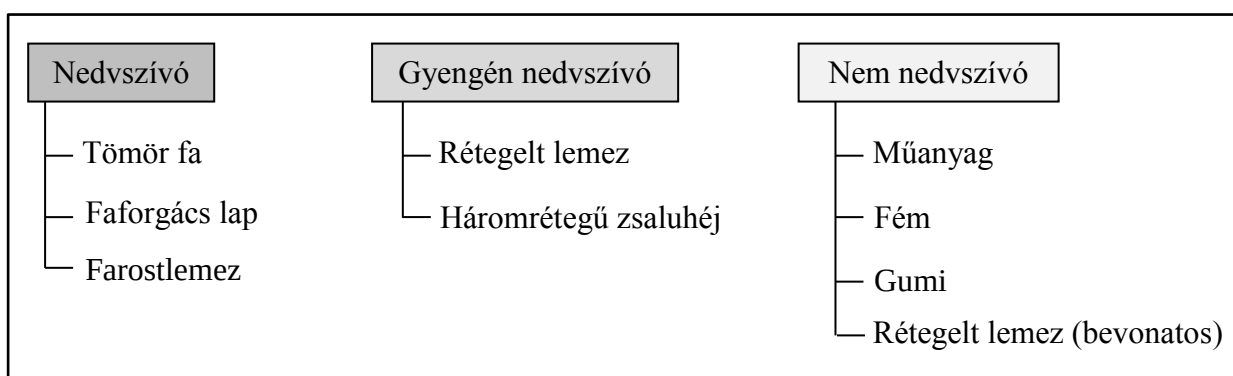
követve követelményszinteket vezet be, amelyekhez vizsgálati szempontonként eltérő tűréseket rendel. A követelményszintet már a tervezés első fázisában meg kell határozni, s a követelménybiztosítási tervben rögzíteni. A vizsgálati szempontok tulajdonképpen a kivitelezés során elkövethető hibákra vonatkoznak, s azokhoz egyértelmű vizsgálati módszereket határoztak meg. A kutatási munkám keretében elvégzett kísérletek során a magyar szabvány és a Német Cementipari Szövetség által kiadott „Merkblatt Sichtbeton” szerinti egyes vizsgálati szempontokat és módszereket alkalmaztam az elkészített próbatestek minősítésére.

3. A látszóbeton felületét befolyásoló tényezők

A felület minősége a látszóbeton technológia egyik legfontosabb kérdése. A kizsaluzást követően láthatóan maradó felületet egy finomrészben gazdag cement-film réteg adja, amely az alkalmazott zsaluzat tökéletes tükörképe. Ebből adódóan a zsalutáblák illesztése, az átkötések helye, a zsaluzat vagy zsalumatrixa struktúrája - ugyanúgy, ahogy az esetleges hibák is – döntően meghatározzák az épület vagy épületrész megjelenését. A zsaluzat mellett még számos tényező befolyásolja a felület minőségét, például az alkalmazott betonösszetétel, a szerkezet geometriája, a zsaluleválasztó szer, az időjárási körülmények, s nem utolsó sorban a kivitelezés minden apró részlete. A következőkben azokat a befolyásoló tényezőket foglalom össze röviden, amelyeket a kísérlet során figyelembe vettem.

3.1 Zsaluzat

Mivel a zsaluzat közvetlenül érintkezik a betonfelülettel, a végső megjelenést döntően meghatározza. A különböző anyagú és textúrájú zsaluzatok más és más felületet adnak, s az sem mindegy, hogy milyen zsaluhéjhoz milyen típusú és összetételű zsaluleválasztó szer kerül alkalmazásra, ezért a tervezésekor érdemes zsalutechnológus segítségét kérni. Mivel a felületen előforduló két leggyakoribb hiba, a színeltérés és a pórusosság nagyrészt a zsaluhéj vízfelvevő képességére vezethető vissza, ezért az anyagok e tulajdonságuk szerint különböztethetők meg és sorolhatók három csoportba. (1. ábra)



1. ábra: Zsaluhéjak csoportosítása vízfelvevő képesség alapján (1; 3)

A különböző nedvszívó képességgel rendelkező zsaluhéjak felületre gyakorolt hatása eltérő. Az 1. táblázatban a legjellemzőbb különbségek láthatóak, míg a 2. táblázat a látszóbeton készítés során leggyakrabban alkalmazott zsaluhéjak felületre gyakorolt várható hatásait és egyéb jellemzőit mutatja be.

1. táblázat: Vízfelvevő képesség hatása a betonfelületre és annak tulajdonságaira (1)

befolyásoló tényező	nedvszívó	nem nedvszívó
betonfelület színe	sötétebb	világosabb
határfelülethez közeli víz-cementtényező	alacsonyabb	magasabb
víz- és légpórusok száma	kevesebb	több
porlékonysági hajlam	valamivel magasabb	alacsony
színeltérések	több	kevesebb
finomrész felgyülemelésének veszélye	kisebb	nagyobb
zsugorodásra és duzzadásra való hajlam	magasabb	alacsonyabb

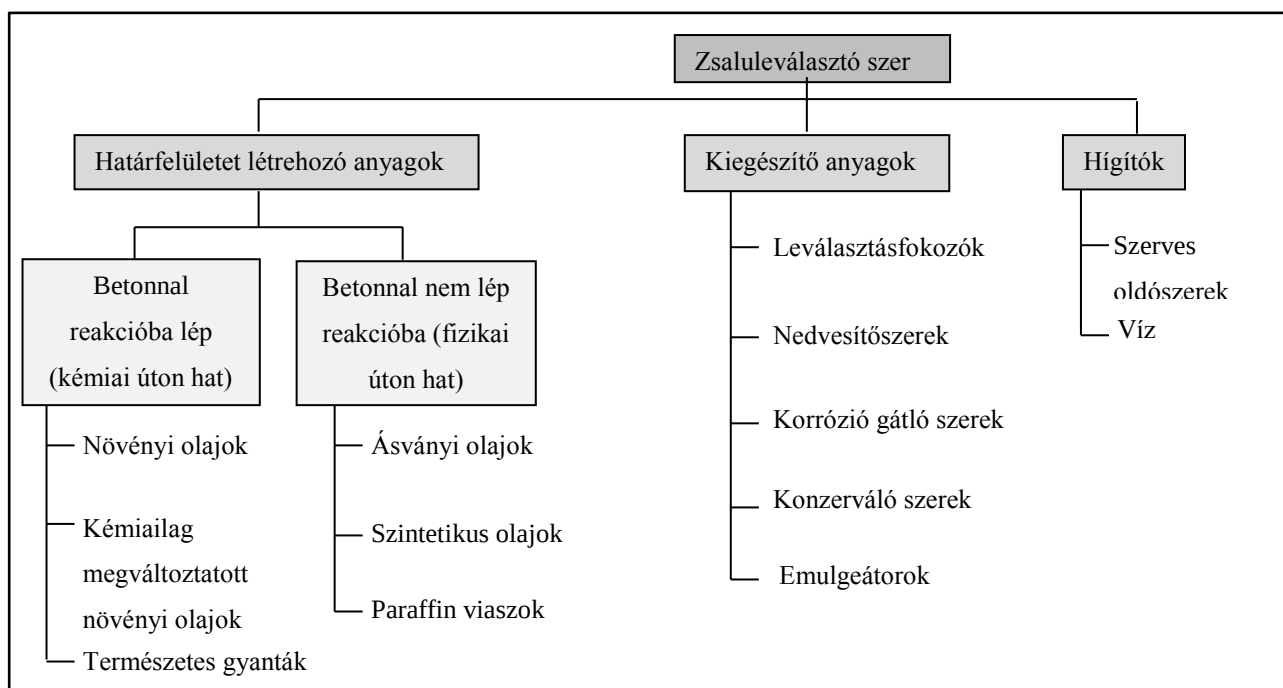
2. táblázat: Gyakran alkalmazott zsaluhéjak jellemzői és betonfelületre gyakorolt hatásuk (1; 2; 3)

Zsaluhéj típusa		A betonfelület jellemzői	Egyéb lehetséges hatások	Ajánlott felhasználási szám
nedvszívó				
1	Fűrészelt deszka	sötét (magas nedvszívó képesség), a fa erezetét visszaadó felület	a betonfelületre ragadt farostok, facukor kiválásának veszélye, gyenge pórusképződés	1-4
2	Gyalult deszka	világosabb felület (kissé alacsonyabb nedvszívó képesség), simább struktúra	facukor kiválásának veszélye, erősebb pórusképződés	6-10
3	Faforgácslap	sötét felület (magas nedvszívó képesség)	jelentős színeltérések, foltosodás, gyenge pórusképződés	1-5
4	Farostlemez (sűrű, tömörített farost)	a faforgácslapnál is sötétebb felület (magas nedvszívó képesség)	szinte pórusmentes	7-12
gyengén nedvszívó				
5	Rétegelt lemez (nedvszívó filmréteggel bevont)	fényes, struktúrmentes, illetve enyhén strukturált, homogén felület	gyenge pórusképződés	4-10
6	Háromrétegű zsaluhéj (fenyődeszkák két irányban történő fektetése)	első használatnál sötétebb, majd egyre világosabb felület, enyhén strukturált	érzékeny a nedvességre, napsütésre – repedés, vetemedés	10-30
nem nedvszívó				
7	Műanyag	sima, világos felület	éleknél, átkötéseknél vízkiválás veszélye, kevés, nagyobb pórusok	poliszulfid: 30-50 polipropilén: 100 felett poliuretán: 100-ig
8	Fém (acél)	sima, világos felület	rozsdafoltok, színeltérések, felhőképződés, kivirágzás veszélye	500-ig
9	Gumi (zsalumatraca)	matricától függően sima, fényes vagy strukturált felület, világos tónus	erősebb pórusképződés	50-ig
10	Rétegelt lemez (nem nedvszívó réteggel bevont)	fényes, világos, homogén felület	színeltérések, erősebb pórusképződés, felhőképződés, kivirágzás veszélye	30-40

A kísérlet során vizsgálni szerettem volna a nedvszívó és nem nedvszívó zsaluhéj közötti különbséget, s a felületre gyakorolt hatásukat változó betonösszetétel mellett. Ebből kiindulva a zsaluzat egy nagyobb függőleges felületét **háromrétegű fa zsaluhéjjal** alakítottam ki, nem nedvszívó zsaluhéjként a próbatestek többi felületén pedig **acéllemezt** alkalmaztam.

3.2 Zsaluleválasztó szer

A zsaluleválasztó szer típusa, összetétele és kölcsönhatása a zsaluhéjjal jelentősen befolyásolja a látszóbeton felület minőségét. Elsődleges feladata a **betonfelület sérülésmentes kiszaluzásának biztosítása**. A leválasztó szerek a beton zsaluzathoz tapadásának megelőzése érdekében általában valamilyen határfelületet képeznek a frissbeton és a zsaluhéj között. Hatásmechanizmusuk alapján megkülönböztethetünk olyan leválasztó szereket, amelyek nem lépnek reakcióba a betonnal, tehát fizikai úton fejtik ki hatásukat, míg a másik csoport kémiai úton hat, azaz reakcióba lép a betonnal. Ezen felül léteznek fizikai és kémiai hatással egyaránt rendelkező leválasztó szerek.



2. ábra: Zsaluleválasztó szer összetétele (22)

A legjobb eredményt úgy lehet elérni, ha a zsaluleválasztó szerből csak a szükséges mennyiséget és egyenletesen hordjuk fel a megtisztított felületre, a felesleget pedig el kell távolítani. Túlzott anyagfelvitel jelentős színeltérésekhez és erőteljes pórusképződéshez vezethet. Mivel a piacon számtalan formaleválasztó és zsaluhéj található, nincs általános érvényű ajánlás arra vonatkozóan, hogy melyik zsaluhéjhoz melyik zsaluleválasztó szer használatos. Minden esetben be kell vonni a gyártót a döntési folyamatba és a technológiai utasításokat be kell tartani. Ezen felül ajánlatos próbafelületeken tesztelni a kiválasztott zsaluolaj hatását.

A kísérlet során fizikai úton ható, ásványi olaj bázisú, oldószermentes leválasztó szert alkalmaztam.

3.3 Betonösszetétel

A betonreceptúra pontos meghatározásáért a betontechnológus felel. A betonösszetétellel szemben támasztott legfontosabb követelmény látszóbeton technológia esetén az összetevők minőségének változatlansága. Ugyanez igaz a betonösszetétel jellemző paramétereire is: a víz-cementtényező, a keverési, tömörítési és utókezelési időtartam és módszer, s lehetőleg a kötési hőmérséklet is a látszóbeton készítés teljes folyamata során maradjon állandó.

3.3.1 Cement

Látszóbeton készítéséhez minden érvényben lévő cementfajta felhasználható, azonban a tervezés során figyelembe kell venni a cement felületre gyakorolt hatását. Mivel a portlandcement összetétele egy gyáron belül is ingadozhat, - ami akár a beton színén is megjelenhet - ezért érdemes a kellő mennyiséget egy gyártási ciklusból megrendelni. Fehér cement alkalmazása esetén meglehetősen világos árnyalat érhető el, míg szürke vagy sötétszürke cement használatával erőteljes, sötét színt érhetünk el. Mivel a hidratáció során felszabadult kalcium-hidroxid a felületre diffundál, majd ott karbonátosodik, a portlandcementekből készített beton felülete kezdetben sötét, majd egyre világosabbá válik. Azonban ha a beton tömörsége nem egyenletes, a folyamat erőteljes színeltérésekhez vezethet. Tekintettel kell lenni arra is, hogy a különböző fajtájú cementek kötési ideje változó, ebből adódóan a hőfejlődés mértéke is eltérő lehet. Látszóbetonok esetén ajánlatos lassan szilárduló, kis hőfejlődésű, vérzésre kevésbé hajlamos cementet választani.

3. táblázat: Javasolt legkisebb cementtartalom az adalékanyag függvényében (4)

D_{max}	Gömbölyű szemű adalékanyag	Tört felületű, 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

A kísérlet során **CEM I 52,5 N**, állandó minőségű **fehércementet** alkalmaztam annak érdekében, hogy a felületi eltérések minél jobban megmutatkozzanak.

3.3.2 Péptelítettség

Látszóbetonok esetén különösen fontos paraméter a **keverék cementpép tartalma**. A cementpép az adalékanyag váz hézagait bizonyos mértékben kitöltő, cementből és vízből álló massa. Azt, hogy milyen mértékben tölti ki az üregeket a pép, a péptelítettség fogalmával jellemezhetjük. A cementmennyiség (V_c) és a vízmennyiség (V_v) összegének növelésével vagy csökkentésével tehát a keverék **péptelítettsége (V_{pt})** változik.

A különböző legnagyobb szemnagyságú és szemmegoszlású adalékanyagokból 1 m^3 betonba eltérő mennyiség dolgozható be a cementtartalomtól, a konzisztenciától és az alkalmazott tömörítési módszertől függően. Mértékadó értéke az $m_c = 125 \text{ kg/m}^3$ cementtartalmú és adott konzisztenciájú betonba a konzisztenciához illesztett hatékony tömörítéssel, vízveszteség nélkül bedolgozható adalékanyag térfogata, ennek jele: V_{ao} . Az adalékanyag mértékadó térfogata a szemalaktól, a finomsági modulustól és az egyenlőtlenségi tényezőtől, továbbá az adalékanyag vízmegtartó képességétől függ. (5) Tehát az **adalékanyag mértékadó térfogata (V_{ao})** a betonkeverék előírt konzisztenciájának megfelelő víztartalommal megkevert és a konzisztenciához illesztett eszközzel tömörített adalékanyag mennyisége l/m^3 -ben kifejezve. (6) A telítéshez szükséges cementpép mennyisége, azaz a **pépigény (V_{po})** szintén az adalékanyag maximális szemnagyságától és a szemmegoszlásától függ, értéke az 1000 l -ből kivont mértékadó térfogattal (V_{ao}) határozható meg. **A péptelítettség mértéke az adott adalékanyaghoz tartozó pépigény és az alkalmazott pépmennyiség különbsége l/m^3 -ben kifejezve:**

$$V_{ao} + V_{po} = 1000 \text{ l}$$

$$V_{pt} = V_p - V_{po}$$

$$V_{pt} = (V_{ao} + V_p) - 1000$$

ahol:

V_{pt} : péptelítettség mértéke $[\text{l/m}^3]$

V_{po} : adalékanyag pépigénye $[\text{l/m}^3]$

V_{ao} : adalékanyag mértékadó térfogata $[\text{l/m}^3]$

V_p : alkalmazott pépmennyiség $[\text{l/m}^3] \rightarrow V_p = V_v + V_c$

Az alkalmazott cementpép mennyiségének (V_p) és az adalékanyag pépigényének (V_{po}) viszonya alapján a keverék lehet:

Telítetlen: $V_p < V_{po}$

Ebben az esetben az adalékanyag szemcséket cementpép és levegő veszi körül, a helyzetük állandó (3/a és 3/b ábra).

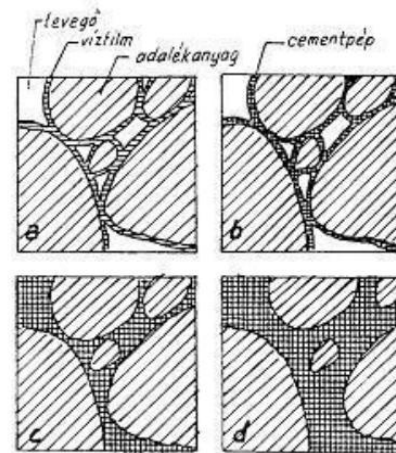
Telített: $V_p = V_{po}$

A cementpép már kiszorítja a légbuborékokat, de a váz helyzete még szintén változatlan (3/c ábra).

Tútelített: $V_p > V_{po}$

Az adalékanyag váz helyzete megváltozik, hiszen a cementpép már nem csak a levegőt szorítja ki, így a szemcsék is eltávolodnak egymástól, úsznak a pépben (3/d ábra).

Látszóbetonok esetén az adalékanyag pépigényénél átlagosan 50-70 l/m³-rel több cementpépet, azaz tútelített keveréket ajánlott alkalmazni a jobb eredmény elérése érdekében.

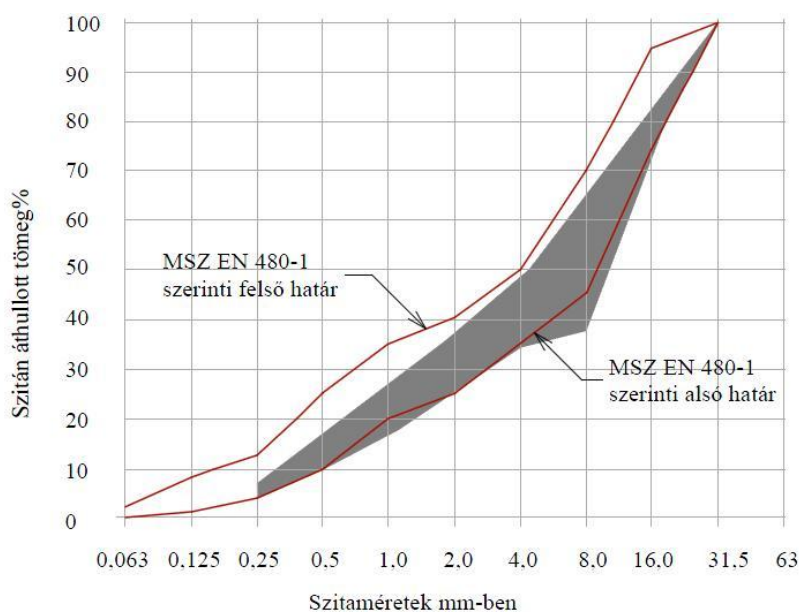


3. ábra: Péptelítettség (21)

Ez a tényező **a kísérlet fő változó paramétere**. A kísérlet során az első próbatest betonösszetételét úgy állítottam össze, hogy a keverék közel telített legyen. A péptelítettséget 33 l/m³-rel folyamatosan növelve a negyedik próbatest esetén egy különösen magas, 121 l/m³-rel tútelített keveréket alkalmaztam. Ezáltal vizsgálni tudtam, hogy valóban az ajánlott mértékben tútelített keverék adja-e a legmagasabb minőséget, azaz a legkevesebb felületi eltérést.

3.3.3 Adalékanyag

Látszóbeton technológia esetén a finomrészben gazdag ($<0,25$ mm), folyamatos szemmegoszlású, gömbölyű szemű adalékanyag használata ajánlatos. Mivel az adalékanyag a betonkeverék 70-80%-át teszi ki, ezért különösen fontos a színegyenletesség, tehát érdemes azt egy lelőhelyről és egy kotrásból leszállíttatni. A legnagyobb szemnagyságot ($D_{\max}$) az egyenletes minőség érdekében ajánlatos 16, illetve 32 mm-re megválasztani, vagy a betontakarást a $D_{\max}$ másfélszeresére növelni.



4. ábra: Látszóbeton szemmegoszlás - ajánlott tartomány (4)

A kísérlet során az ajánlásnak megfelelően egy tételből származó, folyamatos szemmegoszlású adalékanyagot alkalmaztam, melynek maximális szemnagysága $D_{\max} = 16$ mm.

3.3.4 Víz-cementtényező

A vízkiválás, illetve a pórusképződés elkerülése érdekében érdemes a vízmennyiséget a minimálisra csökkenteni, ezáltal alacsony v/c tényezőt alkalmazni. Magas v/c tényező mindamelllett, hogy növeli a hibák megjelenésének valószínűségét, meglehetősen világosabb felületet eredményezhet. A megfelelő v/c tényezőre meghatározott érték nincs, általánosságban azonban elmondható, hogy látszóbetonok esetén a **0,55-nél alacsonyabb értékek** ajánlatosak. A megfelelő minőség elérése érdekében ezen érték ingadozása a teljes kivitelezés folyamán maximum $\pm 0,02$ lehet.

Az ajánlásnak megfelelően a **kísérlet során végig** állandó, **v/c = 0,50** értéken tartottam a víz-cementtényezőt.

3.3.5 Adalékszer

Az adalékszerek kémiai, illetve fizikai úton befolyásolják a friss és/vagy a megszilárdult beton egyes tulajdonságait: (7)

- a kötési vagy szilárdulási folyamatot (gyorsít/lassít)
- friss beton tulajdonságot (képlékenység, szivattyúzhatóság)
- megszilárdult beton tulajdonságot (fagyállóság).

A könnyebb bedolgozhatóság, a vízkiválás és a kivérzési hajlam csökkentése érdekében **folyósító** vagy **képlékenyítő adalékszer**t, tehát a friss beton tulajdonságait megváltoztató adalékszer érdemes alkalmazni látszóbeton technológia esetén. A por vagy folyékony formában kapható adalékszerek adagolását a cement tömegéhez viszonyítjuk, de általában nem haladhatja meg annak 5 tömegszázalékát. Ezen adalékszerek alkalmazásával 5-12%-kal csökkenthető a víztartalom állandó konzisztencia mellett, vagy növelhető a konzisztencia állandó víztartalom mellett.

A **kísérlet során folyósító adalékszer**t alkalmaztam annak érdekében, hogy a kisebb péptelítettségű keverékek is elérjék a kívánt konzisztenciát.

II. Kísérletek feldolgozása

1. A vizsgálat tárgya, célkitűzések

A Holcim Magyarország Kft. győri telephelyén látszóbeton próbatesteket készítettem. Egyazon geometriájú, különböző betonrecepttel elkészített próbatestek felületét hasonlítottam össze, s osztályoztam az MSZ 24803-6-3:2010 szabvány és a Merkblatt Sichtbeton szerint. A cél a kísérleti tényező változtatásával egy olyan optimális betonösszetétel keresése (ha van), amely a szabvány szerint meghatározott vizsgálati szempontok és tűrések alapján a legkevesebb felületi eltérést mutatja, tehát magas követelményszintet teljesíthet.

A kísérlet fő változó paramétere a **péptelítettség**. Egy **közel telített** keverékből indultam ki (22 l/m^3), s a péptelítettséget növelve az utolsó keverék már **magasan túltelített** (121 l/m^3); a szakirodalom által ajánlott érték ($50\text{-}70 \text{ l/m}^3$) kétszeresével. Ebből adódóan azt vizsgáltam, hogy az ajánlott mértékű túltelítettséget növelve tovább javul-e a felület minősége, vagy van egy optimális érték, amelyet meghaladva újra elkezd csökkenni a minőség. Mivel a pépet a cement és a víz alkotja, ezért e két anyag mennyiségét **állandó víz-cementtényező ($v/c = 0,5$)** mellett folyamatosan, arányosan növeltem; 320 kg/m^3 cement- és 160 l/m^3 vízmennyiséggel kezdtem, majd a cementmennyiséget keverékenként 40 kg/m^3 -rel növelve az utolsó próbatest 440 kg/m^3 cementtel és ehhez 220 l/m^3 vízzel készült. A próbatestekhez egy tételből származó **fehércementet** alkalmaztam annak érdekében, hogy a felületi eltérések és színtónusbeli különbségek a lehető legjobban megmutatkozzanak. A keverékekhez a Szigetközből származó **dunai homokos kavicsot** alkalmaztam egy tételből, tehát állandó minőséggel és az ajánlott értékekhez igazított szemmegoszlási görbével. Az egyes keverékek konzisztenciáját illetően a szakirodalom által ajánlott F4-es osztályt céloztam meg. Ennek érdekében a próbatestek készítésének sorrendjét megfordítottam, s a „leghígabb” keverékkel kezdtem, az ahhoz tartozó konzisztencia értékhez (F4) igazítottam a többi, sűrűbb keveréket, így a konzisztenciát folyósítószer hozzáadásával állandó, a terület mérés szerinti **F4-es osztályhoz** tartozó értékeken belül tudtam tartani.

A kísérletekhez olyan **egyedi geometriájú zsaluzat** készült, amelyen vizsgálhatók a látszóbeton technológia kényes pontjai úgy, mint a hegyesszögű és lekerekítetlen élek, a bedolgozási irányra merőleges akadály környéke, illetve a ferde felületek. Ezeken a pontokon azt vizsgáltam, hogy az adott péptelítettségű keverékek milyen mértékben képesek kitölteni a sarkokat, a függőleges akadály környékét, s milyen mértékben alakulnak ki légzárványok. **Kétféle zsaluhéjat** alkalmaztam minden próbatesten azért, hogy a vizsgálatokat nedvszívó és nem nedvszívó zsaluhéjra egyaránt el tudjam végezni; nedvszívó zsaluhéjként **háromrétegű fa zsaluhéjat**, míg nem nedvszívó anyagként **acéllemezt** használtam a próbatestek egyes felületein.

Ezen felül az egyes keverékek **7, illetve 28 napos nyomószilárdságát** is vizsgáltam szabványos kockákon. A szakirodalom szerint a péptelítettség növelésével a szilárdsági értékek várhatóan csökkennek majd. Ebből kiindulva vizsgáltam az egyes próbatestek szilárdsági értékei közötti eltéréseket.

1.1 A vizsgálat során állandó paraméterek

víz-cementtényező	v/c = 0,50
adalékanyag típusa, szemmegoszlási görbéje	ld. 1.3
cement típusa	CEM I 52,5 N fehércement
konzisztencia osztály (terülés mérés)	F4

1.2 A vizsgálat során változó paraméterek (betonösszetétel)

	m_c Cement (kg/m ³)	V_v Víz (l/m ³)	m_a Adalékanyag (kg/m ³)	m_{ad} Folyósítószer (kg/m ³)	V_{pt} Péptelítettség mértéke (l/m ³)
1. keverék	320	160	1919	2,8	22
2. keverék	360	180	1832	1,5	55
3. keverék	400	200	1745	1,0	88
4. keverék	440	220	1658	0	121

A betonösszetétel tervezésénél egy telítetthez közeli keveréket céloztam meg elsőként, így viszonylag alacsony cement- és víztartalomból indultam ki ($m_{c1}=320 \text{ kg/m}^3$ $V_{v1} = 160 \text{ l/m}^3$), amely $V_{pt1} = 22 \text{ l/m}^3$ túltelítettséget eredményezett. A víz-cementtényezőt állandó értéken tartva, a cementmennyiséget keverékenként 40 kg/m^3 -rel, a víztartalmat pedig 20 l/m^3 -rel növelve a nőtt a péptelítettség. A második és harmadik keverék az ajánlott túltelítettség értékéhez közelít (55 és 88 l/m^3), míg az utolsó keverék már magasan túltelített (121 l/m^3). Ebből adódóan azt vizsgáltam, hogy a péptelítettség növelésével javul-e a felület minősége, s van-e egy olyan érték, amely felett romlani kezd. Az adalékanyag mennyiségét minden esetben az 1 m^3 keverékhez számított mennyiség határozta meg.

Péptelítettség számításának bemutatása az első keverék esetén:

- Kiindulási adat: alkalmazott cement- és vízmennyiség (állandó víz-cementtényező), illetve az adalékanyag típusa, szemmegoszlási görbéje.

$$\left. \begin{array}{l} m_{c1} = 320 \text{ kg/m}^3 \\ V_{v1} = 160 \text{ l/m}^3 \end{array} \right\} v/c = 0,50$$

$$\rho_c = 3,1 \text{ g/cm}^3 \quad V_c = m_c / \rho_c$$

$$V_{c1} = \frac{320}{3,1} = 103,2 \text{ l/m}^3$$

➤ Szükséges adalékanyag térfogatának számítása

Feltételezett levegőtartalom: $V_l = 10 \text{ l/m}^3$

$$V_{ad1} = 1000 - 103,1 - 160 - 10 = 726,8 \text{ l/m}^3$$

➤ Szükséges adalékanyag mennyiség számítása

$$\rho_{ad} = 2,64 \text{ g/cm}^3 \quad m_{ad} = \rho_{ad} \times V_{ad}$$

$$m_{ad1} = 726,8 \times 2,64 = 1918,8 \text{ kg/m}^3$$

➤ Péptelítettség mértéke

Adalékanyag jellemző paraméterei :

finomsági modulus: $m = 5,86$

egyenlőtlenségi együttható $U = 37,94$

adott szemmegoszlási görbe (ld. 5. ábra)

Péptartalom: $V_p = V_c + V_v$

Péptelítettség: $V_{pt} = (V_{ao} + V_p) - 1000$

Az adalékanyag mértékadó térfogata:

$$V_{ao} = 759 \text{ l/m}^3$$

Adalékanyag pépigénye:

$$V_{ao} + V_{po} = 1000 \text{ l}$$

$$V_{po} = 1000 - 759 = 241 \text{ l/m}^3$$

$$V_{p1} = 103,2 + 160 = 263,2 \text{ l/m}^3 > V_{po} \longrightarrow \text{tútelített}$$

$$V_{pt1} = (263,2 + 759) - 1000 = 22,2 \text{ l/m}^3$$

A 4 keverék részletes számítása a mellékletben található.

1.3 Adalékanyag összetétel

Az adalékanyag frakcióinak **keverési aránya a teljes kísérlet során állandó volt**, csak az adalékanyag összmenyisége csökkent a cement- és vízmennyiség növelésével párhuzamosan, értékét mindig az 1 m³ keverékhez szükséges mennyiség határozta meg, s az egyes, előre meghatározott arányú frakciók keverési mennyiségét ezek alapján számítottam ki. Az alkalmazott legnagyobb szemcseméret az ajánlásnak megfelelően **D_{max} = 16 mm**. Az alkalmazott adalékanyag Szigetközből származó, dunai homokos kavics. A szemmegoszlási görbe jellemző értékeit az ajánlott értékekhez igazodva alakítottam ki. Az alkalmazott adalékanyag szemmegoszlási görbéje néhány ponton mégis eltér az ajánlottól. Ennek oka, hogy a magyarországi dunai homokos kavics 0,25 - 0,50 mm közötti szemcséinek aránya magas, amely az anyag sajátossága, ezt befolyásolni nem tudtam. Az adalékanyag egy tételből származott, tehát minősége a kísérlet során végig egyenletes volt. Az alkalmazott adalékanyag további jellemző paraméterei:

4. táblázat: Az alkalmazott adalékanyag jellemző paraméterei

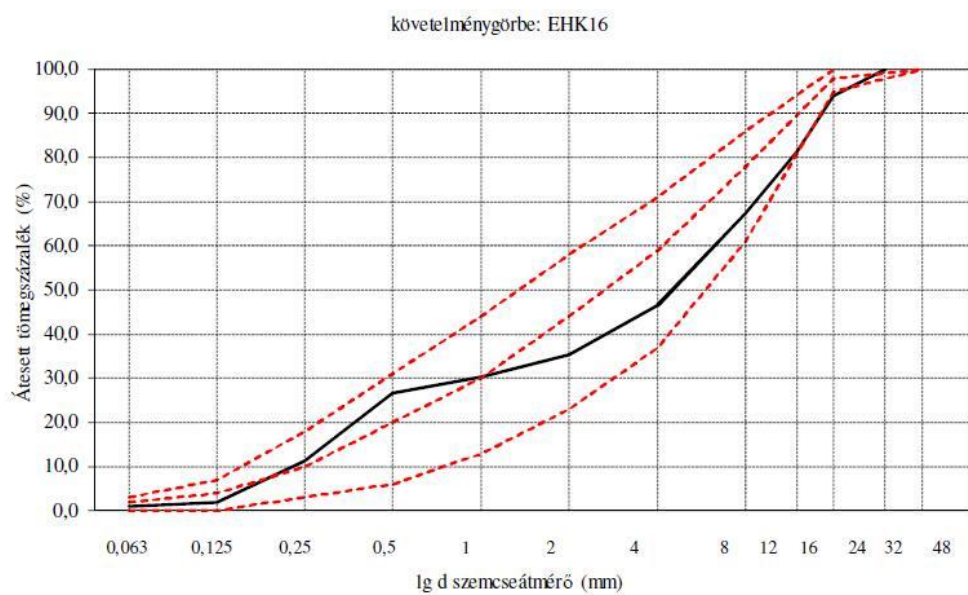
Finomsági modulus	m = 5,86
Egyenlőtlenségi együttható	U = 37,94
Adalékanyag mértékadó térfogata	V _{ao} = 759 l/m ³
Adalékanyag pépigénye	V _{po} = 241 l/m ³
Finomrész tartalom (0,25 mm alatt)	11,4 %
Homok/kavics arány	47 : 53

5. táblázat: Alkalmazott adalékanyag frakciók

	Megnevezés	Keverési arány (%)
1. Frakció	OH 0/4	48,0
2. Frakció	OK 4/8	20,0
3. Frakció	OK 8/16	32,0

6. táblázat: Szitavizsgálat eredményei

D (mm)	m%	D (mm)	m%
63	100,0	4	46,6
48	100,0	2	35,4
32	100,0	1	30,3
24	100,0	0,5	26,6
16	93,9	0,25	11,4
12	81,4	0,125	1,9
8	67,4	0,063	0,9



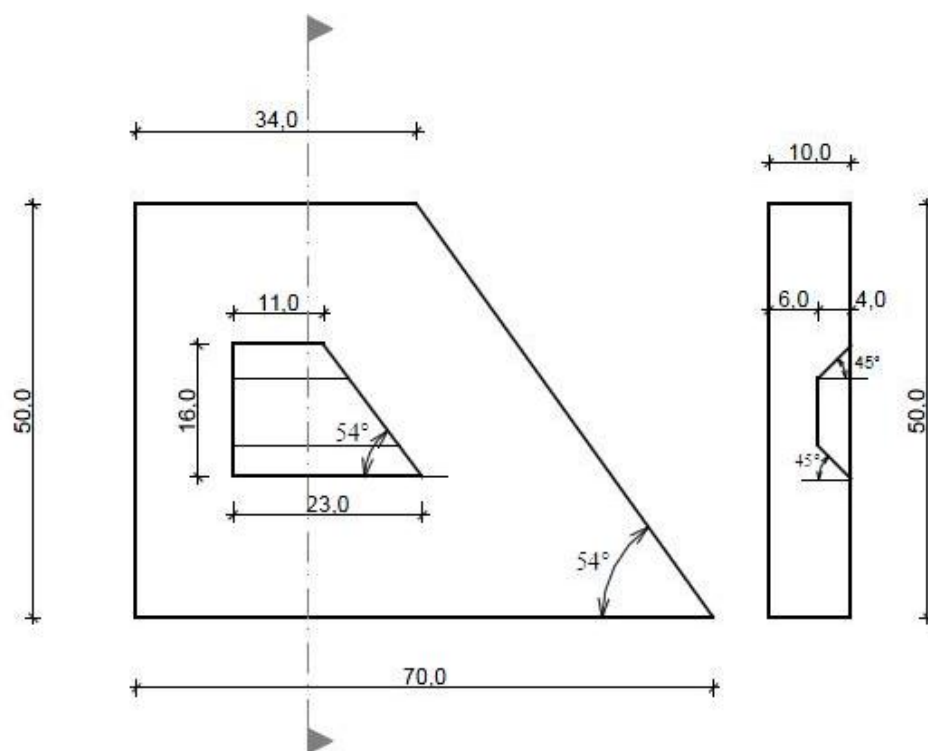
5. ábra: Alkalmazott adalékanyag szemmegoszlási görbéje

1.4 Zsaluzat kialakítása

A zsaluzatot két fő szempont szerint alakítottam ki. Egyrészt olyan geometriájú zsaluzatot terveztem, amelyen vizsgálhatók a látszóbeton technológia kényesebb pontjai. Alapvetően egy vékony, 10 cm széles, 50 cm magas falszerű geometriát alakítottam ki, melynek egyik oldallapja befelé lejt. Ennek oka, hogy a ferde felületek esetén a levegő kivibrálása nehezebb, gyakrabban alakulnak ki légzárványok. A ferde oldallap 54°-ot, tehát hegyesszöget zár be a zsaluzat alsó vízszintes felületével, így megfigyelhető, hogy az egyes, különböző mértékben túltelített keverékek mennyire képesek kitölteni a sarkot. Ezen felül a függőleges bedolgozási irányra merőlegesen egy, a zsaluzat paramétereivel arányos méretű (azoknak 1/3-a) akadályt képeztem, ahol szintén a légzárványok kialakulását vizsgáltam. Ez az „akadály” a zsaluzat külső síkjához képest 4 cm-rel beljebb képez egy kisebb, függőleges felületet. A behúzás mértékét úgy alakítottam ki, hogy a mögöttes, betonnal kitöltendő keresztmetszet az alkalmazott $D_{\max}$ 1/3-nál, azaz 5,3 cm-nél nagyobb legyen. A behúzott függőleges felület alsó és felső síkja a könnyebb kizsaluzás érdekében 45°-os szögben elhelyezett lapokkal csatlakozik a zsaluzat külső síkjához. A zsaluzat pontos paramétereit az 6. ábrán láthatóak.

A zsaluzat tervezése során a másik fontos szempont az volt, hogy a változó betonösszetétel felületre gyakorolt hatása mind nedvszívó, mind pedig nem nedvszívó zsaluhéj esetén vizsgálható legyen. Ezért a zsaluzat a bedolgozási irányra merőleges „akadály” oldali felületei, illetve az alsó- és oldallapjai **acéllemez**ből készültek, míg a hátulsó nagyobb, egybefüggő felület **háromrétegű fa zsaluhéjjal** készült, a 7-8-9-10. ábrán látható módon. A fa zsaluhéj öregedésének és ezáltal a felületre gyakorolt esetleges hatásainak elkerülése érdekében a háromrétegű zsaluhéjat minden próbatest esetén cseréltem ugyanolyan típusú és származású zsaluhéjra. Az acéllemez esetén erre nem volt szükség, így a kizsaluzás után a felületet megtisztítva újra felhasználtam. Az acéllemezek, illetve a fa és az acéllemez kapcsolatát egymáshoz csavart fűlekkel alakítottam ki. A behúzott függőleges felület és a zsaluzat külső síkja közötti lemezek hegesztett kapcsolattal készültek.

A könnyű kizsaluzás érdekében **SIKA Schalöl 2A** típusú leválasztó szert használtam. Ez egy ásványi olaj bázisú, oldószermentes leválasztó szer, amely fa-, fém-, és műanyag zsaluzatok kezelésére egyaránt alkalmas, ezért minden felület esetében ezt az anyagot használtam.



6. ábra: Alkalmazott zsaluzat paramétereit (cm)



8. ábra: Alkalmazott fém zsaluhéj



7. ábra: Alkalmazott háromrétegű zsaluhéj



9. ábra: Bedolgozási irányra merőleges akadály



10. ábra: Alkalmazott fém és háromrétegű zsaluhéj rögzítése

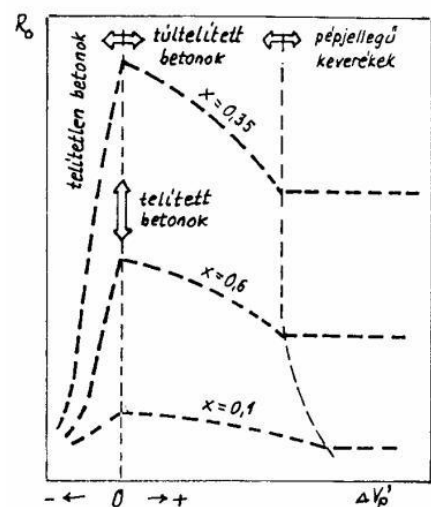
1.5 Kivitelezés

Mivel a kísérlet során állandó, viszonylag magas, a terület mérés szerinti F4-es konzisztenciájú keveréket szerettem volna kialakítani, ezért a kivitelezést a „leghígabb”, azaz a 4.-nek szánt, 440 kg/m^3 cementet és 220 l/m^3 vizet tartalmazó keverékkel kezdtem, s a másik három, egyre sűrűsödő keverék konzisztenciáját folyósítószer hozzáadásával igazítottam az elsőhöz. Ezáltal minden keverék esetén biztosítottam az állandó, F4-es konzisztencia osztályt. Az értékelés során azonban a kísérlet felépítésének logikáját követve a legsűrűbb keveréket tekintem elsőnek. A friss betont három rétegben dolgoztam be a zsaluzatba, s **rázóasztalon tömörítettem**. Utókezelés gyanánt az egyes próbatesteket három napig **zsaluzatban tartottam**.

1.6 A kísérletek előtti elvárt eredmények

A közel telített keverék esetén várható a legtöbb felületi eltérés, azaz jelentős pórusosság, színeltérések, illetve feltételezhető, hogy ez a keverék tölti ki leghiányosabban a hegyesszögű sarkot, s itt keletkezik a legtöbb légzárvány. A péptelítettség növelésével várhatóan ezek a tulajdonságok javulnak. A faanyagú zsaluhéj által készített felület várhatóan minden próbatest esetén sötétebb lesz, viszont kevésbé pórusos, mint az acéllemez által létrejött felületek. Utóbbi esetén több színeltérés és nagyobb mértékű pórusosság várható. Összességében azt feltételezem, hogy a péptelítettség növelésével a felületek minősége javul, s várhatóan a legmagasabb péptelítettséggel rendelkező próbatest mutatja majd a legkevesebb felületi eltérést.

A péptelítettség és a nyomószilárdság összefüggése alapján a péptartalom növekedése várhatóan a nyomószilárdság csökkenését vonja maga után. A legnagyobb nyomószilárdságot adott víz-cementtényező mellett mindig a telített betonnal lehet elérni. (5) Ebből adódóan a kísérlet során várhatóan az első keveréknek lesz a legnagyobb nyomószilárdsága, amely érték feltehetően próbatestenként csökken.



11. ábra: Péptelítettség és nyomószilárdság összefüggése (5)

III. Kísérleti eredmények

1. Értékelési szempontok

A próbatestek értékelését első sorban az MSZ 24803-6-3:2010 és a Merkblatt Sichtbeton vizsgálati szempontjai és tűrési értékei alapján végeztem el, majd hasonlítottam össze a kapott eredményeket. A vizsgálati szempontok közül kiválasztottam azt a néhány, az én esetemre jellemző követelményt, amely alapján rangsorolni tudom a próbatesteket:

- pórusosság
- színtónus-egyenlőség vagy minőségromlást eredményező, illetve nem eredményező foltosság a felületen
- fészkeség

Ezen felül a próbatestek összehatasát is figyelembe véve szemrevételezéssel is vizsgáltam azokat. A három fő szemponton kívül a kísérlet során felmerült egyéb felületi eltéréseket is figyelembe vettem a kísérlet globális értékelése során úgy, mint a vérzést, a zsalutoldásoknál kilépő cementpépet, illetve a betonlerakódásokat.

A kísérletek során a próbatestek 7 és 28 napos nyomószilárdságát is vizsgáltam. A következőkben ezeket a szempontokat szeretném részletesebben ismertetni, s bemutatni a kapott eredményeket.

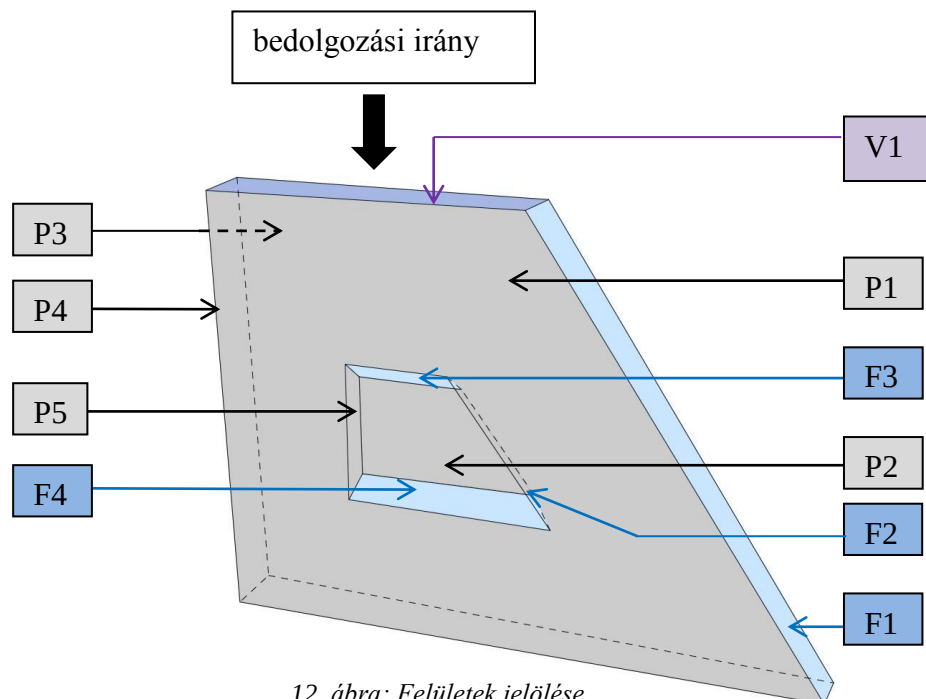
1.1 Felületi pórustartalom vizsgálat

Látszóbeton technológia esetén még gondos tervezés és kivitelezés mellett sem kerülhető el a pórusképződés. Mindez akkor számít hibának, ha azok felületi aránya meghaladja a szabványban rögzített és a követelménykiírási tervben meghatározott igényszinthez tartozó maximális értéket.

A pórustartalom vizsgálata során a magyar szabvány ajánlása szerint az $1 \leq d \leq 15$ mm közötti pórusokat vettem figyelembe, míg a német előírás szerint a $2 \leq d \leq 15$ mm közötti pórusok arányát számítottam ki. A vizsgálatot mind a négy próbatest minden felületén elvégeztem, a kapott eredmények a 7. táblázatban és a mellékletben láthatóak. A két szabvány esetén a vizsgálati eredmények közötti eltérés minimális, hiszen a 2 mm-nél kisebb pórusok összterülete minden felület esetén elhanyagolható nagyságú. Ebből adódóan a felületek részletes értékelését a magyar szabvány szerinti adatok alapján végeztem el.

A betonban lévő levegőnek a tömörítés során felfelé kellene távoznia, azonban függőleges és ferde felületek esetén a légbuborékok a szélső zónában gyakran csak a zsaluhéjig jutnak el, majd megtapadnak azok felületén. Ebből adódóan az egyes felületek pórusossága eltérő lesz. Az értékelés során ezért a felületeket a bedolgozási irányhoz való viszonyuk alapján csoportosítottam, így három félét különböztetek meg:

- **P1-5:** bedolgozási iránnyal párhuzamos (függőleges) felületek
- **V1:** bedolgozási irányra merőleges (vízszintes) felület
- **F1-4:** bedolgozási iránnyal szöget bezáró (ferde) felületek.

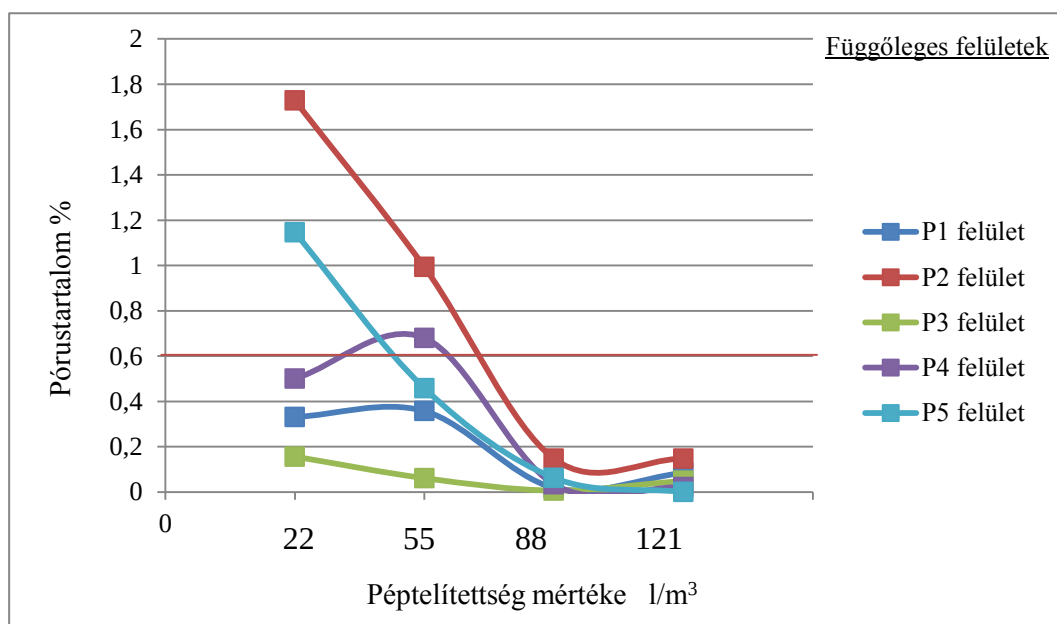


12. ábra: Felületek jelölése

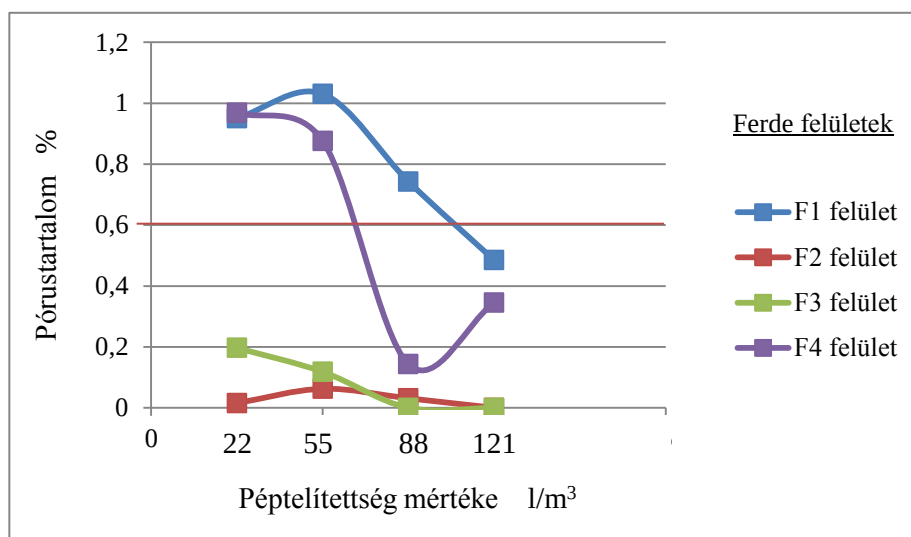
7. táblázat: Felületi pórustartalom vizsgálat az MSZ 24803-6-3:2010 szerint

Felület	Pórustartalom (%) próbatestenként ($1 \leq d \leq 15$ mm)				
	Zsaluhéj típusa	1.	2.	3.	4.
Bedolgozási irányral párhuzamos (függőleges) felületek					
P1	NS	0,331	0,357	0,018	0,085
P2	NS	1,728	0,993	0,147	0,147
P3	S	0,156	0,0611	0,006	0,049
P4	NS	0,500	0,680	0,034	0,022
P5	NS	1,146	0,458	0,063	-
Bedolgozási irányra merőleges (vízszintes) felületek					
V1	-	0,059	0,179	0,194	0,059
Bedolgozási irányral szöget bezáró (ferde) felületek					
F1	NS	0,951	1,031	0,743	0,485
F2	NS	0,0156	0,063	0,0313	-
F3	NS	0,197	0,118	-	-
F4	NS	0,969	0,876	0,143	0,345

(NS: nem nedvszívó, S: nedvszívó zsaluhéj)



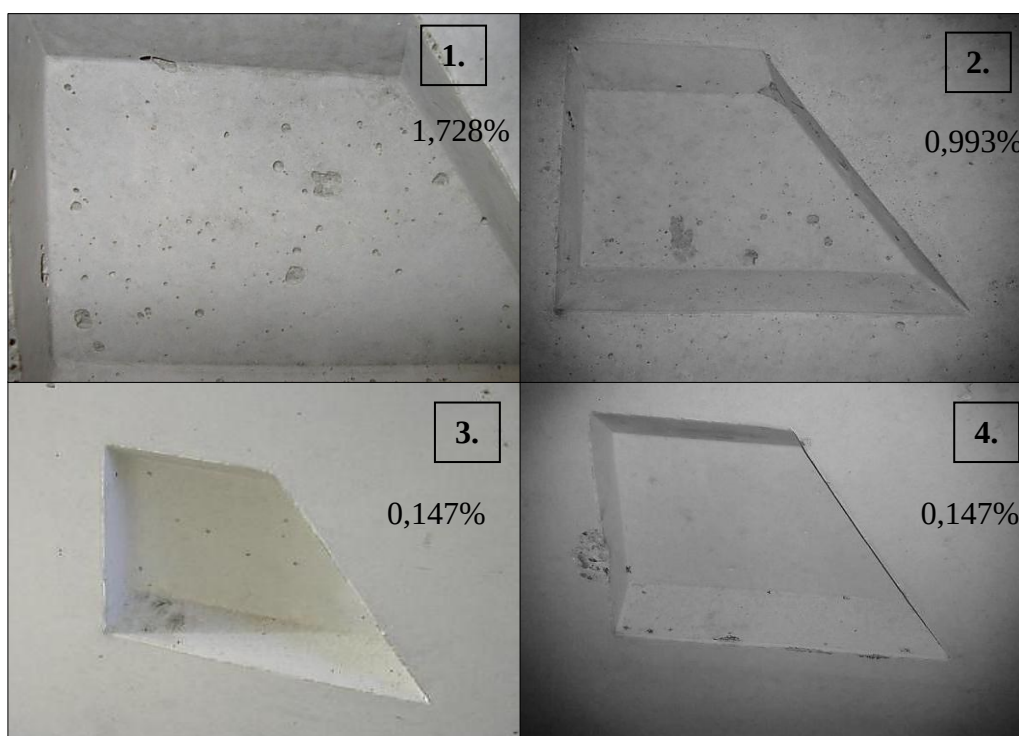
13. ábra: Függőleges felületek pórustartalom változása a péptelítettség növelésével



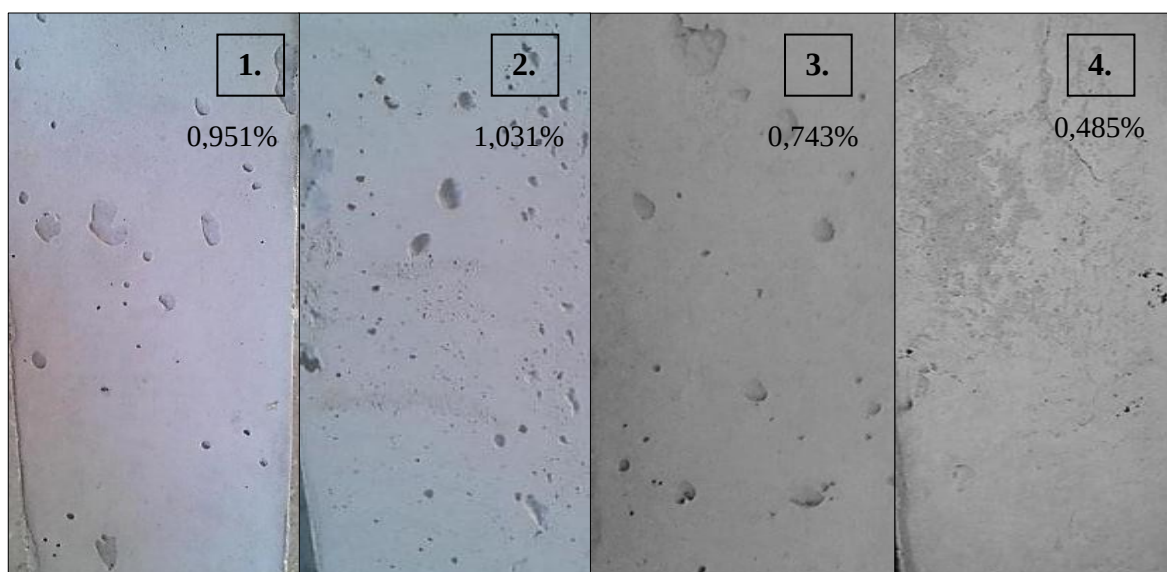
14. ábra: Ferde felületek pórustartalom változása a péptelítettség növelésével

A **legjelentősebb változások** a pórustartalmat illetőleg a bedolgozási irányra merőleges „akadály” környékén észlelhetők (P2, P5), illetve az F1-es és F4-es, **ferde felületeken**. A péptelítettség növelésével a P2-es, függőleges felület pórustartalma az első próbatesthez viszonyítva kevesebb, mint a tizede az utolsó próbatest esetén, az F4-es, ferde felület pórustartalma pedig harmadára csökken. A **legmagasabb átlagos pórustartalommal** a kísérlet során a P2-es, a P5-ös és az F1-es felület rendelkezik.

A függőleges és ferde felületek esetén jól látható, hogy a pórustartalom szempontjából a az **optimális péptelítettség 88 és 121 l/m³ között** található.



15. ábra: Bedolgozási irányra merőleges akadály környéke - jelentős pórustartalom-változás



16. ábra: F1-es felületek pórustartalmának változása próbatestenként

Érdemes megemlíteni, hogy a 2. keverék, tehát 55 l/m^3 túltelítettség esetén jelentős méretű légzárvány alakult ki a bedolgozási irányra merőleges akadály környékén, az F3-mas és F2-es felület határán.



17. ábra: Légzárvány a 2. próbatest F2-F3 felület határán

A vizsgálatból egyértelműen látszik a különbség a **nedvszívó** és a **nem nedvszívó zsaluhéj** között. Mind a négy próbatestet figyelembe véve a háromrétegű fa zsaluhéj esetén (P3-mas felület) a legnagyobb pórustartalom is csupán 0,156%, míg a legmagasabb pórustartalom fém zsaluhéj esetén eléri az 1,728 %-os értéket, amely már sem a magyar, sem a német előírás alapján nem sorolható be egyetlen osztályba sem. Nem nedvszívó zsaluhéj esetén a legalacsonyabb érték is 2,5-szerese a nedvszívó zsaluhéj által létrejött felület minimális pórustartalmának.

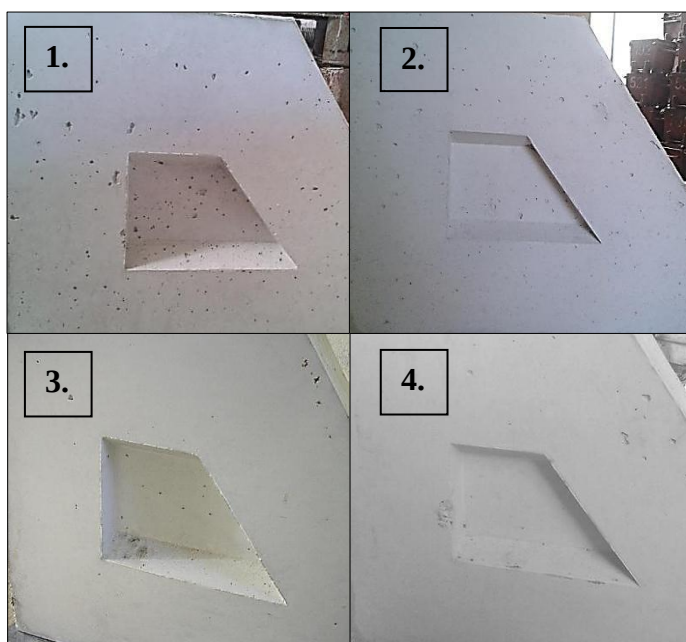
8. táblázat: Nedvszívó és nem nedvszívó zsaluhéjak összehasonlítása pórustartalom szempontjából

Zsaluhéj típusa	Legalacsonyabb pórustartalom (%)	Legmagasabb pórustartalom (%)
Nedvszívó	0,00615	0,156
Nem nedvszívó	0,0156	1,728

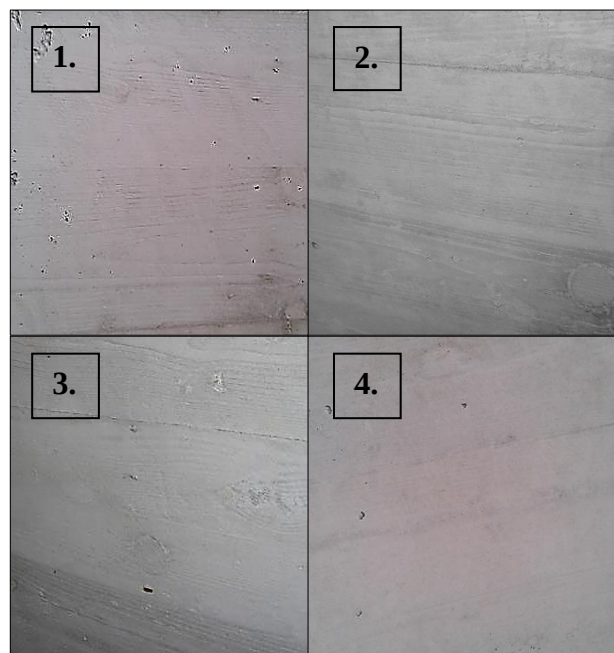
9. táblázat: Próbatestek osztályba sorolása pórustartalom szempontjából az MSZ 24803-6-3:2010 és a Merkblatt Sichtbeton szerint

Próbatestek	MSZ 24803-6-3:2010 szerinti osztály	Követelményszinthez tartozó maximális pórustartalom (MSZ)	Merkblatt Sichtbeton szerinti osztály	Követelményszinthez tartozó maximális pórustartalom (DBV)
1.	-	nem kell vizsgálni	nem sorolható osztályba	-
2.	-	nem kell vizsgálni	P1	1,2%
3.	-	nem kell vizsgálni	P2	0,9%
4.	Különleges követelményszint	0,6%	P3	0,6 %

Szemrevételezéssel vizsgálva a pórustartalmat az első és a második próbatest egyöntetűen pórusos, főleg a fém zsaluhéjjal készült felületek. A harmadik és negyedik próbatest szintén nagyon hasonló, alig vehető észre különbség. Az utolsó két próbatest összehatása egységes, a pórustartalom csökkenés látványos az előző két próbatesthez képest. A fa zsaluhéjjal készített felületek esetén általánosságban elmondható, hogy nincs jelentős különbség, összehatásuk mind a négy próbatest esetén hasonló, csupán minimális változás fedezhető fel a pórustartalommal illetően.



19. ábra: Fém zsaluhéjjal készült felület pórustartalom változása - jelentős különbség az 1-2. és a 3-4. próbatest között

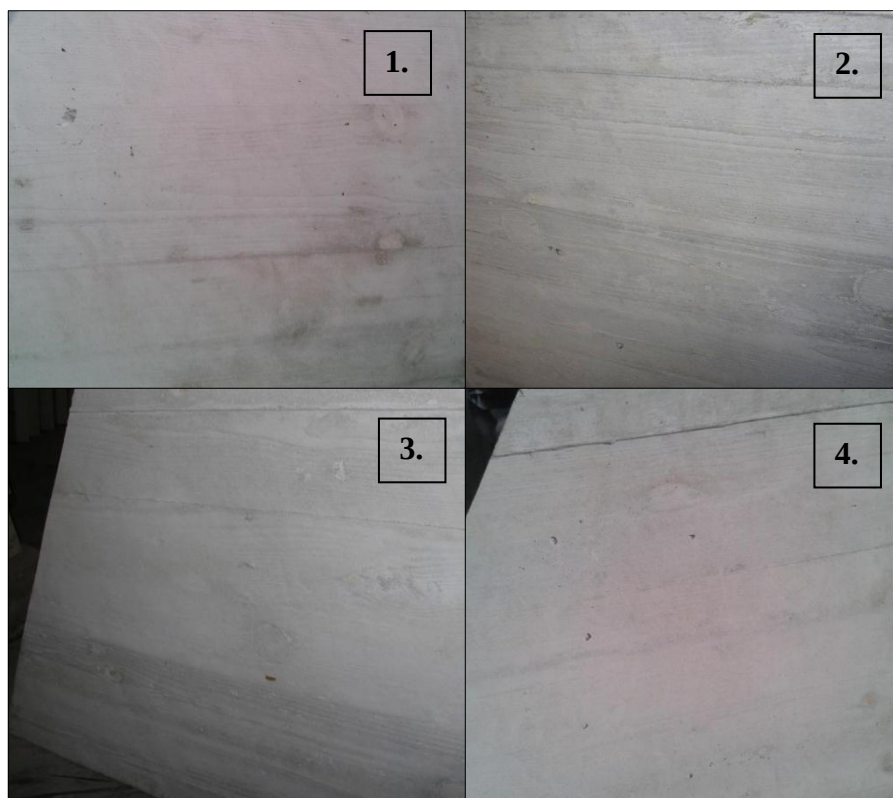


18. ábra: P3-mas, nedvszívó zsaluhéjjal készült felület pórustartalom változása - elhanyagolható

1.2 Színtónus-egyenlőség

A Merkblatt Sichtbeton **színtónus-egyenlőség** szempontjából három csoportba sorolja a felületeket (FT1-FT3) aszerint, hogy azon található-e világos és sötét elszíneződés, rozsdá- és szennyeződési folt. Ezen felül korlátozza az eltérő típusú és származású zsaluhéjak, valamint alapanyagok alkalmazását bizonyos követelményszintek esetén. A magyar szabvány hasonló vizsgálati szempontja a **minőségromlást eredményező foltosság (mf)**, illetve a **minőségromlást nem eredményező foltosság a felületen (mnf)**. A magyar szabvány a rozsdafoltokat, illetve a nem megfelelő zsaluleválasztó szer által okozott eltérést sorolja a minőségromlást eredményező foltosságok körébe, tehát az olyan eltéréseket, amelyek a szerkezet minőségét rontják, a további szerkezet, illetve felületkezelés szakszerű kivitelezését meggátolják. Amennyiben ez nem áll fenn és az adott felület összképe megegyezik a mintafelületével, az eltérés nem eredményez minőségromlást.

A színtónus vizsgálat esetén érdemes külön vizsgálni a nedvszívó és a nem nedvszívó zsaluhéjjal készült felületeket. A kezdeti feltételezéssel ellenben **a legnagyobb színtónusbeli különbségek a P3-mas**, azaz a fa zsaluhéjjal készített felületek esetén jelentkeznek. Az első, közel telített és az ajánlott mértékben túltelített (tehát az első kettő) keverék esetén jelentős és egyenetlen eltérések jelentek meg a felületen. A harmadik, 88 l/m³-rel túltelített keverék esetén a sötét és világos színeltérések már egyenletesebben jelentkeznek, míg az utolsó, magasan túltelített betonösszetétel látszólag egységes felületet adott.



20. ábra: P3-mas, nedvszívó zsaluhéjjal készült felület elszíneződései
próbatestenként

A **fém zsaluhéjjal** készült felületek ezzel szemben **egységesebbek**, némi szennyeződés jelentkezik a a behúzott, P2-es függőleges felületet határoló részeken. Megemlítendő, hogy a harmadik és a negyedik próbatesten, ami a kísérlet kivitelezése során elsőnek és másodiknak készült el, jelentős rozsdafoltok találhatóak, amelyet egyik szabvány sem enged meg. Ennek azonban számtalan oka lehet, ami a kísérlet során nem volt szempont, így erre részletesebben nem térnek ki.

Szemrevételezéssel vizsgálva a próbatesteket a **harmadik és a negyedik**, azaz a 88 és a 121 l/m³-rel túltelített keverékek nyújtják a **legegységesebb hatást**, minden felületet egybevetve.

10. táblázat: Színtónus-különbség szerinti osztályba sorolás

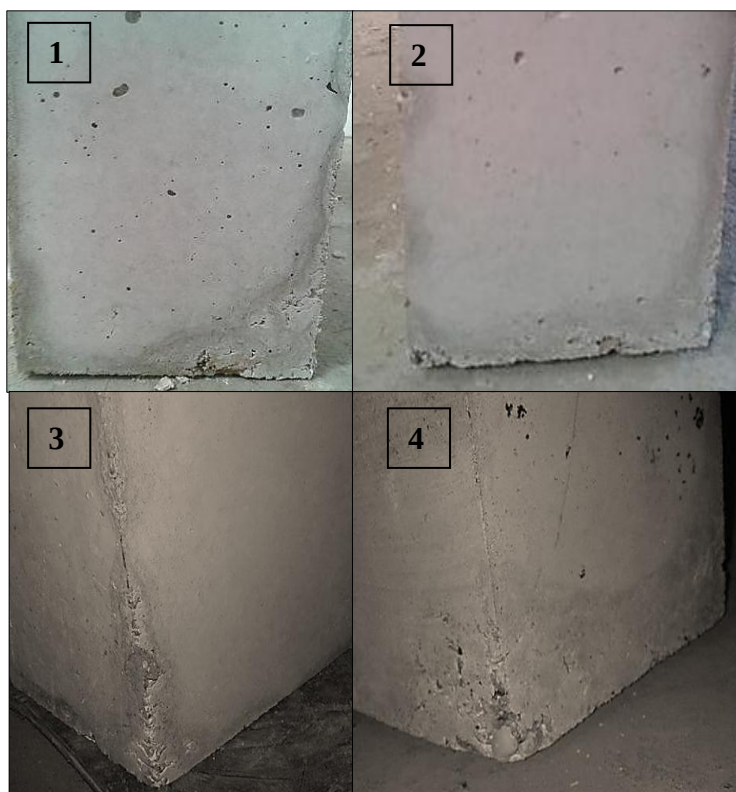
	felületi eltérés	Merkblatt Sichtbeton szerinti osztály	MSz 24803-6-3:2010 szerinti osztály
1. próbatest	sötét elszíneződés	FT1	csak a különleges követelményszint esetén vizsgálandó, mintafelület alapján
2. próbatest	egyenletes sötét elszíneződés	FT1	
3. próbatest	egyenletes sötét elszíneződés	FT2	
4. próbatest	csekély méretű sötét elszíneződés	FT3	

1.3 Fészkesség

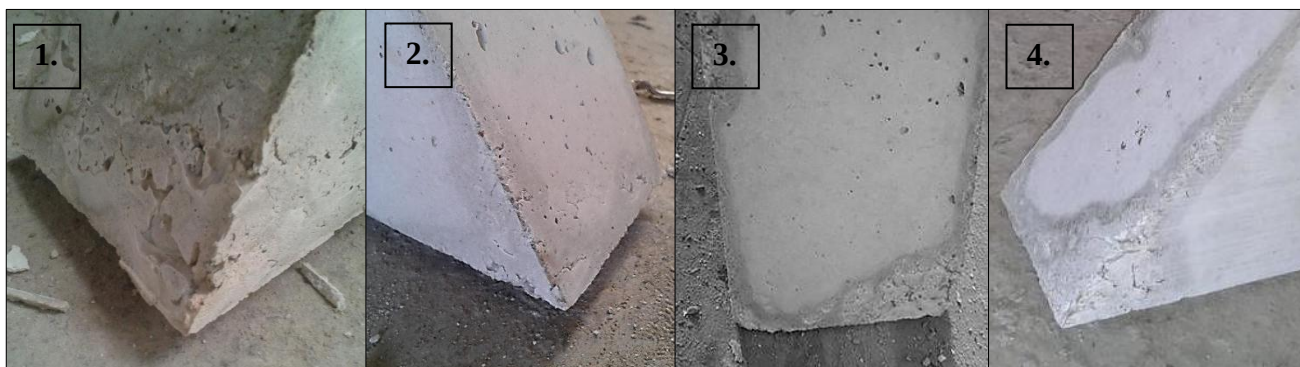
A fészkesség durva, szemcsés felületet jelent hézagokkal és finomrész hiánnyal. Kialakulása több tényezőre vezethető vissza: okozhatja túl magas víz-cementtényező, hiányos tömörítés, szétosztályozódás, hibás tömítésű zsaluzat, illetve az adalékanyag alacsony finomszemcse-aránya. A fészkés felületeket a magyar szabvány nem engedi meg egyetlen követelményszint esetén sem, s a német előírás is az elkerülhető eltérések közé sorolja és a textúra-zsalutoldás vizsgálati szempont szerint is zárt felületet követel meg.

Általánosságban elmondható, hogy a kísérlet során fészkés felület elsősorban a **P4-es, függőleges felület** alsó élénél, az **F1-es ferde felület** alsó, **hegyesszögű sarkánál**, illetve annak P3-mas és P1-es felületekhez **csatlakozó élein** fordultak elő.

A fészkesség mértéke az első próbatest esetén a legnagyobb, mind a függőleges felületet, mind pedig a hegyesszögű sarkot tekintve. A péptelítettség növelésével a fészkesség mértéke egyre csökken. A hegyesszögű sarkot tekintve legzártabb felületet a második és az utolsó próbatest adta, a függőleges felület esetén pedig a második és a harmadik próbatest.



21. ábra: Fészkesség mértékének változása próbatestenként a P4-es, függőleges felület alsó részén



22. ábra: Fészkesség mértékének változása próbatestenként a hegyesszögű sarokban

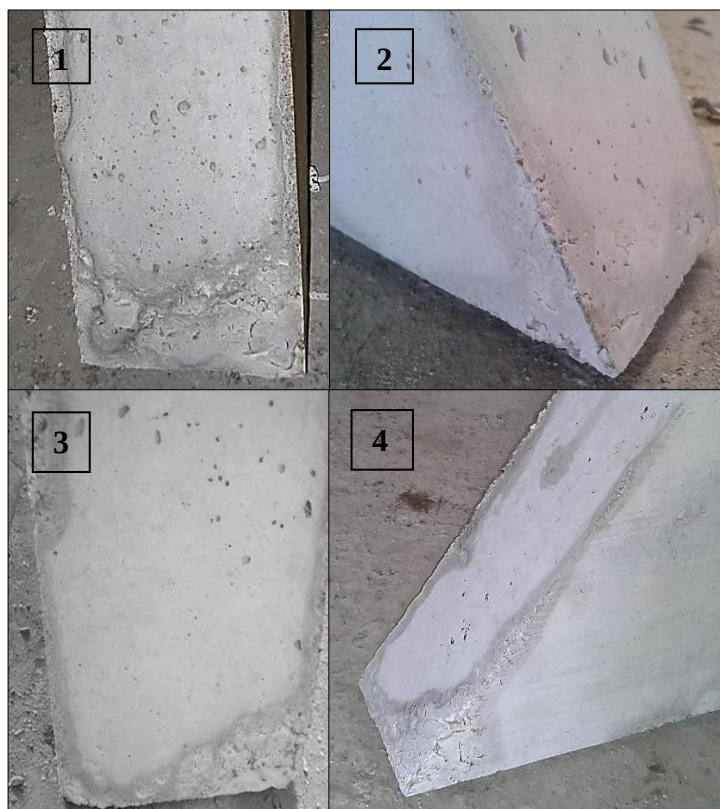
1.4 Egyéb felületi eltérések

A következőkben azokat a felületi eltéréseket vizsgálom, amelyek a kísérlet során felmerültek, illetve amelyekre a magyar szabvány, illetve a német előírás nem ad konkrét tűrési értéket, azonban a végső megjelenést döntően befolyásolja. A Német Betonszövetség által kiadott Merkblatt Sichtbeton szerint a felületi eltérések három csoportba sorolhatók:

- Elkerülhető eltérések
- Korlátozottan elkerülhető eltérések
- Teljes biztonsággal nem elkerülhető eltérések.

Vérzés

A „vérzés” a friss betonból történő túlzott vízkiválást jelenti, amely meglehetősen rontja a végleges felület esztétikai értékét. A csekély vérzést a német irányelv a korlátozottan elkerülhető eltérésekhez sorolja. A kísérletek során vérzés minden esetben a csavarozott fűlekkel csatlakozó zsalutáblák élénél jelentkezett. A legjelentősebb vízkiválás minden próbatest esetén az F1-P1-P3 által határolt él mentén, azaz a hegyesszögű saroknál jelentkezett. Ezen felül megfigyelhető a P1-F1, a P1-P4, a P3-P4, P3-F4, valamint a próbatestek alsó síkja és a P3-mas



23. ábra: Vérzés mértékének változása próbatestenként a P1-F1-P3 által határolt sarok esetén

és P1-es felületek által határolt élek esetén. Megfigyelhető, hogy a **vérzés mértéke** próbatestenként **egyre nő, s az főleg az alsóbb felületeken jelenik meg.**

Betonlerakódás, visszamaradt farostok a felületen

A magyar szabvány szerint minőségromlást eredményező anyag egyetlen követelményszint szerint sem lehet a felületen, minőségromlást nem eredményező anyag pedig csak a különleges követelményszint esetén nem megengedett. A Merkblatt Sichtbeton textúrára, zsalutoldásra vonatkozó előírásai alapján a legmagasabb követelményszint esetén a műszakilag elhanyagolható felületi ugrás maximális nagysága 3 mm lehet – ezt egyik felület sem haladja meg. A kísérlet során az első és harmadik próbatesten, azon belül is a P3-mas, fa zsaluhéjjal készített felületen figyelhetők meg betonlerakódások, illetve visszamaradt farostok.



24. ábra: Betonlerakódás a 3. próbatest P3-mas felületén

Zsalutoldásnál kilépő cementpép

Ugyancsak hibának számít a zsalutáblák toldásainál kilépő cementpép. A háromrétegű zsaluhéj esetén egy helyen volt szükség toldásra, amely a felületen bordaként megjelent. Ennek szélessége minden próbatesten átlagosan 10 mm alatti, mélysége pedig 3-5 mm közötti, ezért a Merkblatt Sichtbeton textúrára és zsalutoldásra vonatkozó vizsgálati szempontja szerint a második, T2-es osztályba sorolható.



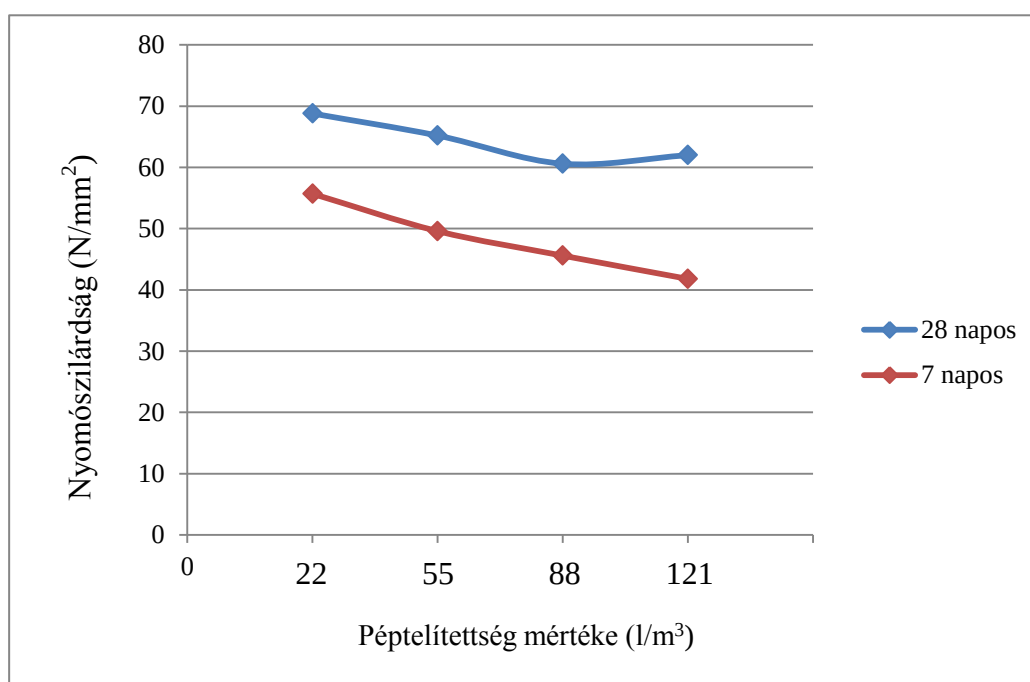
25. ábra: Zsalutábla toldásnál kialakult borda az első próbatest P3-mas, fa zsaluhéjjal készített felületén

1.5 Szilárdságvizsgálat

A kísérletek során az egyes keverékek 7 és 28 napos nyomószilárdságát is vizsgáltam szabványos kockákon. Az eredmények alapján elmondható, hogy a péptelítettség növelésével a nyomószilárdsági értékek jelentősen csökkentek, a legnagyobb nyomószilárdsággal a közel telített keverék rendelkezik, tehát a kezdeti feltételezés helyes volt.

11. táblázat: Az egyes keverékek 7 és 28 napos nyomószilárdsági értékei

Próbatestek	7 napos nyomószilárdság (N/mm ²)	28 napos nyomószilárdság (N/mm ²)	Testsűrűség (kg/m ³)
1.	55,7	68,8	2404
2.	49,6	65,2	2377
3.	45,6	60,6	2351
4.	41,8	62,0	2302



26. ábra: Nyomószilárdság változása a péptelítettség növelésének hatására

1.6 Költségkimutatás

12. táblázat: Az egyes keverékek alapanyagainak költségei

Keverékek	1 m ³ keverék alapanyagainak bruttó ára (Ft)					Folyósító szer	Összköltség (Ft/m ³)	Költségek változása (%)
	Cement	Adalékanyag						
		OH 0/4	OK 4/8	OK 8/16	Összesen			
1.	16.000	1.925	541	921	3.387	2.792	22.179	100
2.	18.000	1.855	517	879	3.251	1.496	22.747	102,6
3.	20.000	1.767	492	838	3.097	997	24.094	108,6
4.	22.000	1.679	468	796	2.943	0	24.943	112,5

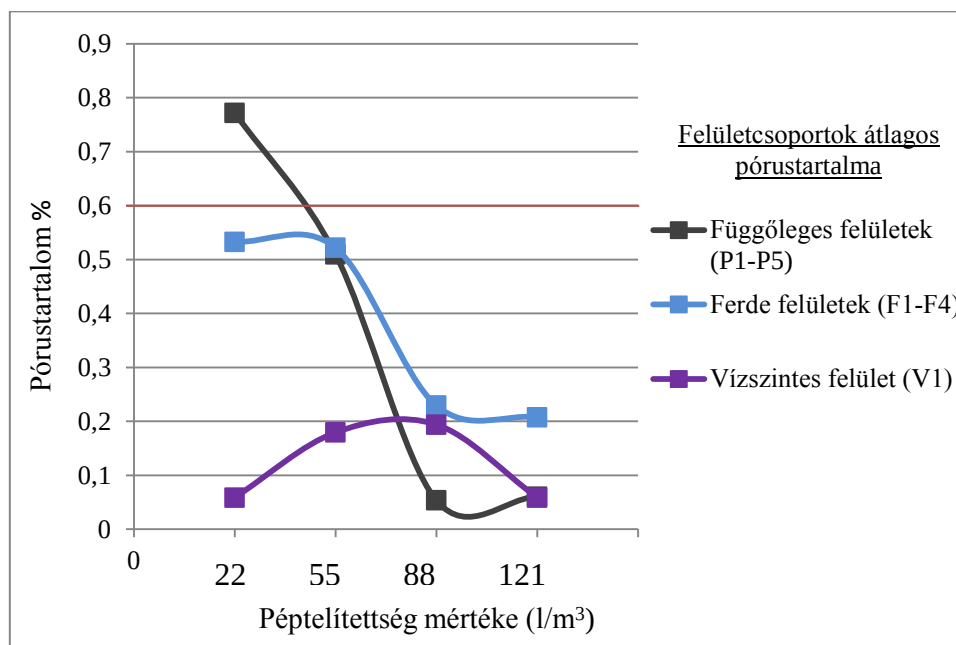
A költségkimutatás során a következő adatokat használtam fel:

- a Holcim Magyarország Kft-től kapott adat a fehér cementre: 50.000 Ft/t
- Lajta Kavics Bányászati Kft. árjegyzékéből (Darnózseli):
 - Osztályozott mosott homok 0/4 nettó ára: 1660 Ft/t
 - Osztályozott mosott kavics 4/8 nettó ára: 1110 Ft/t
 - Osztályozott mosott kavics 8/16 nettó ára: 1180 Ft/t
- Sika Wiscocrete 1020 folyósító adalékszer egységára: 997 Ft/kg

Jól látható, hogy a péptelítettség 22 l/m³-ről 121 l/m³-re való emelésével 1 m³ keverék ára 12,5 %-kal, azaz körülbelül 2.700 Ft-tal lett magasabb. Ez egyrészt annak köszönhető, hogy bár a cementmennyiség jelentősen megnőtt, a 3. és 4. keverékhez kevesebb adalékanyagra volt szükség, illetve a célzott konzisztencia osztály minimális folyósító szerrel, illetve a 4. keverék esetén anélkül is elérhető volt.

2. A kiértékelések alapján levonható következtetések

A felületi pórustartalom vizsgálatból levonható következtetések:



27. ábra: Felületcsoportok átlagos pórustartalmának változása a péptelítettség növekedésével

- A péptelítettség növelésével a pórustartalom a függőleges és ferde felületek esetén 88 l/m³-ig csökken, majd némi növekedés figyelhető meg
- A felületcsoportok átlagos pórustartalma alapján az optimális túltelítettség 88 és 121 l/m³ közötti érték
- A péptelítettség a közel telített állapotról (22 l/m³), a szakirodalom által ajánlott értékhez közeli (4-szeresére – 88 l/m³) növelésével a függőleges felületek pórustartalma átlagosan a tizedére, a ferde felületek pórustartalma átlagosan a harmadára csökken
- A nem nedvszívó zsaluhéjjal készült felület legnagyobb pórustartalma több, mint 11-szerese a nedvszívó zsaluzattal készült felület maximális pórustartalmának, illetve a minimális pórustartalmak között is egy nagyságrendbeli különbség van
- A legjelentősebb és leglátványosabb változások a bedolgozási irányra merőleges „akadály” környékén, a P2-es és P5-ös függőleges felületen észlelhetőek illetve az F1-es ferde felületeken
- A legnagyobb pórustartalommal a kísérlet során a P2-es függőleges felület rendelkezik

- A legnagyobb mértékben túltelített, utolsó próbatest pórusosság szempontjából mind a magyar, mind a német előírás alapján teljesíti a legmagasabb követelményszintet
- A nedvszívó zsaluhéjjal készített felületek pórustartalma minden próbatest esetén mindkét szabvány szerint a legmagasabb követelményszinthez tartozó maximális érték alatt van (MSZ: 0,6%, DBV: 0,3%)

A színtónus-egyenlőség vizsgálatból levonható következtetések:

- A feltételezéssel ellentétben sötét elszíneződések jelentek meg a fa zsaluhéjjal készített felületek esetén, összképük azonban egységes, a felületi eltérések és a pórusosság nem feltűnő
- A sötét elszíneződések mértéke a péptelítettség növelésével csökken, egyenletesebbé válik
- A fém zsaluhéjjal készített felületek színtónusa egyenletes, a felületi eltérések azonban szembetűnőbbek

A fészkeség vizsgálatából levonható következtetések

- Általánosságban elmondható, hogy a péptelítettség növelésével a fészkeség mértéke csökkent
- A legzártabb felületeket a második és negyedik próbatest adta, tehát fészkeség szempontjából az optimális péptelítettség 55 és 121 l/m³ között található

Egyéb felületi eltérések

- Vízkiválás, azaz vérzés tapasztalható minden próbatest esetén a hegyesszögű sarok, illetve a függőleges élek mentén, ahol a zsaluzat csavarozott fűlekkel, tömítetlenül csatlakozik
- A vérzés mértéke a próbatestenként egyre nő, amely feltehetően az eleinte nagy mennyiségben hozzáadott folyósítószer próbatestenkénti csökkenésének tudható be
- Betonlerakódás és visszamaradt farostok csak a harmadik és negyedik próbatest esetén figyelhetők meg, jelenlétük az összhatást nem rontja

A kísérletek általános értékelése – válaszok a kiindulási kérdésekre

- A harmadik és negyedik próbatest adta a legkevesebb felületi eltérést, ez alapján az optimális péptelítettség 88 és 121 l/m³ között található, amely meghaladja a szakirodalom által ajánlott értéket
- Szemrevételezéssel vizsgálva is a harmadik és negyedik próbatest adja a legegységesebb felületet
- A péptelítettség növelése a kritikus pontok, mint a hegyesszögű sarok vagy a bedolgozási irányra merőleges akadály környékének minőségét javítja
- Van különbség a különböző síkú felületek között: a vártakkal ellentétben a függőleges felületek pórustartalma átlagosan magasabb, mint a ferde felületeké, és a vízszintes felületek pórustartalma a legalacsonyabb a három felületcsoport közül
- A feltételezésnek megfelelően a nedvszívó zsaluhéjjal készült felületek pórustartalma nagyságrendekkel kisebb a fém zsaluhéjjal készültekénél
- A péptelítettség növelése a nedvszívó zsaluhéjjal készített felület minőségét csak kis mértékben javította
- A péptelítettség növelése a nem nedvszívó zsaluhéjjal készült felületek minőségét nagy mértékben javította
- A vártakkal ellentétben a nedvszívó zsaluhéj által létrejött felület mutat több sötét és világos elszíneződést
- Nincs jelentős színbeli különbség a kétfajta zsaluhéj között, a felületek egységesen világosak
- A vérzés elkerülése érdekében célszerű adalékszert használni, ha nagyobb konzisztenciaérték a cél
- A péptelítettség 22 l/m³-ről 121 l/m³-re növelése a 7 napos nyomószilárdságok esetén 24,9%-os, a 28 napos nyomószilárdságok esetén pedig 9,8%-os szilárdságcsökkenést okozott, tehát a feltételezés, miszerint a péptartalom növekedésével a nyomószilárdság csökken, helyes volt
- A péptelítettség 22 l/m³-ről 121 l/m³-re növelésével 1 m³ keverék ára 2.700 Ft-tal nőtt, ami látszóbeton esetén úgy gondolom, nem jelentős különbség

13. táblázat: Próbatetek osztályba sorolása a Merkblatt Sichtbeton vizsgálati szempontjai alapján

Próbatestek	Vizsgálati szempontok						
	Pórusosság		Színtónus		Textúra, zsalutoldás		Merkblatt Sichtbeton szerinti osztály
	NS	S	NS	S	NS	S	
1.	nem sorolható osztályba	P4	FT3	FT1	T3	T2	nem sorolható osztályba
2.	P1	P3	FT3	FT1	T3	T2	normál követelményszint
3.	P2	P4	FT3	FT2	T3	T2	magas követelményszint
4.	P3	P4	FT3	FT3	T3	T2	különleges követelményszint

(NS: nem nedvszívó, S: nedvszívó zsaluhéj)

Az eredményeket összesítve elmondható, hogy a próbateteket egészében vizsgálva a legmagasabb követelményszintet az utolsó, 121 l/m³-rel túltelített keverékkel készült próbatest teljesítette.

14. táblázat: Próbatetek szubjektív értékelése a hibák mértéke és a vizsgált tulajdonságok jelentősége alapján

Vizsgálati szempontok	Tulajdonságok súlyozása (100%)	Csökkentő tényező (T)				Hiba nagysága (H)			
		Próbatetek				Próbatetek			
		1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
Pórusosság	30	0,8	0,8	0,2	0	30	28	7	1
Színtónus-egyenlőség	40	0,4	0,3	0,2	0,2	25	20	15	8
Textúra-zsalutoldás	30	0,6	0,4	0,5	0,4	20	8	15	10
Teljes hiba : $\sum (T \times H)$						46	31,6	11,9	5,6
Megjelenés minősége (%)						54	68,4	88,1	94,4

A próbatetek általános megjelenésének értékelését igyekeztem számszerűsíteni, ezért a vizsgált szempontokat jelentőségük alapján súlyozva, a hibák mértékének figyelembe vételével végeztem el az értékelést. A szubjektív értékelés eredményeként elmondható, hogy a legnagyobb mértékben túltelített, negyedik próbatest közelíti meg a legjobban az elvárt eredményt, 94,4%-kal. Ez az eredmény szintén alátámasztja, hogy az optimális péptelítettség 88 és 121 l/m³ között található. A közel telített keverékkel készült próbatest ehhez képest 54%-ot teljesített, ami jelentős különbség látszóbeton felületek esetén.

Összefoglalás

Kutatási munkámra visszatekintve az a meggyőződésem, hogy a látszóbetonok témakörében tett kutatás nagyon hasznos volt számomra. Mindamellet, hogy a szakirodalmon keresztül megismertem a látszóbeton technológia főbb sajátosságait, a kísérletezés során lehetőségem nyílt betekintést nyerni a téma betontechnológiai vonatkozásaiba is. Nagyon felkeltette az érdeklődésemet a szakma ezen területe, hiszen – ha csak a látszóbetonok témakörénél maradunk – a betonnal létrehozható felületek variációinak száma szinte végtelen. A hibák oka sokszor nem egyértelmű, megértésük komplex tudást igényelnek, emiatt is lett a témakör számomra érdekes. Az egyik legfontosabb tényező, a betonösszetétel tervezése tapasztalatot és precizitást igényel, ami igazolja munkám aktualitását és fontosságát.

Kutatási munkám során látszóbeton próbatestek felületét vizsgáltam változó betonösszetétel hatására. A kísérletezést egy kutatási folyamat előzte meg, amely során ajánlásokat kerestem a betonösszetétel egyes paramétereire. Ezt követően meghatároztam a kísérlet fő paramétereit, és a változó tényezőt, a péptelítettséget. A keverékek péptelítettségét növelve vizsgáltam a változás különböző síkú és zsaluzattal készült felületekre gyakorolt hatását. Egy széles skálán ($22-121 \text{ l/m}^3$), közel péptelített állapotról kiindulva, a szakirodalom által ajánlott értékeken túl egy egészen magas túltelítettségig vizsgáltam a felületeket. A kapott eredményekből levontam a főbb következtetéseket, majd összehasonlítottam a kísérletek előtti saját feltételezéseimmel és a szakirodalom szerint várható eredményekkel. Az összehasonlítás során az eredmények néhol ellentmondtak a kezdeti feltételezéseknek – például a nedvszívó és nem nedvszívó zsaluhéjjal készített felületek várt jelentős szintónusbeli különbsége esetén. Összességében elmondható, hogy a kezdeti feltételezés helyes volt, miszerint a péptelítettség az ajánlott értéken feletti, további növelésével a felületek minősége javul. Mivel a kísérletek során nem vettem figyelembe minden, a tervezés és kivitelezés folyamán a felületet befolyásoló tényezőt, illetve a szabvány által ajánlott vizsgálati szempontok körét is leszűkítettem, úgy gondolom ezek az eredmények további kutatásoknak szolgáltathatnak alapot.

Irodalomjegyzék

1. **BetonSuisse.** Merkblatt für Sichtbetonbauten. [Online] 2012. április.
http://www.betonsuisse.ch/betonsuisse/angebot/publikationen/bauen_in/index.html?lang=de..
2. **Schultz, Joachim.** *Sichtbeton Planung.* [e-book] Wiesbaden : Vieweg&Sohn Verlag, 2006.
3. **Konrad Bergmeister, Johann Dietrich Wörner, Frank Fingerloos.** *Beton-Kalender 2010: Schwerpunkte: Brücken, Betonbau im Wasser.* [e-book] Berlin : Ernst & Sohn Verlag, 2010.
4. **István, Asztalos.** Látszóbeton - Mi kell a jó végeredményhez. *Magyar Projektmenedzsment Szövetség.* [Online] 2014. június 4.
http://www.pmsz.hu/upload/files/Latszobeton_Asztalos_Istvan_ObudaUjlak_2014_06_04.pdf
.
5. **János, Dr. Ujhelyi.** *Betontechnológia I.* Budapest : Vízügyi Dokumentációs Szolgáltató Leányvállalat, 1985.
6. —. *Betonlexikon.* Budapest : Építésügyi Tájékoztatási Központ Kft., 2006.
7. **Nehme, Dr. Salem Georges.** A betonösszetétel tervezése. *Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem - Építőanyagok és Mérnökgeológiai tanszék.* [Online] 2012. december.
http://www.epito.bme.hu/eat/dolgozok/feltoltesek/nehmes/betontechnologia_bsc.pdf.
8. *MSZ 24803-6-3:2010 - Épületszerkezetek megjelenési módjának előírásai.* 2010.
9. **Zoltán, Fehér.** *Épületdiagnosztika - Látszóbeton esszé.* Győr : Széchenyi István Egyetem, 2013.
10. **Schultz, Joachim.** *Sichtbeton Atlas.* [e-book] Wiesbaden : Vieweg+Teubner Verlag, 2009.
11. **Péter, Garai.** Múlt és jövő a nyersbeton-építészetben. *Építész Fórum.* [Online] 2012. május 11. <http://epiteszforum.hu/nyomtatasi/mult-es-jovo-a-nyersbeton-epiteszetben>.
12. **István, Varga Péter.** Látszóbeton, egy építőanyag tervezői szemszögből. *Építész Fórum.* [Online] 2006. február 14. <http://epiteszforum.hu/varga-peter-istvan-latszobeton-egy-epitoanyag-tervezoi-szemszogbol>.
13. *Látszóbeton kialakítása.* **Csiszár Dalma, Lakos Violetta, Farsang Attila.** XI. évfolyam 3. szám, Budapest : Magyar Cementipari Szövetség, 2003. március, Beton.
14. **GmbH, Holcim (Süddeutschland).** Leitfaden für Sichtbeton: Tipps aus der Praxis für die Planung. [Online] 2011. január. http://www.holcim-sued.de/fileadmin/templates/DEUB/doc/Produkte/Infoservice/Technische_Informationen/Leitfaden-Sichtbeton-2011.pdf.
15. **Lanz, Melchior.** Betontechnik: Trennmittel für Betonschalungen. *Sika Schweiz AG.* [Online] http://che.sika.com/dms/getdocument.get/ba134875-4f20-3a55-9e96-0b7ba7d49872/ch_pub_baublatt_Nr12-07_DE.pdf.

16. **Freimann, Thomas.** Betonflächen mit Sichtbetonanforderungen. *Beton-Informationen*. [Online] 2004. május. <http://www.beton-informationen.de/downloads/1-2004-05-02.pdf>.
17. **T. Hirschi, H. Knauber, M. Lanz, J. Schlumpf, J. Schrabback, C. Spirig, U. Waeber.** Sika Beton Kézikönyv. Sika AG. [Online] <http://hucon.webdms.sika.com/files/show.do?documentID=1184>.
18. **HeidelbergCement.** Opus C - Sonderdruck: Grundlagen - Serie zum Thema Betonoberfläche. [Online] 2007. január. http://www.heidelbergcement.com/NR/rdonlyres/6146BC4E-6437-48AB-8797-53E7367339BD/0/Sichtbeton_Sonderdruck_betonoberflaechen.pdf.
19. **György, Dr. Balázs.** *Különleges betonok és betontechnológiák II.* Budapest : Akadémiai Kiadó, 2009.
20. *A betonfelülettel szemben támasztott követelmények - 2. rész: Az MSZ 24803 szabványsorozat.* **Kapu László, Hermann János.** Budapest : Magyar Cementipari Szövetség, 2010.
21. **Nehme, Dr. Salem Georges.** *Betonstruktúra - Tartósság I. Betonstruktúra és vizsgálata, Szakmérnöki kurzus.* Budapest : BME Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék, 2012.
22. **Kft, LM Hungarolube.** *Formleválasztók összetétele.* Nyíregyháza : LM Hungarolube Kft.
23. **Dr. Buday Tibor, Dr. Erdélyi Attila, Dr. Jankó András, Dr. Kausay Tibor, Dr. Kovács Károly, Dr. Ujhelyi János, Gábel Viktória, Valtinyi Dániel.** *Cement - Beton Zsebkönyv.* [e-book] Vác : Duna-Dráva Cement Kft, Duna-Dráva Cement Kft, 2007.

Mellékletek

1. sz. Melléklet: Betonösszetételek számítása

- Előre meghatározott paraméterek:

Keverék sorszáma	m_c cement (kg/m ³)	V_v víz (l/m ³)
1.	320	160
2.	360	180
3.	400	200
4.	440	220

➤ Alkalmazott cementmennyiségek térfogata

$$\rho_c = 3,1 \text{ g/cm}^3 \quad V_c = m_c / \rho_c$$

1. keverék: $V_{c1} = \frac{320}{3,1} = 103,2 \text{ l/m}^3$

2. keverék: $V_{c2} = \frac{360}{3,1} = 116,1 \text{ l/m}^3$

3. keverék: $V_{c3} = \frac{400}{3,1} = 129,0 \text{ l/m}^3$

4. keverék: $V_{c4} = \frac{440}{3,1} = 141,9 \text{ l/m}^3$

➤ Szükséges adalékanyag térfogatának számítása

$$\text{Feltételezett levegőtartalom: } V_l = 10 \text{ l/m}^3$$

1. keverék: $V_{a1} = 1000 - 103,1 - 160 - 10 = 726,8 \text{ l/m}^3$

2. keverék: $V_{a2} = 1000 - 116,1 - 180 - 10 = 693,9 \text{ l/m}^3$

3. keverék: $V_{a3} = 1000 - 129,0 - 200 - 10 = 661 \text{ l/m}^3$

4. keverék: $V_{a4} = 1000 - 141,9 - 220 - 10 = 628,1 \text{ l/m}^3$

➤ Szükséges adalékanyag mennyiség számítása

$$\rho_a = 2,64 \text{ g/cm}^3 \quad m_a = \rho_a \times V_a$$

1. keverék: $m_{a1} = 726,8 \times 2,64 = 1918,8 \text{ kg/m}^3$
2. keverék: $m_{a2} = 693,9 \times 2,64 = 1831,9 \text{ kg/m}^3$
3. keverék: $m_{a3} = 661,0 \times 2,64 = 1745,0 \text{ kg/m}^3$
4. keverék: $m_{a4} = 628,1 \times 2,64 = 1658,2 \text{ kg/m}^3$

➤ Péptelítettség mértéke

Adalékanyag jellemző paraméterei :

finomsági modulus: $m = 5,86$

egyenlőtlenségi együttható $U = 37,94$

adott szemmegoszlási görbe (ld. 5. ábra)

Péptartalom: $V_p = V_c + V_v$

Péptelítettség: $V_{pt} = (V_{ao} + V_p) - 1000$

Az adalékanyag mértékadó térfogata:

$$V_{ao} = 759 \text{ l/m}^3$$

Adalékanyag pépigénye:

$$V_{ao} + V_{po} = 1000 \text{ l}$$

$$V_{po} = 1000 - 759 = 241 \text{ l/m}^3$$

1. keverék: $V_{p1} = 103,2 + 160 = 263,2 \text{ l/m}^3 > V_{po}$
 $V_{pt1} = (263,2 + 759) - 1000 = 22,2 \text{ l/m}^3$
2. keverék: $V_{p2} = 116,1 + 180 = 296,1 \text{ l/m}^3 > V_{po}$
 $V_{pt2} = (296,1 + 759) - 1000 = 55,1 \text{ l/m}^3$
3. keverék: $V_{p3} = 129,0 + 200 = 329,0 \text{ l/m}^3 > V_{po}$
 $V_{pt3} = (329,0 + 759) - 1000 = 88,0 \text{ l/m}^3$
4. keverék: $V_{p4} = 141,9 + 220 = 361,9 \text{ l/m}^3 > V_{po}$
 $V_{pt3} = (361,9 + 759) - 1000 = 120,9 \text{ l/m}^3$

Alkalmazott betonösszetételek:

	m_c Cement (kg/m ³)	V_v Víz (l/m ³)	V_a Adalékanyag (kg/m ³)	V_{ad} Folyósítószer (kg/m ³)	V_{pt} Péptelítettség mértéke (l/m ³)
1. keverék	320	160	1919	2,8	22
2. keverék	360	180	1832	1,5	55
3. keverék	400	200	1745	1,0	88
4. keverék	440	220	1658	0	121

Zsaluzat térfogatának számítása:

$$V_{\text{teljes}} = 3,4 \times 5 \times 1 + (3,6 \times 5 \times 1)/2 = 26 \text{ l}$$

$$V_{\text{bemélyedés}} = 1,1 \times 1,6 \times 0,4 + (1,2 \times 1,6 \times 0,4)/2 = 1,088 \text{ l}$$

$$V_{\text{zsaluzat}} = 26 - 1,088 = 24,9 \gg 25 \text{ l}$$

$$V_{\text{próbakocka}} = 4 \times (1,5^3) = 13,5 \text{ l}$$

Szükséges betonmennyiség 1 próbatesthez:

$$V = 22,5 + 13,5 = 36 \text{ l} \gg 42 \text{ l}$$

Szükséges mennyiségek 42 l betonhoz:

Keverék	cement (kg) $m_{c,42} = m_c \times 0,042$	víz (l) $m_{v,42} = m_v \times 0,042$	adalékanyag (kg) $m_{a,42} = m_a \times 0,042$
1.	$320 \times 0,042 = 13,44$	$160 \times 0,042 = 6,72$	$1918,8 \times 0,042 = 80,59$
2.	$360 \times 0,042 = 15,12$	$180 \times 0,042 = 7,56$	$1831,9 \times 0,042 = 76,94$
3.	$400 \times 0,042 = 16,8$	$200 \times 0,042 = 8,40$	$1745,0 \times 0,042 = 73,29$
4.	$440 \times 0,042 = 18,48$	$220 \times 0,042 = 9,24$	$1658,2 \times 0,042 = 69,64$

Adalékanyag frakciók szükséges mennyisége 42 l betonhoz:

Adalékanyag frakciók aránya:

0/4 : 48 %

4/8: 20 %

8/16: 32 %

Keverékek	Adalékanyag frakciók		
	$m_{0/4}$ (kg)	$m_{4/8}$ (kg)	$m_{8/16}$ (kg)
	$m_{a,42} \times 0,48$	$m_{a,42} \times 0,20$	$m_{a,42} \times 0,32$
1.	$80,59 \times 0,48 = 38,68$	$80,59 \times 0,20 = 16,12$	$80,59 \times 0,32 = 25,79$
2.	$76,94 \times 0,48 = 36,93$	$76,94 \times 0,20 = 15,38$	$76,94 \times 0,32 = 24,62$
3.	$72,29 \times 0,48 = 35,18$	$72,29 \times 0,20 = 14,46$	$72,29 \times 0,32 = 23,13$
4.	$69,64 \times 0,48 = 33,43$	$69,64 \times 0,20 = 13,93$	$69,64 \times 0,32 = 22,28$

2. sz. Melléklet: MSZ 24803-6-3:2010 vizsgálati szempontjai és tűrési értékei

15. táblázat: Helyi alakhűség és felületi állapot követelményeinek megengedett értékei követelményszint alapján
(8)

Helyi alakhűség és felületi állapot követelményei, jelölése		Követelményszintek			
		Alap (mm)	Normál (mm)	Magas (mm)	Különleges (mm)
zsaluzott felület hullámossága	hz	7	5	4	3
zsaluzattal nem érintkező felület hullámossága	hnz	13	7	5	4
zsaluzott felület domborulata	dz	4	3	2	1
zsaluzattal nem érintkező felület domborulata	dnz	6	5	3	2
zsaluzott felület fogassága	fz	10	5	3	2
zsaluzattal nem érintkező felület fogassága	fnz	15	7	4	3
cementpép kifolyása	cm	10	3	2	1
vonalszerű fészkeség	vf	-	5	3	2
él hullámossága	eh	6	4	3	2
élképzés kialakításának hibája	ek	-	-	terv szerint	terv szerint
él menti betonkitüremkedés	et	-	-	3	2
élek csorbultsága	cs	-	-	4	2
átkötési helyek állapota	ah	-	terv szerint	5	terv szerint
csatlakozások fogassága	cf	20	11	6	3
csatlakozások folytonossági hiánya	cfh	-	7	4	3
fészkeség	fe	x	x	x	x
pórusosság	xp	-	-	-	0,6 %
felületi vésések	fv	-	-	x	x
beton lerakódás	bl	-	x	x	x
eltérő zsalukiosztási kép	ez	-	-	-	terv szerint
minőségromlást eredményező anyag a felületen	ma	x	x	x	x
minőségromlást nem eredményező anyag a felületen	mna	-	-	-	x
minőségromlást eredményező foltosság a felületen	mf	x	x	x	x
minőségromlást nem eredményező foltosság a felületen	mnf	-	-	-	minta szerint

x: nem megengedett

-: nem kell vizsgálni

3. sz. Melléklet: A Merkblatt Sichtbeton vizsgálati szempontjai és tűrési értékei

16. táblázat: Pórustartalom tűrési értékek a Merkblatt Sichtbeton szerint (9)

Pórusosság (mm ² pórustartalom vizsgált felületenként)	
Osztály	figyelembe vett pórusátmérő: $2 \leq d \leq 15$ mm
P1	3000 (1,2%)
P2	2250 (0,9%)
P3	1500 (0,6%)
P4	750 (0,3%)

17. táblázat: Színtónus-egyenlőség vizsgálati szempontok a Merkblatt Sichtbeton szerint (9)

Színtónus-egyenlőség	
FT1	- világos vagy sötét elszíneződések megengedettek - rozsdá- és szennyeződési foltok nem megengedettek
FT2	- egyenletes, nagyméretű világos vagy sötét elszíneződések megengedettek - eltérő típusú és származású zsaluhéjak valamint alapanyagok alkalmazása nem megengedett
FT3	- csekély méretű világos vagy sötét elszíneződések megengedettek - eltérő típusú zsaluzatok, különböző származású alapanyagok és szakszerűtlen elő- vagy utókezelés miatti nagyméretű elszíneződések nem megengedettek - rozsdá- és szennyeződési foltok, valamint tisztán látható betonozási rétegek nem megengedettek - egy technológiához illő zsaluleválasztó szer választása szükséges

18. táblázat: Textúra, zsalutoldás vizsgálati szempontok a Merkblatt Sichtbeton szerint (9)

Textúra, zsalutoldás	
T1	- zárt cement- vagy habarcsfelület - toldásoknál kilépő cement szélessége max. 20 mm, mélysége max. 10 mm
T2	- zárt, egységes betonfelület - toldásoknál kilépő cement szélessége max. 10 mm, mélysége max. 5 mm - felületi ugrás, eltolódás nagysága max. 5 mm
T3	- sima, zárt, egységes betonfelület - toldásoknál kilépő cement szélessége max. 3 mm - finom, műszakilag elhanyagolható felületi ugrás magassága max. 3 mm

4. sz. Melléklet: Felületi pórustartalom vizsgálat a Merkblatt Sichtbeton szerint

19. táblázat: Felületi pórustartalom vizsgálat a Merkblatt Sichtbeton szerint

Felület	Pórustartalom (%) próbatestenként ($2 \leq d \leq 15$ mm)				
	Zsaluhéj típusa	1.	2.	3.	4.
Bedolgozási iránnyal párhuzamos (függőleges) felületek					
P1	NS	0,293	0,339	0,016	0,082
P2	NS	1,522	0,890	0,132	0,147
P3	S	0,151	0,060	0,004	0,043
P4	NS	0,480	0,664	0,024	0,022
P5	NS	1,062	0,396	0,063	-
Bedolgozási irányra merőleges (vízszintes) felületek					
V1	-	0,018	0,141	0,165	0,021
Bedolgozási iránnyal szöglet bezáró (ferde) felületek					
F1	NS	0,907	0,966	0,700	0,443
F2	NS	-	0,063	0,031	-
F3	NS	0,177	0,079	-	-
F4	NS	0,784	0,716	0,025	0,236

5. sz. Melléklet: Az alkalmazott értékelési rendszer csökkentő tényezői (T)

20. táblázat: Csökkentő tényezők értékei (9)

Csökkentő tényező (T)	Állapot, hiba mértéke
0.00	elvárt állapot=hibátlan
0.10	csaknem hibátlan
0.20	kis hiba
0.30	közepes hiba
0.40	számottevő hiba
0.50	durva hiba
0.60	nagyon durva hiba
0.70	súlyos hiba
0.80	nagyon súlyos hiba
0.90	elégtelen állapot
1.00	értékelhetetlen állapot

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni konzulensemnek, Fehér Zoltánnak a dolgozat készítése során adott hasznos ötleteit, tanácsait, építő kritikáit és végtelen türelmét. Hálával tartozom külső konzulensemnek, Zsoldos Gábornak, a Holcim Magyarország Kft. betontechnológusának és laborvezetőjének a kísérletek elméleti hátterének megalapozásáért, a kivitelezési és értékelési folyamat elősegítéséért, a dolgozat készítése során adott hasznos tanácsaiért. Szeretnék köszönetet mondani Solymos Andrásnak, a Holcim Magyarország Kft. betontechnológusának a kivitelezésben nyújtott sok segítségéért, és a Holcim Magyarország Kft. minden munkatársának, aki valamilyen formában hozzájárult a munkámhoz. Köszönöm a Holcim Magyarország Kft-nek, hogy biztosította a kísérleteimhez szükséges anyagot. Végül, de nem utolsó sorban köszönöm édesapámnak, hogy a zsaluzat elkészítésével segítette munkámat.