



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM (BME)
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR
ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MÉRNÖKGEOLÓGIA TANSZÉK
1111 Budapest, XI., Műegyetem rkp. 3.

BETONOK FAGYÁLLÓSÁGI és KOPÁSÁLLÓSÁGI TELJESÍTŐ KÉPESSÉGE

TDK dolgozat

GÁL EMESE

egyetemi hallgató

Budapest, 2012. október



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM (BME)
ÉPÍTŐMÉRNÖKI KAR
ÉPÍTŐANYAGOK ÉS MÉRNÖKGEOLÓGIA TANSZÉK
1111 Budapest, XI., Műegyetem rkp. 3.

BETONOK FAGYÁLLÓSÁGI és KOPÁSÁLLÓSÁGI TELJESÍTŐ KÉPESSÉGE

TDK dolgozat

GÁL EMESE

egyetemi hallgató

Konzulens: Dr. Zsigovics István PhD, adjunktus

Budapest, 2012. október

1. BEVEZETÉS

1.1 A kutatás célja

A dolgozat témája az újfajta, jelenleg használatos, szintetikus alapanyagú légbuborékképzők hatásának vizsgálata a beton fagyállóságára és kopásállóságára, összehasonlítva a régebbi típusú, gyanta alapanyagú légbuborékképzők hatásával.

Az ÚT 2-3.201:2006 beton pályaburkolatok építése, építési előírások, követelményét Útügyi Műszaki Előírás, a beton fagyállóságára ad meg minősítési értéket, azonban a kopásállóságra nem tesz kitélt. Az irodalomban felvetették annak a fontosságát, hogy az újfajta légbuborékképzők miatt újra kellene vizsgálni a kb. 40 évvel ezelőtt kialakított, a távolsági tényezőre, és frissbeton légtartalomra vonatkozó irányelveket és követelményeket.

Jelen kutatás ezen kérdésselvetések tisztázásához és a fagyálló betonok teljesítőképességének jobb megértéséhez szeretne hozzájárulni.

1.2 A kutatás jelentősége és célkitűzései

Jelen kutatási munka során olyan nagy teljesítőképességű fagyálló és kopásálló betonok friss és szilárd betonként való viselkedésének megállapítása a cél, amelyek alapján irányelvek dolgozhatók ki a távolsági tényezőre, amely biztosítja az XF4 kitéti osztály és a CP 4/2,7 nyomószilárdsági követelményeit, mindezt a lehetséges legnagyobb kopásállósági teljesítőképesség mellett.

A kutatási munka eredményei megalapozzák és megoldást is adnak, illetve hozzájárulhatnak a fagyálló betonok újabb szintre való fejlesztéséhez, a tartósabb, gazdaságosabb térburkolatok és fagyálló szerkezetek létrehozásához, egy nagy kihívást jelentő területen, egy magasabb szintű betontechnológia magyarországi továbbfejlesztéséhez.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Fagyállóság fogalma: porózus építőanyagok ama tulajdonsága, hogy várható élettartamuk során a víz (olvasztó só) és fagy együttes hatására anyagtulajdonságaik lényegesen nem változnak meg. (Balázs, 1983)

Ennek igazolása az MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelő képesség. 5.5.6 Fagyállóság fejezetben leírt vizsgálat alapján kell igazolni a szabvány kitéti osztályaiban leírt követelményeket.

2.1 Külső hatások:

2.1.1 A fagy hatása

A fagyás és olvadás ciklikus jelentkezése során a vízzel telített pórusokban a víz megfagy, majd felenged. A jég térfogata 10%-kal nagyobb, mint a vízé, ezért a beton pórusaiban a jég a meg nem fagyott vizet a szabad pórusokba préseli. Amennyiben nincs elegendő hely a víz számára, belső feszültségek keletkeznek a betonban. Ha a beton húzószilárdságát meghaladó feszültségek ébrednek, akkor ez a beton károsodásához vezet.

Az első típusú károsodás a felületi rétegeket érinti. A beton felső rétege szétaprózódik, majd kiperegnek az adalékanyag szemcsék. Fokozott a fagylehámlás akkor, ha a beton felületén habarcsréteg található (szalonnásodás), mert a habarcsréteg a nagyobb vízfelvétel miatt könnyebben szétfagy.

A második típus azt a réteget érinti, ahol például -15 °C -os hőmérsékletig a beton felső rétege a olvasztó sóoldat telítettsége miatt a felső réteg nem fagy meg. Az ennél mélyebb rétegekben a beton megfagyhat már -10 °C -os hőmérsékleten is, mivel itt a olvasztó sóoldat telítettsége kisebb.

Fontos a hőmérséklet csökkenésének sebessége és az ismétlődések száma. Minél gyorsabb a folyamat, illetve minél többször ismétlődik, annál nagyobb károsodáshoz vezet.

Porózus anyagok tönkremenetele részben a térfogat növekedés közben keletkező jég feszítő hatása, részben a hirtelen hőmérséklet-változás okozta húzófeszültségek miatt következik be. A fagyasztott anyag az eredeti, vízzel telített szilárdsághoz való viszonyát fagylágyulási tényezőnek is nevezzük. Vizsgálat nélkül általában fagyállóknak tekinthetők azok az anyagok, amelyeknek a vízfelvétele 0,5 m%-nál kisebb, ill. telítési tényezője legfeljebb 0,8 (Balázs, 1983).

2.1.2 Az olvasztó só hatása

Télen, fagyos időben jellemző az utak, járdák síkosítás mentesítése sózással. A fent említettekén túl, a jégmentesítő só hatásmechanizmusa következtében elvonja a betonból, aszfaltból a jég felolvasztásához szükséges hőmennyiséget, amellyel ún. hősokkot idéz elő a betonban. A gyors hőmérsékletcsökkenés hatására a nyírófeszültségek megnövekednek a betonban, ami szintén felületi leváláshoz vezet (Holcim, Betonpraxis 2011).

2.2 Beton összetétele

A beton tömörsége, és a kapilláris pórusok jelenléte befolyásolja a külső hatásokkal szembeni ellenállást. Minél nagyobb tömörségű (víz-cement tényező: $v/c < 0,45$), és minél kevesebb kapilláris pórus van benne, annál ellenállóbb (Holcim, Betonpraxis 2011).

Amennyiben jégmentesítő só jelen van, akkor a frissbeton készítése folyamán légbuborékképzők hozzáadásával mesterséges, hatékony légbuborékokat viszünk be a betonba. A kis méretű ($20\text{ }\mu\text{m} < d < 300\text{ }\mu\text{m}$), finom eloszlású, zárt, gömbölyű légbuborékok keverési folyamat közben jönnek létre a betonban, ill. annak a finomhabarcs részében. Ezáltal a pórusokban található víz számára helyet biztosítunk, hogy amikor a víz egy része megfagy,

és nő a térfogata, legyen hová tágulnia a még meg nem fagyott víznek, tehát így nem roncsolja a betont (Sika® Beton Kézikönyv, 2009).

A légbuborékképzők a beton szilárdságának csökkenését okozzák. 1 V% légbuborékképző adagolása 3-5% szilárdságcsökkenéshez vezet. Ezt a hatást csökkenthetjük jobb minőségű cementekkel, és a víz-cement tényező csökkentésével (Holcim, Betonpraxis 2011).

Ahhoz, hogy hatékony legyen a kialakítás, a légbuborékok nem lehetnek messze egymástól. Ezt a távolsági tényezővel (t_i) határozzuk meg, amelynek 0,2 mm alatt kell lennie (Holcim, Betonpraxis 2011).

A légbuborékos beton gyártása és bedolgozása mindig nagyon kényes művelet, és számos tényező hatással van rá (a felhasznált alapanyagok (cement, adalékanyag, puccolános kiegészítő anyagok), a beton konzisztenciája, a keverési idő és a keverés intenzitása, a hőmérséklet, a tömörítési mód és a tömörítési idő) (Holcim, Betonpraxis 2011).

A fagyálló betonokról, tartósságukról, a betonkészítés feltételeiről, a fagyálló beton adalékszerekről jól használható adatok találhatóak a Holcim Cement-beton Kisokos 11.3. Fagyálló betonok - Dr. Salem Georges Nehme fejezetben (Holcim, Cement-beton Kisokos 2008).

A beton fagy- és olvasztósó-állóságának megítéléséről az irodalomban Dr. Kausay Tibor ad áttekintést (Kausay 2009).

A fagyállósággal kapcsolatos kérdések és témakörök teljes részletességgel tanulmányozhatók 3 Rilem kiadványban (Rilem PRO 24 2002), (Rilem PRO 25 1999), (Rilem PRO 34 1997).

Nagy tejesítőképességű betonok (HPC) fagy- és olvasztó só hatásának kitett betonok viselkedéséről és vizsgálatáról az öregedés és a fagyállóság tartósságáról hasznos adatok találhatóak a CONlife 2004-es kiadványban. Általános megállapítás, hogy a kis szilárdságú (~40 N/mm² alatt) és a nagy szilárdságú betonok (~100 N/mm² fölött) esetében a tartós fagyállóság nem biztosított (CONlife 2004).

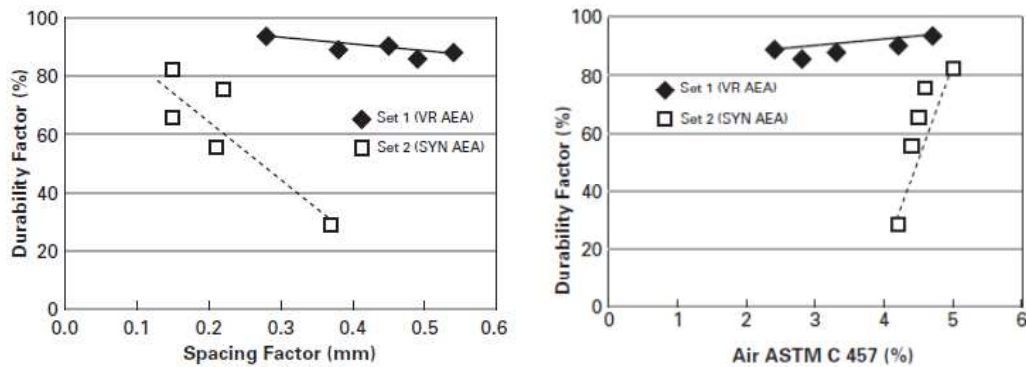
2.3 A vizsgált feladat felvetését alátámasztó cikkek, források

2.3.1 Marginális levegőtartalmú betonok ellenállása fagyással-kiolvadással szemben (FHWA-HRT-06-118)

A cikk szerzői a kísérlet során műgyanta alapanyagú és szintetikus légbuborékképző adalékszerrel készített beton próbatesteket vizsgáltak. A légbuborékképző adalékszereken kívül, minden más összetevője megegyezett a keverékeknek ($v/c=0,45$, 365 kg/m³ cementtartalommal). A frissbeton légtartalmát 2,5-4,5 % között 0,5%-os lépésekben határozták meg, valamint egy légbuborékképző adalékszer nélküli, etalon betont is készítettek. A frissbeton roskadási értéke alacsony volt (25,4 mm), ami pályabeton készítésére alkalmas betont képvisel. A henger alakú próbatesteket gyors fagyási és olvadási ciklusoknak tették ki tiszta, jégolvasztó só mentes vízben. A próbatestek rezonancia frekvenciájának változását (dinamikus rugalmassági modulus) vizsgálták ASTM C 215 szerint. A neutralizált Vinsol műgyanta alapú légbuborékképző adalékszer esetében a légbuborékok száma fele, harmada volt a szintetikus adalékszerhez képest. A fajlagos felület tekintetében a Vinsol műgyanta alapú adalékszer esetében minden próbatest a kívánt fajlagos felület érték (24

mm²/mm³) alatt volt, a szintetikus adalékszer esetében egy próbatestet kivéve az összes magasabb értéket mutatott.

A távolsági tényező (spacing factor) műgyanta alapú adalékszer (VR AEA) esetében magasabb, 1,5-szer, 2-szer nagyobb volt, mint a maximális érték (0,2 mm), ezzel szemben a szintetikus adalékszerrel (SYN AEA) készített próbatesteknél a maximális érték (0,2 mm) alatt maradt, azt az egyet kivéve, amelynek a fajlagos felülete kisebb volt az előírtnál.



A fenti ábrákon látható a tartóssági tényező és a távolsági tényező, valamint a tartóssági tényező és a légtartalom összefüggése

A tartóssági tényező (durability factor) szempontjából a Vinsol műgyanta alapú adalékszer 80% fölötti értéket adott, míg a szintetikus adalékszer ezen értékei többnyire jóval elmaradtak ettől, és nagy szórást mutattak.

A vizsgálat során a Vinsol műgyantával készült próbatestek jobb fagyás-olvadási ellenállást mutattak, viszont rosszabb légbuborék rendszerrel rendelkeztek. A szintetikus anyaggal készült próbatestek légbuborék rendszere jobb volt, ezzel szemben a fagyás-olvadási ellenállása alul maradt a Vinsol műgyantával készültekhez képest.

A tanulmány készítői felvetik, hogy a Vinsol műgyantával készült betonra meghatározott követelményeket nem feltétlenül lehet alkalmazni a szintetikus adalékszerrel készült betonra, és változtatást javasolnak az erre vonatkozó követelményeken (TECHBRIEF 2007).

2.3.2 Vasúti vasbeton elemek betonjának vizsgálata a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén

Összesen 9 sorozat készült, amelyből 3 sorozat C55/67 és 6 sorozat CP 4/2,5 szilárdsági jelű osztályba tartozott. Légbuborékképző adalékszer tekintetében Sika Hungária Kft. (0,2% a cement tömegére vonatkoztatva) és MC Bauchemie Kft. (0,4% a cement tömegére vonatkoztatva) termékeket használtak, az adalékanyag Asdeka Kft. Hegyeshalom és Lasselsberger Hungária Kft. Nyékládháza bányáiból érkezett, valamint egyes sorozat próbatesteknél meta-kaolint is adagoltak (2-3 %-ot a cement tömegére vonatkoztatva).

A két legmagasabb (8-9%) légtartalmú sorozat közül az egyik Sika, a másik MC légbuborékképző adalékszerrel készült. Mindkét sorozat fagylehámlási értékei alapján a fagyálló betont XF4-es környezeti osztályba lehetett minősíteni, viszont a kopásállóságuk ezeknek volt a legrosszabb, még az XK1(H)-es kitéti osztályt sem érték el.

A közepes tartományba eső légtartalom esetében (3,75%-4,4%-4,7%) a fagyállóság vizsgálat jó értékeket mutatott, mindhárom próbatest sorozat a fagylehámlást tekintve XF4-es

környezeti osztályba tartozott. A közepes légtartalmú betonok vizsgálata során mindkét légbuborékképző adalékszer és adalékanyagot használták. Azonban a kopásállóságot itt sem sikerült elérni, csak megközelítik az XK1(H)-es kitéti osztályt.

A legkisebb (0,5%-1,2%) légpórus tartalmú próbatest sorozatok esetében a lehámlások légbuborékképző adalékszer nélkül és 2-3% meta-kaolin adagolás mellett nagyon magasak voltak, nem érték el az XF2-es kitéti osztályt, viszont a kopásállóságuk már elérte az XK1(H) és XK2(H) kitéti osztályt. A légbuborékképző adalékszer nélkül, és 2% meta-kaolinnal, valamint a 0,2% Sika légbuborékképző adalékszerrel és a 2% meta-kaolinnal készült próbatest sorozatok fagyállóság szempontjából az XF2 környezeti osztályba tartoztak, és míg a légbuborékképzővel és meta-kaolinnal készült próbatest sorozatok kopásállósága XK1(H) osztályt elérte, addig a csak meta-kaolinnal készült sorozatok ezt a kopásállósági osztályt nem érték el.

A részletes eredményeket a céges titoktartás miatt nem áll módunkban közölni.

2.3.3 Dr. Zsigovics István: Szakvélemény és javítástechnológiai javaslat M31 autópálya leállósáv betonjához (Zsigovics 2011)

Helyszíni szemle során a következőket lehetett megállapítani:

- a betonburkolaton fagyás okozta felületi habarcslehámlás látható, ami a pályabetonok konzisztenciájánál hígabb beton kézi bedolgozása során, a beton felületén keletkező habarcsréteg lehámlásához vezetett, amelyet a nem megfelelő vízelvezetés is erősített (*1. fénykép*)



1. fénykép: Fagyás okozta felületi lehámlás a beton burkolatban.

- a betonburkolaton pontszerű felfagyás látható, ami a gépi bedolgozásnál a jó tömörítés ellenére megjelent. Ezt a tervezett beton konzisztenciájának megváltoztatása eredményezte. A képlékeny konzisztenciájú beton helyett, azonos összetétel mellett kissé képlékeny konzisztenciájú betont kértek a bedolgozó géplánc igénye miatt. Eggyel kisebb, merevebb konzisztencia osztályban nehezebben képződik légbuborék, ami csökkenti a beton fagyállóságát (*2. fénykép*)



2. fénykép: Fagyás okozta pontszerű lehámlás a beton burkolatban.

- a zöldbeton (kötés közben) megfagyás okozta felületi betonlehámlást a beton kritikus szilárdság (5 N/mm^2) elérése előtti megfagyása okozta (3. fénykép)



3. fénykép: Korai fagyás okozta felületi lehámlás a beton burkolatban

- a lábnyomban (felületi nyomokban) megálló víz felületi lehámlást okozott (4. fénykép)



4. fénykép: A felületi nyomokban keletkezett felfagyás.

2.3.4 Szent Gellért tér és Döbrentei tér közötti villamosvágány beton térburkolata

2011 augusztusában felújításra került a Szent Gellért tér és Döbrentei tér közötti villamosvágány. A beton térburkolat betonjának tervezése (CP 4/2,7) műanyag szál adagolás nélkül készült. A megrendelő utasítására műanyag szálakat adagoltak az építés során a betonhoz. Azért, hogy a műanyag szál a beton konzisztenciáját ne csökkentse, a műanyag szálakat előzetesen vízbe áztatták. Ez azt okozta, hogy a beton légtartalma megnőtt, és a szilárdsága, kopásállósága csökkent. Az első tél után látható, hogy a beton fagyálló, viszont a dilatációs hézagok élei sérülnek, letörnek a beton kisebb szilárdsági teljesítőképesége miatt (5. és 6. fénykép).



5. fénykép: A villamosvágány térbetonja dilatációjának él letörése



6. fénykép: A villamosvágány térbetonja dilatációjának él tönkremenetele

2.3.5 Egyéb megállapítások

A beton fagyállóságával foglalkozó irodalomban a fagyállóság és kopásállóság összefüggéseire vonatkozó eredményeket nem találtunk.

Az ÚT 2-3.201:2006 Beton pályaburkolatok építése, építési előírások, követelményét Útügyi Műszaki Előírás, a beton fagyállóságára ad meg minősítési értéket, azonban a kopásállóságra nem tesz kitétel. Nincs követelmény a kopásállóságra vonatkozóan, és a gyakorlatban nem is vizsgálják.

Az első hazai betonburkolatú körforgalom kivitelezése során vizsgálták a kísérleti betonok szilárdságát, fagyállóságát, kopásállóságát, és vízzáróságát. A vizsgálatok során a kopásállóságra XK(H)2, és XK(H)3 értékeket kaptak (Bencze, Sipos, 2012).

3. A KUTATÁSI FELADAT

Újfajta, jelenleg használatos légbuborékképzők hatásának vizsgálata a beton fagyállóságára és kopásállóságára.

Az ÚT 2-3.201:2006 Beton pályaburkolatok építése, építési előírások, követelményét Útügyi Műszaki Előírás, a beton fagyállóságát az MSZ EN 480-11:2006 szabvány szerint vizsgálva, a távolsági tényezővel, $t_t \leq 0,22$ mm-ben adja meg, mint minősítési értéket.

Az ÚT 2-3.201:2006 előírás a kopásállóságra a 8.1.3 pontban nem ad meg követelményt.

Az irodalomban felvetették annak a fontosságát, hogy az újfajta légbuborékképzők miatt újra kellene vizsgálni a kb. 40 évvel ezelőtt kialakított, a távolsági tényezőt, és friss beton légtartalomra vonatkozó irányelveket és követelményeket.

A fentiek alapján az alábbi kutatási feladatokat végeztük el laboratóriumi vizsgálatokkal:

Tervezett betonok:

CP 4/2,7 - XF4-32-F2 ÚT 2-3.201:2006 szerint

Cement: CEM I 42,5 N és CEM II/A-S 42,5 N Vác

Adalékanyag: 0/4 és 4/8 York-i bányá, 11/32 zúzottkő Uzsabánya

Légbuborékképző adalékszer: MC Centrament Air 202 (szintetikus), MC Centrament Air LP 20 (fenyőgyanta alapú)

Folyósító adalékszer: MC PowerFlow 2743

Légbuborék tartalom: 1,8 - 10,6 térfogat%

Laboratóriumi vizsgálatok:

Friss beton vizsgálatok:

- konzisztencia
- testsűrűség
- légtartalom

Megszilárdult beton vizsgálatok:

- nyomószilárdság
- fagyállóság
- kopásállóság
- távolsági tényező
- vízfelvétel

A kutatási munka során a környezeti osztályokat a tényleges teljesítőképesség alapján adtuk meg.

4. BETONKEVERÉKEK ÉS FRISS BETON JELLEMZŐK

4.1 A betonkeverékek jellemzői

A betonok összetételét az iparban használatos térburkolati betonok tapasztalatai alapján dolgoztuk ki.

A víztartalmat a vizsgált betonok esetében, az előkísérleteket is figyelembe véve, 150 l/m^3 -re vettük fel.

A cementtartalmat az adott víztartalom függvényében úgy választottuk meg, hogy a kapott víz-cement tényezővel minimum a $41\text{-}50 \text{ N/mm}^2$ nyomószilárdság biztosítható legyen. A beton esetében figyelembe vettük a beton kis zsugorodás igényét is a repedésmentesség biztosításához. Ennek megfelelően a cementtartalmat 340 kg/m^3 -re ($d_{\max}=32 \text{ mm}$) vettük fel a vizsgálatok során. Így a péptartalom 280 illetve 368 l/m^3 között változott.

A receptúrákhoz az alábbi Duna-Dráva Cement Kft. cementjeit használtuk:

- CEM I 42,5 N
- CEM II/A-S 42,5 N

A betonok adalékanyaga kvarc alapanyagú homokos kavics, és zúzott kő.

A betonok az alábbi adalékszereket tartalmazzák:

- Polikarboxilát-éter (PCE) folyósító adalékszer MC PowerFlow 2743
- Szintetikus légbuborékképző adalékszer MC Centrament Air 202
- Fenyőgyanta alapú légbuborékképző adalékszer MC Centrament Air LP 20

Az ipari gyakorlat számára a legfontosabb betontechnológiai tényező a konzisztencia. Az eddigi tapasztalatok alapján a mindenki által elfogadott, jól bedolgozható, könnyen kezelhető konzisztencia $330\text{-}440 \text{ mm}$ területi érték között van. A konzisztenciát törekedtünk $\sim 380\text{-}420 \text{ mm}$ területi értékre beállítani.

A konzisztencia és a konzisztencia eltarthatóság biztosításához (minimum 1,5 óra) negyedik generációs adalékszert használtunk.

A fentiek szerint kialakított betonkeverékek a gazdaságos beton-előállítást is lehetővé teszik.

Az alapkeverék összetételét az *1. táblázatban* adtuk meg. Az alapkeverék összetételét úgy változtattuk meg légbuborékképző adalékszer segítségével, hogy a vizsgált tartományban még három különböző légtartalmú betont kapjunk. A tervezett konzisztenciát szükség esetén a folyósító adalékszer mennyiségének változtatásával állítottuk be.

Kísérleti terv:

2x cement	2x légbuborékképző	4x légtartalom	összesen: 16 keverék
-----------	--------------------	----------------	----------------------

4.2 Friss beton vizsgálatok

A friss beton vizsgálatok során az alábbi méréseket végeztük:

- konzisztencia területtel,
- testsűrűség,
- légtartalom.

A vizsgálatok során alkalmazott eszközök:

1. Beton kényszerkeverő gép. Pemat Zyklos ZK75 HEQ típusú 75 l-es dobtérfogattal.
2. Digitális mérleg. KERN & SOHN GmbH gyártmányú, 30 kg méréshatárig 10 g pontos, 60 kg méréshatárig 20 g pontos.
3. Terülmérő asztal. Tartozékokkal, az MSZ EN 12350-5:2000 szerinti kialakítású.
4. Mérőhenger. $V = 8 \text{ dm}^3$ térfogatú.
5. Légtartalommérő készülék FORM+TEST.
6. Kéziszerszámok.

4.2.1 Testsűrűség mérés

A friss beton testsűrűségét a beton tíz perces korában mértük, testsűrűség mérő hengerrel az MSZ EN 12350-6:2002 szerint. A henger pontos térfogata 8 dm^3 . A betont 20 másodperces rázóasztalos tömörítéssel dolgoztuk be a mérőhengerbe. A beton tömegét 10 g pontosan a digitális mérlegen határoztuk meg. A mérési eredményekből a mért testsűrűségeket az alábbiak szerint számítottuk ki:

$$\rho_{\text{test}} = m/V$$

ahol: ρ_{test} : testsűrűség
m: friss beton tömege
V: mérőedény térfogata.

4.2.2 Légtartalom mérés

A friss beton testsűrűségét a beton tíz perces korában mértük FORM+TEST légtartalom mérő készülékkel az MSZ EN 12350-7:2002 szerint.

A vizsgálat során a betont 20 másodperces rázóasztalos tömörítéssel dolgoztuk be. Az edényt fedéllel lezártuk és a beton és a fedő közötti teret megtöltöttük vízzel. A fedélen V_1 térfogatú nyomókamra van és ezt a teret töltöttük meg p_1 nyomású levegővel. A szelep kinyitása után a p_1 légnyomás a vízen és a betonon átadódva, összenyomta a betonban lévő V_l levegőt. Eközben a levegő összes térfogata $V_2 = V_1 + V_l$ térfogatra nőtt, míg a nyomása p_2 -re csökkent. A levegő térfogata a következő összefüggésből adódik:

$$V_l = V_1(p_1 - p_2)/p_2,$$

amely a készülék analóg mérőórájáról közvetlenül leolvasható V%-ban.

4.2.3 Konzisztencia meghatározása

A friss beton konzisztenciáját az MSZ EN 12350-5:2000 szerint, terület méréssel határoztuk meg. A konzisztenciát 5 perces korban határoztuk meg, mérve ezzel a friss beton teljesítőképességét.

5. MEGSZILÁRDULT BETON JELLEMZŐK

5.1 Betonkeverékek

A betonkeverékek jellemzőit és a friss beton állapotára vonatkozó mérési eredményeket az 1. sz. Mellékletben: *Keverék tervezés* adtuk meg.

A friss beton teljesítőképességét csak az adalékszer adagolás változtatásával értük el. Az így beállított friss beton keverékekből készítettük a próbatesteket.

5.1.1 Próbatestek

5.1.1.1 A próbatestek készítésében felhasznált eszközök

A próbatestek készítésénél felhasznált eszközöket a 3.2 pontban részleteztük.

5.1.1.2 Próbatestek mérete, darabszáma és tárolási módja

A vizsgálatokhoz szükséges próbatestek méretét, darabszámát és tárolási módját a 2. táblázatban adtuk meg.

2. táblázat: Készített próbatestek mérete, darabszáma

Vizsgálat típusa	Próbatest mérete, mm	Készített összes darabszám
Nyomószilárdság vizsgálat	150*150*150	96
Fagyállóság vizsgálat	100*100*50	48
Kopásállóság vizsgálat	70*70*50	32
Távolsági tényező vizsgálat	100*150*50	16
Vízfelvétel vizsgálat	150*150*150	48

5.1.1.3 Próbatestek készítése és tárolása

Mindegyik betonösszetételhez tartozó próbatesteket 1 keverésből készítettük el. Minden keverés betonjából, ellenőrző jelleggel konzisztenciát mértünk. A próbatest készítés (a felhasznált eszközök előkészítése után) a beton alkotók kimérésével kezdődött. Ezután a betonkeverő megnedvesített keverődobjába betöltöttük az adalékanyagot és félmennyiségű vizet, amit fél percig kevertünk. Ezután tíz perc pihentetés következett, majd a cementet, és a maradék vizet hozzáadtuk és a betont 2 percig kevertük. Közben hozzáöntöttük a folyósító adalékszert és a légbuborékképző adalékszert. A keverés elvégzése után megvizsgáltuk a betonkeverék területét és légtartalmát, majd a felhasznált betont nem használtuk fel próbatest készítéshez.

Az így megkevert betont 20 másodperces rázóasztalos tömörítéssel dolgoztuk be a sablonokba. Az elkészített próbatesteket 22-24 órás korban zsaluztuk ki, amelyet azonnal a 20-22 °C-os vízzel feltöltött tároló kádakba helyeztünk, a kísérleti tervnek megfelelően.

A tároló kádakból 7 napos korban vettük ki a próbatesteket. Utána labor levegőn (50-70 relatív páratartalom) és 25-28 °C hőmérsékleten tároltuk, a vizsgálatok időpontjáig.

5.2 Laboratóriumi vizsgálatok

Két cementtel, egyfajta folyósító adalékszerrel, és kétfajta légbuborekképző adalékszerrel, azonos $d_{\max}=32$ mm alkalmazásával légtartalmat leszámítva azonos teljesítőképességű betonokat állítottunk elő, és megvizsgáltuk mind a friss, mind a megszilárdult betonok tulajdonságait.

Az alábbi vizsgálatokat végeztük el:

- friss beton vizsgálat, terület méréssel,
- friss beton légtartalom vizsgálat készülékkel és számítással,
- fagyállóság vizsgálat 28 napos kortól,
- kopásállóság vizsgálat 28 napos kortól,
- vízfelvétel vizsgálat 28 napos kortól,
- távolsági tényező vizsgálat legalább 28 napos kortól.

5.2.1 Frissbeton vizsgálata

Az elkészített betonkeverékek konzisztenciáját szemrevételezéssel ellenőriztük, és utána végeztük el a konzisztencia és légtartalom vizsgálatot. Ha a vizsgálati eredmények nem voltak megfelelőek, akkor adalékszer adagolással növeltük a beton légtartalmát.

5.2.2 Nyomószilárdság vizsgálata (7, 28 napos korban)

A nyomószilárdság vizsgálatához $150*150*150$ mm névleges méretű próbakockákat használtunk.

A nyomószilárdság meghatározásához az alábbi eszközöket használtuk:

- Alpha 3-3000 S gyártmányú 3000 kN-os hidraulikus törőgép,
- tolómérő; 0,1 mm pontosságú,
- digitális mérleg; 0,001 kg pontosságú.

A vizsgálatokat 7, 28 napos korban végeztük el. 7 napos vizsgálat esetén +/- 2 órás pontossággal, a 28 napos korban +/- 5 órás pontossággal végeztük el a vizsgálatokat.

A mérés során 3 db próbatestet vizsgáltunk.

A 7 napos korú próbatesteket miután kivettük a vízből, letöröltük a nedvességet a felületükről, majd megmértük méreteiket és tömegüket, ezután törésig terheltük őket. A 28 napos korú próbatestek méreteit és tömegüket megmértük, ezután törésig terheltük őket.

Kiszámítottuk a nyomószilárdság tapasztalati egyedi értékét ($f_{ci,cube,test}$), valamint a három próbatest nyomószilárdságából átlagot számítottunk ($f_{cm,cube,test}$).

A nyomószilárdságot az

$$f_{ci,cube,test} = F_u * 1000 / A$$

ahol:

$f_{ci,cube,test}$:	képlettel számítottuk ki.
F_u :	nyomószilárdság, N/mm ²
A:	törő erő, kN
	nyomott felület, mm ² .

5.2.3 Fagyállóság vizsgálata (28 napos kortól)

A fagyállóságot 3 db 100*100*50 mm-es próbatesten vizsgáltuk.

A fagylehámlás meghatározásához az alábbi eszközöket használtuk:

- automata fagyasztógép, 50 betonkocka kapacitással,
- digitális mérleg, 0,01 gramm pontosságú,
- mérő menzúra 100 ml-es,
- ecset,
- szűrőpapír,
- desztillált vizes spriccelő.

A vizsgálathoz minden keverékből 3-3 db, 100*100*50 mm névleges méretű kockát használtunk. A próbatestek öt oldalára (a vizsgált felület kivételével) gumi réteget ragasztottunk úgy, hogy 20 mm magas peremet képeztünk, ahol tömítettünk is. A próbatesteket a vizsgált felület kivételével, hőszigetelő réteggel vettük körül. Laborhőmérsékleten a próbatestek pereme közé 50 ml desztillált vizet öntöttünk, és polietilén fóliával letakartuk a párolgás megakadályozása végett. Ezeket 72 ± 2 órán át állni hagytuk. A légkeveréses fagyasztószekrénybe való helyezés előtt 15-30 perccel a peremek közötti vizet 3%-os nátrium-klorid-oldattal cseréltük ki, és polietilén fóliával takartuk le, majd behelyeztük a fagyasztószekrénybe, amely ciklikus fagyasztást végzett. A vizsgálat során 7, 14, 28, 42, 56 ciklusonként fagylehámlás vizsgálatot végeztünk méréssel. Egy fagyasztási ciklus az alábbiakból állt:

- $+25^{\circ}\text{C}$ -ről -15°C -ra történő lehűtési ciklus
- -15°C -on tartás
- felolvasztás $+25^{\circ}\text{C}$ -ra.

A nátrium-klorid-oldatot a lehámlott részekkel együtt edénybe töltöttük, és ecset segítségével, valamint desztillált vízzel a lehámlott részeket eltávolítottuk, majd a folyadékot szűrőpapíron átszűrtük. A kiszáritás után lemértük a lehámlott részek tömegét.

5.2.4 Kopásállóság vizsgálat (28 napos kortól)

A kopásállóság vizsgálatához 70*70*50 mm névleges méretű próbatestet használtunk.

A kopásállóság meghatározásához az alábbi eszközöket használtuk:

- tolómérő; 0,1 mm pontosságú,
- digitális mérleg; 0,001 kg pontosságú,
- Böhme koptató készülék,
- normálkorund Nr.100 (névleges szemcseméret: 105-149 μm).

A vizsgálatokat 2-2 próbatesten, legalább 28 napos korban végeztük el az alábbi módon.

A vizsgálat megkezdése előtt lemértük a próbatestek pontos magasságát 4 oldalon, és a koptatott felületet, és megmértük a próbatest tömegét. Minden oldalon 22 fordulat, és ötszöri ismétlés után újból megmértük a próbatestek magasságát, és tömegét. Az eredményeket két szabvány szerint értékeltük. A koptatást szárazon végeztük.

MSZ 4715/4-87 szerint a korrigált magasságcsökkenést a

$$\Delta h_{\text{kor}} = (h_{\text{á0}} - h_{\text{ái}}) * a_i * b_i / 5000 \quad \text{képlettel számítottuk}$$

ahol	Δh_{kor} :	korrigált magasságcsökkenés, mm
	$h_{\text{á0}}$:	koptatás előtti 4 oldali magasságok átlaga, mm
	$h_{\text{ái}}$:	koptatás utáni 4 oldali magasságok átlaga, mm
	$a_i * b_i$:	tényleges koptatott felület, mm ²
	5000:	névleges felület, mm ²

MSZ 4798-1:2004 szerint a térfogatcsökkenést a

$$\Delta V = (1 - G'/G) * V \quad \text{képlettel számítottuk}$$

ahol	ΔV :	a próbatest térfogatvesztesége, mm ³
	G:	a próbatest tömege koptatás előtt, g
	G':	a próbatest tömege koptatás után, g
	V:	a próbatest térfogata koptatás előtt, mm ³

5.2.5 Vízfelvétel vizsgálat

A vízfelvétel vizsgálatot 3 db 150*150*150 mm névleges méretű próbatesten végeztük.

A vízfelvétel meghatározására használt eszközök:

- tolómérő; 0,1 mm pontosságú,
- digitális mérleg; 0,001 kg pontosságú,
- szárítószekrény.

A próbatesteket tömegállandóságig szárítottuk 60°C-on, majd vízzel telítettük, szintén tömegállandóságig.

MSZ 4715/3-72 szerint az eredményeket a következő képlettel számítottuk:

$$w = (m_1 - m_0) / m_0 * 100$$

ahol	w:	a próbatest vízfelvétele, %
	m_0 :	a próbatest tömege kiszáritás után, g
	m_1 :	a próbatest tömege víztelítés után, g

5.2.6 Távolsági tényező vizsgálat

A vizsgálatot 100*150*50 mm próbatesteken végeztük.

A próbatestek felületét megcsiszoltuk, majd jelzőfestékekkel befestettük, majd száradás után a felesleget lecsiszoltuk. A csiszolás minőségét vizsgáló mikroszkóppal ellenőriztük.

MSZ EN 480-11:2006 szerint az eredményeket a következő képlettel számítottuk:

A 300 µm alatti légbuborékok távolsági tényezőjének számítása:

$$L_{300} = (3 * (1,4 * (1 + R_{300})^{1/3} - 1)) / \alpha_{300}$$

ahol	L_{300} :	a 300 µm alatti légbuborékok távolsági tényezője, mm
	R_{300} :	cementpép tartalom/teljes légtartalom,
	α_{300} :	metszett légbuborékok számának négyszerese/átszelt légbuborékok húr hossza.

6. A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

6.1 Friss beton teljesítőképességek kiértékelése

A nagy teljesítőképességű, fagyálló betonok esetében mind a friss, mind a megszilárdult betontól nagy teljesítőképességet kell elvárni. Tekintet nélkül arra, hogy kutatási munkáról van szó, a betonoknak ki kell elégíteni a betontechnológiai igényeket.

A vizsgálatok során a konzisztencia területtel mérve 330 és 440 mm között változott, a beton kissé képlékeny volt.

A vizsgálatok során a légtartalom 1,8-10,6 V% között változott 4 lépcsőfokban légtartalom mérő készülékkel vizsgálva, számítással 2,11-11,21 V% között változott. A mért és számított légtartalmak jó egybeesést mutattak, az eltérés 1,1 V%, vagy annál kisebb volt. Általában a számított értékek voltak nagyobbak.

A tényleges, mért testsűrűségek 2202 és 2431 kg/m³ között változtak.

6.2 Megszilárdult beton eredmények kiértékelése

6.2.1 Nyomószilárdsági eredmények kiértékelése

A 7 és 28 napos nyomószilárdság vizsgálati eredményeket a *3. táblázatban* és a levegőtartalom függvényében az *1. ábrán* adtuk meg.

28 napos korban a legkisebb nyomószilárdság 29,16 N/mm² és a legnagyobb nyomószilárdság 58,34 N/mm² volt.

6.2.2 Fagyállóság vizsgálati eredmények értékelése

A vizsgálati eredményeket a *4. táblázatban* és a *3/1 - 3/4 ábrákon* adtuk meg.

A CEM I 42,5 N jelű cementtel és a szintetikus, Centrament Air 202, légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén a fagylehámítás értéke a légtartalom növekedéssel csökkent (*3/1 ábra*).

A CEM I 42,5 N jelű cementtel és a fenyőgyanta alapú, Centrament Air LP 20, légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén a fagylehámítás értéke a légtartalom növekedéssel jelentősen csökkent 5 V% légtartalom felett (*3/2 ábra*).

A CEM II/A-S 42,5 N jelű cementtel és a szintetikus, Centrament Air 202, légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén a fagylehámítás értéke a légtartalom növekedéssel szintén csökkent, majd a vizsgált legnagyobb légtartalmú sorozatok esetében kis mértékben emelkedett. A 2,11 V% légtartalomnál a beton nem volt fagyálló, egyik kitéti osztályt sem teljesítette (*3/3 ábra*).

A CEM II/A-S 42,5 N jelű cementtel és a fenyőgyanta alapú, Centrament Air LP 20, légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén a fagylehámítás értéke a légtartalom növekedéssel csökkent, majd a legnagyobb légtartalomnál kicsit emelkedett.

Fagylehámítás szempontjából a legkisebb fagylehámításokat ezzel a cement adalékszer kombinációval kaptuk. Még az 1,98 V%-os légtartalmú beton is majdnem teljesítette az XF2 kitéti osztályt (*3/4 ábra*).

A CEM I 42,5 N jelű cementtel a Centrament Air 202 szintetikus alapanyagú légbuborékképző adalékszer adta a legkedvezőbb eredményt, a levegőtartalom függvényében a fagyállóság egyenletesen javult.

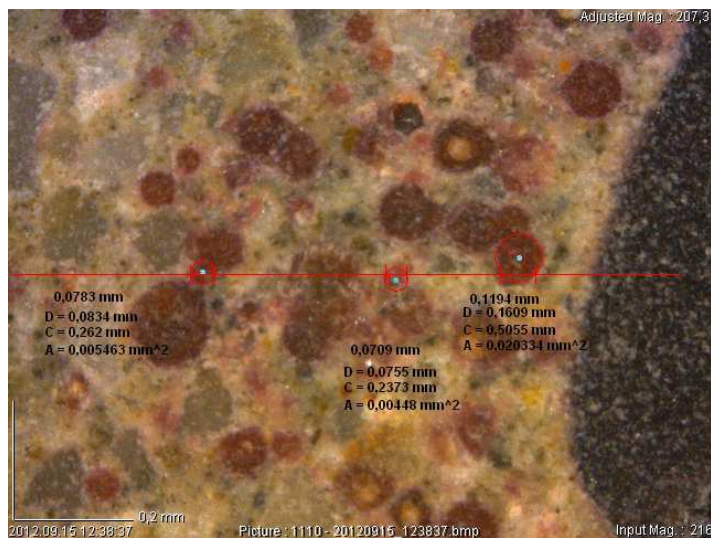
A CEM II/A-S 42,5 N jelű cementtel a Centrament Air LP 20 fenyőgyanta alapanyagú légbuborékképző adalékszer adta a legkedvezőbb eredményt.

Ezeket figyelembe véve a különböző cementekhez vizsgálatokkal célszerű kiválasztani a megfelelő légbuborékképző adalékszert. Ez segítheti egy stabilabb betontechnológia létrehozásának és megvalósításának lehetőségét.

6.2.3 Távolsági tényező vizsgálati eredményeinek kiértékelése

A vizsgálati eredményeket az 5. táblázatban és a 4/1 - 4/4 ábrákon adtuk meg.

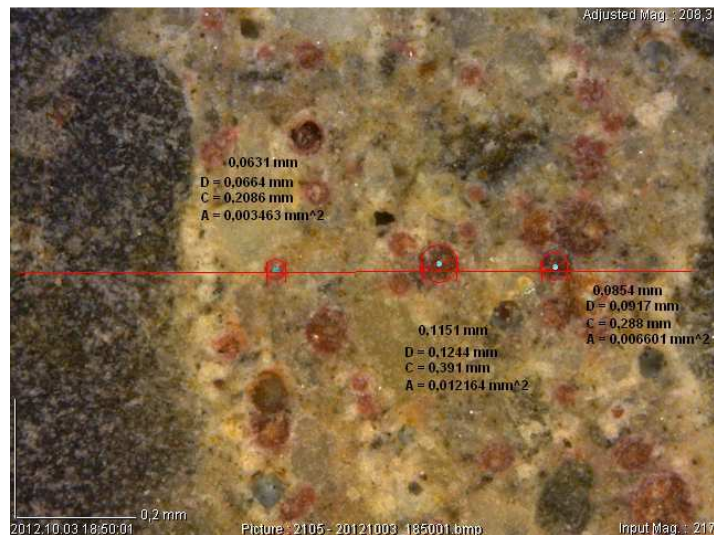
A CEM I 42,5 N jelű cementtel és a szintetikus, Centrament Air 202, légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén a távolsági tényező 0,216 és 0,181 mm között változott a légtartalom növekedés (3,50-8,45 V%) függvényében. A légtartalom változás jelentősen nem befolyásolta a távolsági tényező változást, és minden légtartalom (3,5-8,45 V%) esetében teljesíti az ÚT 2-3.201:2006 6.3 Pályaburkolati beton összetételének követelményei 6. táblázat 0,22 mm követelményét (4/1 ábra). A 7. fényképen látható, hogy 3,5 V% légtartalommal is jó légbuborék eloszlást lehet elérni, ahol a távolsági tényező 0,216 mm.



7. fénykép: Egyenletes, jó minőségű légbuborék eloszlás 3,5 V% légtartalom esetén

A CEM I 42,5 N jelű cementtel és a fenyőgyanta alapú, Centrament Air LP 20, légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén jelentősen csökken a távolsági tényező (0,349 - 0,219 mm) a légbuborék tartalom (2,35 - 9,90 V%) függvényében (4/2 ábra).

A CEM II/A-S 42,5 N jelű cementtel és a szintetikus Centrament Air 202 légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén a távolsági tényező 0,386 és 0,184 mm között változott a légtartalom növekedés (2,11-9,41 V%) függvényében. A légbuborékképző adalékszer kis légtartalom esetén nem működik, csak 5 V% fölött kezdett el jól működni, ez utóbbi értékek teljesítik az ÚT 2-3.201:2006 követelményét (4/3 ábra).



8. fénykép: Egyenletes, jó minőségű légbuborék eloszlás 6,24 V% légtartalom esetén

A CEM II/A-S 42,5 N jelű cementtel és a fenyőgyanta alapú, Centrament Air LP 20, légbuborékképző adalékszerrel készített betonok esetén a távolsági tényező 0,303 és 0,140 mm között változott a légtartalom növekedés (1,98 - 1,21 V%) függvényében. 5 V% fölött teljesítik az ÚT 2-3.201:2006 követelményét. A CEM II/A-S 42,5 N jelű cement a Centrament Air LP 20 esetében betontechnológiai szempontból stabilabban működik, mint a Centrament Air 202 esetében (4/4 ábra).

6.2.4 Kopásállóság vizsgálati eredményeinek kiértékelése

A vizsgálati eredményeket a 6. táblázatban és az 5/1 - 5/8 ábrákon adtuk meg.

A kopásállóság mindkét cement, és mindkét légbuborékképző adalékszer esetében a légtartalom növekedés függvényében csökkent. Az MSZ 4715/4-87 szerint vizsgálva a CEM I 42,5 N jelű cement esetében az 5 V% alatti légtartalom esetén a kopásállóság K5 (fokozottan kopásálló), 5 V% légtartalom fölött K10 (kopásálló) minősítési értéket érik el a betonok. A CEM II/A-S 42,5 N jelű cement esetében a kopásállóság kisebb, K10 (kopásálló) minősítési értéket érik el a betonok (5/1 - 5/4 ábrák).

Az MSZ 4798 szerint vizsgálva a CEM I 42,5 N jelű cement esetében mindkét légbuborékképző adalékszerrel a kopásállóság a 4 térf% alatti légtartalom esetén eléri az XK2(H) kitéti osztályt, 4 - 8 V% között teljesíti az XK1(H) kitéti osztályt, fölötte nem kopásálló (5/5 és 5/6 ábra).

Az MSZ 4798 szerint vizsgálva a CEM II/A-S 42,5 N jelű cement esetében mindkét légbuborékképző adalékszerrel a legkisebb légtartalmú betonokat kivéve a fagyálló betonok nem kopásállóak (5/7 és 5/8 ábra). Az MSZ 4798 szerinti kopásállósági vizsgálat szigorúbb követelményeket támaszt a betonok kopásállóságával szemben.

Feltételezhető, hogy a CEM II/A-S 42,5 N jelű cementtel készített betonok nagyobb utószilárdulása a kopásállóságot a későbbiekben javítja.

6.2.5 Vízfelvétel vizsgálati eredményeinek kiértékelése

A vizsgálati eredményeket a 7. táblázatban és a 6/1 - 6/4 ábrákon adtuk meg.

A vízfelvétel a légtartalom növekedésével kis mértékben nő (6/1 - 6/4 ábra). Átlagosan 0,5 V%-kal nagyobb a vízfelvétel CEM II/A-S 42,5N jelű cementtel készült betonok esetében. A vízfelvétele befolyásolja a zúzottkő (0,5-1 V%) vízfelvételi képessége.

6.3 A vizsgált tulajdonságok eredményeinek egymáshoz viszonyított kiértékelése

6.3.1 A nyomószilárdság és a levegőtartalom összefüggésének kiértékelése

Az 1. ábrán látható, hogy a CP 4/2,7 jelű térburkolati beton követelményének a 7 V% alatti légtartalmú betonok tesznek eleget. 1 V% légtartalom csökkenés vizsgálataink szerint $3,16 \text{ N/mm}^2$ nyomószilárdság csökkenést mutatott ki. Ez egyezik az irodalomban megadott $3-5 \text{ N/mm}^2$ -es szilárdságcsökkenéssel térfogat-százalékonként.

6.3.2 A nyomószilárdság és a testsűrűség összefüggésének kiértékelése

A 2.a és 2.b ábra alapján a nyomószilárdság a testsűrűség függvényében gyakorlatilag lineárisan változik. 50 kg/m^3 testsűrűség csökkenés kb. $6,63 \text{ N/mm}^2$ szilárdságcsökkenéshez vezetett, ami gyakorlatilag egy nyomószilárdsági osztály csökkenést jelent.

6.3.3 A fagylehámlás és a levegőtartalom összefüggésének kiértékelése

A 7. ábra alapján megállapítható, hogy az XF4 kitéti osztály követelményének csak a 4 V% feletti légtartalmú betonok felelnek meg. Ez megegyezik az irodalmi adatokkal, amelyeket a tartóssági tényezővel állapítottak meg.

6.3.4 A fagylehámlás és a távolsági tényező összefüggésének kiértékelése

A 8. ábra alapján megállapítható, hogy az XF4 kitéti osztály a fenyőgyanta alapú légbuborékképző adalékszerrel még 0,27 mm-es távolsági tényezővel is teljesíthető. Az ÚT 2-3.201:2006 6.3 Pályaburkolati beton összetételének követelményei 6. táblázat 0,22 mm követelménye nagy biztonságot jelent a fagyálló térburkolati betonok számára. Jelen vizsgálataink szerint a 0,25 mm érték is megengedhető lenne.

A 0,22 mm maximális távolsági tényező követelmény a szintetikus légbuborékképző adalékszerekre pontos követelményt ír elő az XF4 kitéti osztály biztosításához.

6.3.5 A fagylehámlás és a nyomószilárdság összefüggésének kiértékelése

A 9. ábra alapján megállapítható, hogy az XF4 kitéti osztály és a CP 4/2,7 szilárdsági jelű térburkolati beton vizsgálataink szerint a CEM II/A-S 42,5 N jelű cement esetében mindkét adalékszer esetében, a CEM I 42,5 N jelű cement esetében csak a Centrament Air 202 szintetikus légbuborékképző adalékszerrel teljesíti a két követelményt. A friss beton légtartalma 5-7 V% között lehet.

6.3.6 A kopásállóság és a fagylehámítás összefüggésének kiértékelése

A 10.a ábra alapján megállapítható, hogy K5 kopásállóságot és az XF4 kitéti osztályt csak a CEM I 42,5 N jelű cementtel lehet teljesíteni bármelyik vizsgált adalékszer használatával.

A 10.b ábra alapján megállapítható, hogy XK1(H) kitéti osztályt és XF4 kitéti osztályt csak a CEM I 42,5 N jelű cementtel lehet teljesíteni bármelyik vizsgált adalékszer használatával.

6.3.7 A fagylehámítás, a nyomószilárdság és a kopásállóság együttes teljesítőképességének kiértékelése

A 7. táblázatban összeállítottuk a 16 betonkeverék fagylehámítási, nyomószilárdsági és kopásállósági vizsgálati eredményeit. Az eredményekből látható, hogy mindhárom követelményt a zöld sávban látható, 4,5-6 V% légtartalmú CEM I 42,5 N jelű cementtel és a Centrament Air 202 szintetikus légbuborékképző adalékszerrel készített betonok tudják teljesíteni. Más cement és adalékszer kombinációkban a fagyállóságot, a kopásállósági és/vagy nyomószilárdsági teljesítőképesség csökkenésével lehet elérni. Ezért, ha mindhárom követelményhez ragaszkodunk, akkor kopásállóbb kőzetre, és kisebb víz/cement tényező alkalmazására van szükség.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

- A szintetikus alapú légbuborékképző adalékszer a légtartalom növekedésével a beton fagyállóságát egyenletesen növeli.
- A fenyőgyanta alapú légbuborékképző adalékszer a légtartalom növekedésével a beton fagyállóságát erőteljesen növeli és nagy légtartalom esetében (~9 V% fölött) kis mértékben csökkenti.
- Egy százalék légtartalom növekedés 3-4 N/mm² szilárdságcsökkenést eredményezett.
- 40 kg/m³ testsűrűség csökkenés körülbelül egy nyomószilárdsági osztály csökkenést eredményez.
- A szintetikus alapú légbuborékképző adalékszer érzékenyebb a légpórus eloszlásra (keverési idő, konzisztencia), a fenyőgyanta alapú adalékszer egyenletesebben oszlik el, de nehezebb bekeverni a betonba.
- A CEM II/A-S 42,5 N cementtel kisebb szilárdságú és kevésbé fagyálló betonok készíthetők.
- A kopásállóság (XK1(H)) csak 4-5 V% levegőtartalom mellett teljesíthető, fölötte a beton kopásállóságát nehezebb teljesíteni. Az MSZ 4798 szabvány szigorúbb követelményeket támaszt a beton kopásállóságával szemben, mint a régi MSZ 4715/4-87 szabvány.
- A fagyállósági, kopásállósági és szilárdsági követelmények együttes teljesítése a jelenlegi előírások alapján elég összetett feladat. Jelen vizsgálataink alapján a három követelmény biztonságosan CEM I 42,5 N jelű cementtel és szintetikus légbuborékképző adalékszerekkel teljesíthető. Más cementek és adalékszerek alkalmazása esetén a három követelmény együttes teljesítése csak kisebb víz/cement tényező (0,42-0,44) alkalmazásával lehetséges, ami növeli a betontechnológiai kivitelezési nehézségeket. Kismértékű víztartalom ingadozás jelentős hatással van a fagyálló beton teljesítőképességére.
- A vizsgálati eredmények rámutattak arra is, hogy a fagyállóság fenyőgyanta alapú légbuborékképző adalékszerek esetében nagyobb távolsági tényezővel is teljesíthető (0,27 mm).
- A jelenlegi előírások betartásával a fagyállósági követelmény biztonságosan biztosítható. A kivitelezési gyakorlat során a többlet víz, amennyiben nem okoz habarcs feldúsulást a burkolat, vagy szerkezet tetején, növeli a betonban a légtartalmat, és ezáltal a fagyállóságot, de csökkenti a beton szilárdságát, ami tábla él letörésekhez, nagy forgalom esetén nyomvályú kialakulásához vezethet.
- A fagyálló beton teljesítőképességét a betontervezés során célszerű laboratóriumi kísérletekkel előzetesen igazolni.

8. HIVATKOZÁSOK

- Balázs Gy. (1983), "Építőanyagok és kémia", *Tankönyvkiadó*, Budapest, 1983, 81 p.
- Bencze Zs., Sipos L. (2012), "Az első hazai betonburkolatú körforgalom 2. rész: A kivitelezés", *BETON XX. évf. 3-4. Szám*, 2012 március-április, pp. 3-7.
- CONlife (2004), "Proceedings of International Conference of Durability of High-Performance Concrete and Final Workshop of CONLIFE", *AEDIFICATIO Publishers*, 79104 Freiburg, 2004, pp. 157-285. ISBN 3-931681-80-7
- Holcim (2011/01), "Betonpraxis", *Holcim Hungária Zrt.*, 2011/01, 107 p.
- Holcim (2008), "Cement-beton Kisokos", *Holcim Hungária Zrt.*, 2008, pp. 162-166.
- Kausay T. (2009), "Betonok fagy- és olvasztósó-állóságának vizsgálata és követelmények", *fib Vasbetonépítés*, 2008. 4. szám pp. 127-135., 2009. 2. szám pp. 55-65.
- MSZ EN 480-11:2006 Adalékszerek betonhoz, habarcshoz és injektálóhabarcshoz. Vizsgálati módszerek. 11. rész A megszilárdult beton légbuborék-jellemzőinek meghatározása.
- MSZ EN 12350-5:2000 A friss beton vizsgálata. 5. rész Terülmérés.
- MSZ EN 12350-6:2002 A friss beton vizsgálata. 6. rész Testsűrűség.
- MSZ EN 12350-7:2002 A friss beton vizsgálata. 7. rész Levegőtartalom. Nyomásmódszerek.
- MSZ 4715/3-72 Megszilárdult beton vizsgálata. Hidrotechnikai tulajdonságok.
- MSZ 4715/4-87 Megszilárdult beton vizsgálata. Mechanikai tulajdonságok roncsolásos vizsgálata.
- MSZ 4798-1:2004 Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelésképeség.
- RILEM PRO 24, "Frost Resistance of Concrete" *Proceedings of the International RILEM Workshop*, 2002. pp 1-383. ISBN: 2-912143-30-6
- RILEM PRO 25, "Frost Damage in Concrete" *Proceedings of the International RILEM Workshop*, 1999. pp 1-297. ISBN: 2-912143-31-4
- RILEM PRO 34, "Frost Resistance of Concrete" *Proceedings of the International RILEM Workshop*, 1997. pp 1-351. ISBN: 0-419-22900-0
- Sika® (2009/11), "Beton Kézikönyv", *Sika Hungária Kft.*, 2009/11, Budapest, pp. 43-45.
- TECHBRIEF (2007), "Freeze-Thaw Resistance of Concrete with Marginal Air Content", *Research, Development, and Technology Turner-Fairbank Highway Research Center*, 6300 Georgetown Pike McLean, VA 22101-2296, May 2007, pp. 1-6. FHWA-HRT-06-118
- ÚT 2-3.201:2006 Beton pályaburkolatok építése. Építési előírások, követelmények.
- Zsigovics (2011), "Szakvélemény és javítástechnológiai javaslat M31 autópálya leállósáv betonjához", 2011 július, Budapest, pp. 1-4.
- ASTM C 215, "Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Frequencies of Concrete Specimens," ASTM International, West Conshohocken, PA, 2002.
- ASTM C 457, "Standard Test Method for Microscopical Determination of Parameters of the Air-Void System in Hardened Concrete," ASTM International, West Conshohocken, PA, 1998

Cement	340 kg/m ³	110 l/m ³
Víz	150 kg/m ³	150 l/m ³
OH 0/4 29 %	548 kg/m ³	208 l/m ³
OK 4/8 7 %	132 kg/m ³	50 l/m ³
ZK 11/32 64 %	1210 kg/m ³	440 l/m ³
MC PowerFlow 2743 0,6%	2,04 kg/m ³	1,91 l/m ³
MC légbuborékképző 0,2 %	0,68 kg/m ³	0,68 l/m ³
Légtartalom 4 %		40 l/m ³
Frissbeton testsűrűség	2384 kg/m ³	1000 l/m ³

1. táblázat: Alapkeverék összetétele

	Testsűrűség, kg/m ³	Mért levegő tartalom, %	Számított levegő tartalom, %	Nyomószilárdság, N/mm ²	
				7d	28d
CEM I + AIR 202	2398	3,4	3,50%	41,46	52,73
	2373	4,3	4,53%	42,21	53,08
	2356	5,3	5,65%	34,92	45,08
	2283	7,5	8,45%	27,64	36,28
CEM I + LP 20	2407	2,6	2,35%	42,90	56,94
	2385	3,9	4,02%	37,62	49,79
	2316	5,9	6,14%	30,91	40,27
	2219	8,8	9,90%	22,12	29,42

3.1 táblázat: A friss beton és nyomószilárdság vizsgálat eredmények

	Testsűrűség, kg/m ³	Mért levegő tartalom, %	Számított levegő tartalom, %	Nyomószilárdság, N/mm ²	
				7d	28d
CEM II + AIR 202	2439	1,8	2,11%	47,47	58,34
	2337	4,1	5,07%	32,82	43,51
	2316	5,3	6,24%	29,79	37,93
	2257	8,3	9,41%	23,56	29,16
CEM II + LP 20	2404	2,2	1,98%	41,87	54,21
	2348	4,0	4,53%	34,23	42,83
	2302	5,6	6,53%	30,35	40,46
	2232	10,6	11,21%	22,53	29,37

3.2 táblázat: A friss beton és nyomószilárdság vizsgálat eredmények

	levegő tarta- lom	próba- test jele	a b A			Lehámított tömeg, g					egyedi		max $\Sigma g/m^2$	átlag $\Sigma g/m^2$	minősít- és
			mm	mm	mm ²	7 nap	14 nap	28 nap	42 nap	56 nap	$\Sigma g/A$	$\Sigma g/m^2$			
CEM I + AIR 202	3,50%	1	89,53	89,78	8038	1,05	0,51	0,68	0,42	0,33	2,99	372	735	409	-
		2	89,44	90,12	8060	0,35	0,23	0,20	0,10	0,10	0,98	122			
		3	90,30	90,31	8155	1,43	1,04	1,58	1,03	0,91	5,99	735			
	4,53%	1	92,46	90,88	8403	1,07	0,57	0,50	0,12	0,06	2,32	276	353	244	XF 2
		2	90,68	92,04	8346	0,87	0,50	0,58	0,30	0,70	2,95	353			
		3	92,64	90,58	8391	0,30	0,17	0,22	0,08	0,09	0,86	102			
	5,65%	1	88,41	88,86	7856	0,31	0,14	0,07	0,01	0,05	0,58	74	341	196	XF 4
		2	92,13	91,26	8408	0,63	0,32	0,34	0,07	0,10	1,46	174			
		3	91,09	90,43	8237	1,06	0,48	0,52	0,47	0,28	2,81	341			
	8,45%	1	90,39	92,37	8349	0,11	0,22	1,07	0,56	0,80	2,76	331	331	167	XF 4
		2	91,70	90,42	8292	0,25	0,15	0,36	0,19	0,16	1,11	134			
		3	90,07	90,67	8167	0,19	0,05	0,03	0,01	0,03	0,31	38			
CEM I + LP 20	2,35%	1	91,93	91,50	8412	1,79	0,19	0,15	0,10	0,11	2,34	278	397	307	XF 2
		2	91,32	91,66	8370	1,65	1,06	0,48	0,06	0,07	3,32	397			
		3	92,19	91,04	8393	0,49	0,53	0,80	0,18	0,07	2,07	247			
	4,02%	1	91,77	91,48	8395	0,64	0,87	0,91	0,45	0,37	3,24	386	386	267	XF 2
		2	93,16	90,59	8439	0,69	0,46	0,48	0,21	0,11	1,95	231			
		3	92,17	89,38	8238	0,40	0,15	0,45	0,30	0,22	1,52	185			
	6,14%	1	91,99	91,33	8401	0,16	0,23	0,49	0,37	0,26	1,51	180	180	98	XF 4
		2	92,41	89,91	8309	0,22	0,18	0,09	0,04	0,02	0,55	66			
		3	91,92	91,07	8371	0,03	0,02	0,23	0,07	0,06	0,41	49			
	9,90%	1	90,81	89,88	8162	0,01	0,09	0,09	0,02	0,04	0,25	31	79	39	XF 4
		2	91,25	90,63	8270	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	6			
		3	89,78	90,13	8092	0,13	0,12	0,24	0,07	0,08	0,64	79			
CEM II + AIR 202	2,11%	1	90,24	90,45	8162	4,27	3,99	6,43	5,34	3,41	23,4	2872	2872	2266	-
		2	91,75	91,47	8392	3,27	2,70	4,93	1,02	0,46	12,3	1475			
		3	89,85	92,38	8300	5,57	4,43	8,25	1,12	0,98	20,3	2452			
	5,07%	1	89,39	92,52	8270	0,41	0,21	1,11	0,61	0,70	3,04	368	368	182	XF 2
		2	91,72	91,16	8361	0,21	0,03	0,09	0,13	0,04	0,5	60			
		3	92,18	90,82	8372	0,35	0,18	0,20	0,24	0,02	0,99	118			
	6,24%	1	89,73	89,88	8065	0,20	0,03	0,03	0,01	0,05	0,32	40	58	46	XF 4
		2	91,67	90,98	8340	0,18	0,07	0,02	0,04	0,02	0,33	40			
		3	90,93	91,60	8329	0,17	0,09	0,13	0,08	0,01	0,48	58			
	9,41%	1	91,86	89,66	8236	0,13	0,04	0,04	0,01	0,01	0,23	28	167	92	XF 4
		2	90,09	90,40	8144	0,10	0,10	0,72	0,26	0,18	1,36	167			
		3	91,03	88,63	8068	0,23	0,19	0,16	0,06	0,01	0,65	81			
CEM II + LP 20	1,98%	1	92,04	89,80	8265	1,39	1,17	2,50	0,32	1,13	6,51	788	788	566	-
		2	87,39	92,24	8061	0,89	0,54	1,23	0,24	0,20	3,1	385			
		3	90,15	90,72	8178	1,34	0,81	1,17	0,79	0,20	4,31	527			
	4,53%	1	90,92	90,16	8197	0,29	0,06	0,11	0,03	0,34	0,83	101	101	66	XF 4
		2	91,52	91,25	8351	0,11	0,06	0,02	0,05	0,01	0,25	30			
		3	90,54	91,83	8314	0,29	0,07	0,09	0,09	0,01	0,55	66			
	6,53%	1	90,19	90,21	8136	0,04	0,06	0,07	0,01	0,05	0,23	28	28	27	XF 4
		2	89,61	91,48	8198	0,04	0,01	0,07	0,05	0,03	0,2	24			
		3	89,09	91,04	8111	0,17	0,01	0,03	0,01	0,01	0,23	28			
	11,21%	1	88,78	88,32	7841	0,21	0,01	0,02	0,02	0,04	0,3	38	64	43	XF 4
		2	89,32	90,10	8048	0,11	0,01	0,02	0,07	0,01	0,22	27			
		3	90,48	93,32	8444	0,17	0,09	0,18	0,09	0,01	0,54	64			

4. táblázat: A fagyállóság vizsgálat eredmények

	Számított levegő tartalom	Cement-pép tartalom [P]	Teljes levegő tartalom [A]	Légbuborék fajlagos felülete [R=P/A]	Teljes távolsági tényező [L]	300 µm alatti levegő tartalom [A ₃₀₀]	Légbuborék fajlagos felülete [R ₃₀₀]	300 µm alatti távolsági tényező [L ₃₀₀]	300 µm alatti távolsági tényező a légbuborék eloszlás táblázat adataiból		
	%	V%	V %	[-]	mm	V%	-	mm	A ₃₀₀ [V%]	R ₃₀₀	L ₃₀₀ [mm]
CEM I + AIR 202	3,50%	26,6	2,2	11,9	0,21	2,2	12,1	0,22	50,0	0,5	0,38
	4,53%		2,3	11,8	0,19	2,1	12,8	0,18	49,6	0,5	0,33
	5,65%		3,0	8,9	0,20	2,7	10,0	0,19	46,9	0,6	0,31
	8,45%		3,0	8,9	0,18	3,0	8,8	0,18	50,1	0,5	0,27
CEM I + LP 20	2,35%	26,6	1,0	27,9	0,37	0,8	32,6	0,35	49,1	0,5	1,08
	4,02%		1,5	17,8	0,27	1,5	18,1	0,27	2,4	11,2	0,22
	6,14%		1,2	22,2	0,24	1,2	22,2	0,24	49,2	0,5	0,60
	9,90%		2,2	12,3	0,22	2,2	12,4	0,22	49,6	0,5	0,39
CEM II + AIR 202	2,11%	26,6	0,5	49,9	0,39	0,5	49,9	0,39	48,9	0,5	1,53
	5,07%		2,0	13,4	0,17	2,1	12,4	0,18	49,6	0,5	0,32
	6,24%		2,3	11,4	0,20	2,5	10,7	0,21	49,7	0,5	0,35
	9,41%		2,5	10,7	0,18	2,5	10,7	0,18	49,7	0,5	0,30
CEM II + LP 20	1,98%	26,6	1,2	22,4	0,31	1,0	25,8	0,30	49,0	0,5	0,82
	4,53%		2,2	11,9	0,23	2,1	12,8	0,23	49,4	0,5	0,42
	6,53%		2,5	10,7	0,22	2,3	11,9	0,21	49,5	0,5	0,37
	11,21%		4,7	5,7	0,13	5,1	5,2	0,14	51,1	0,5	0,15

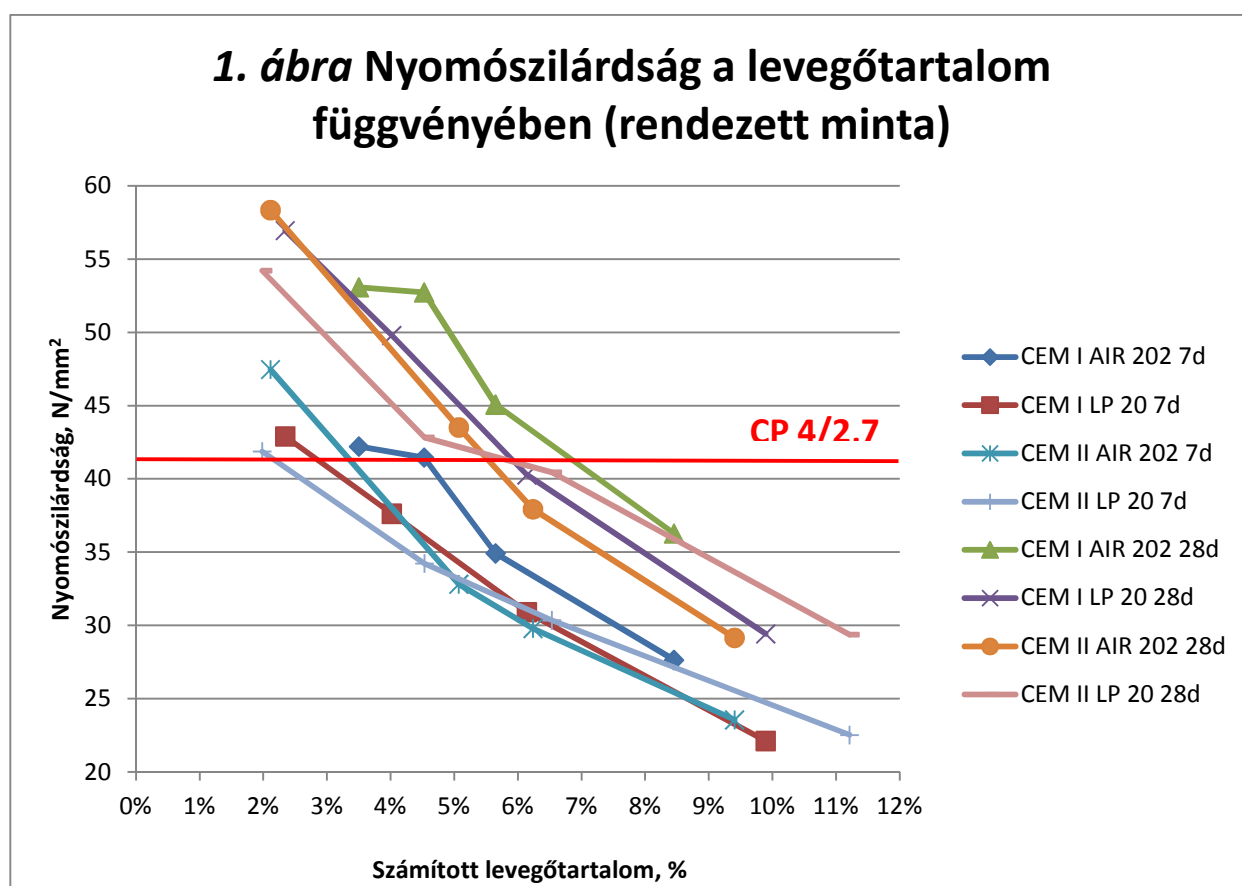
5. táblázat: A távolsági tényező vizsgálat eredményei

	Levegő tartalom	MSZ 4715/4-87 magasság csökk.	minősítés	MSZ 4798 térfogat csökk.	minősítés
CEM I + AIR 202	3,50%	2,22	K 5	11221	XK2(H)
	4,53%	2,31	K 5	12392	XK1(H)
	5,65%	2,63	K 10	12873	XK1(H)
	8,45%	2,84	K 10	14847	-
CEM I + LP 20	2,35%	2,19	K 5	11363	XK2(H)
	4,02%	2,23	K 5	11208	XK2(H)
	6,14%	2,57	K 10	13901	XK1(H)
	9,90%	2,80	K 10	14375	-
CEM II + AIR 202	2,11%	2,73	K 10	13990	XK1(H)
	5,07%	2,74	K 10	14032	-
	6,24%	2,91	K 10	15530	-
	9,41%	3,05	K 10	15786	-
CEM II + LP 20	1,98%	2,52	K 10	13804	XK1(H)
	4,53%	2,77	K 10	15423	-
	6,53%	2,88	K 10	15577	-
	11,21%	3,11	K 10	17179	-

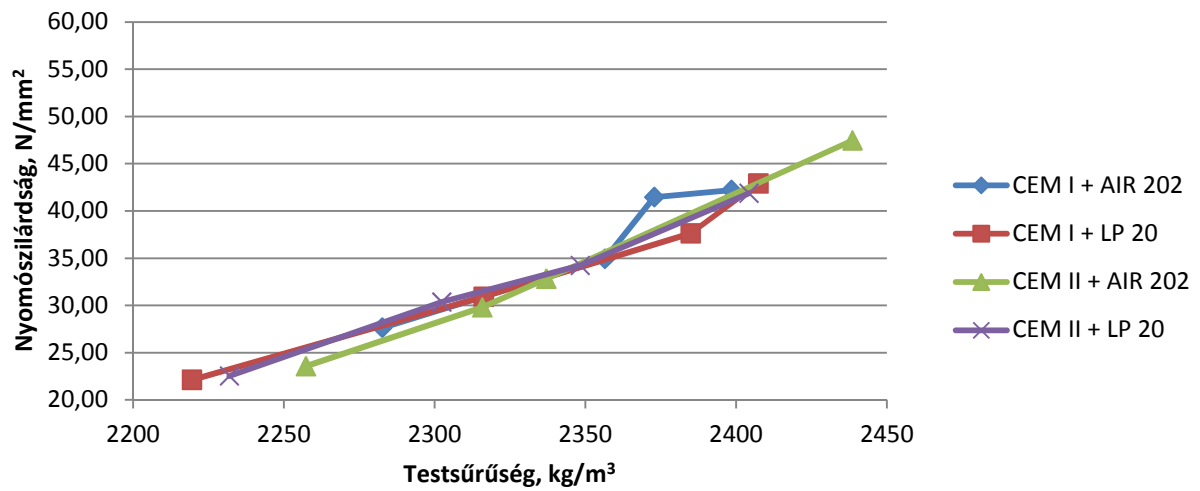
6. táblázat: A kopásállóság vizsgálat eredményei

	Levegőtartalom, %	Nyomószilárdság, N/mm ²	Kopásállóság térfogatcsökkenés szerint, mm ³	Fagylehámlás, g/m ²
CEM I + AIR 202	8,45%	36,28	14847	167,47
	5,65%	45,08	12873	196,20
	4,53%	52,73	12392	244,01
	3,50%	53,08	11221	409,36
CEM I + LP 20	9,90%	29,42	14375	38,59
	6,14%	40,27	13901	98,30
	4,02%	49,79	11208	267,17
	2,35%	56,94	11363	307,15
CEM II + AIR 202	9,41%	29,16	15786	91,83
	6,24%	37,93	15530	45,62
	5,07%	43,51	14032	181,88
	2,11%	58,34	13990	2266,21
CEM II + LP 20	11,21%	29,37	17179	43,18
	6,53%	40,46	15577	27,01
	4,53%	42,83	15423	65,78
	1,98%	54,21	13804	566,40

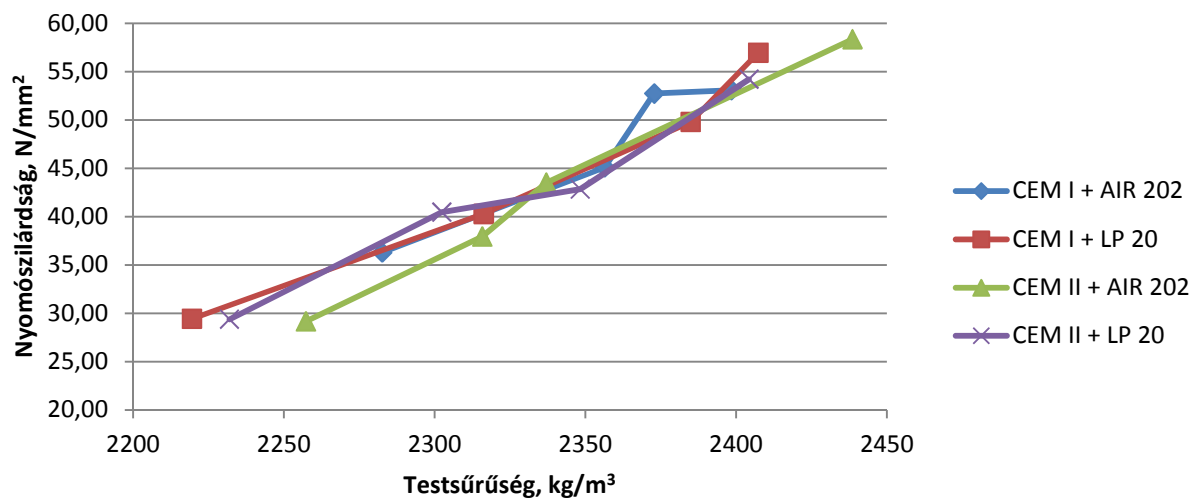
7. táblázat: A Fagyállóság XF4, nyomószilárdság CP4/2,7 41 N/mm², kopásállóság XK1(H) együttes teljesítő képességének kiértékelése



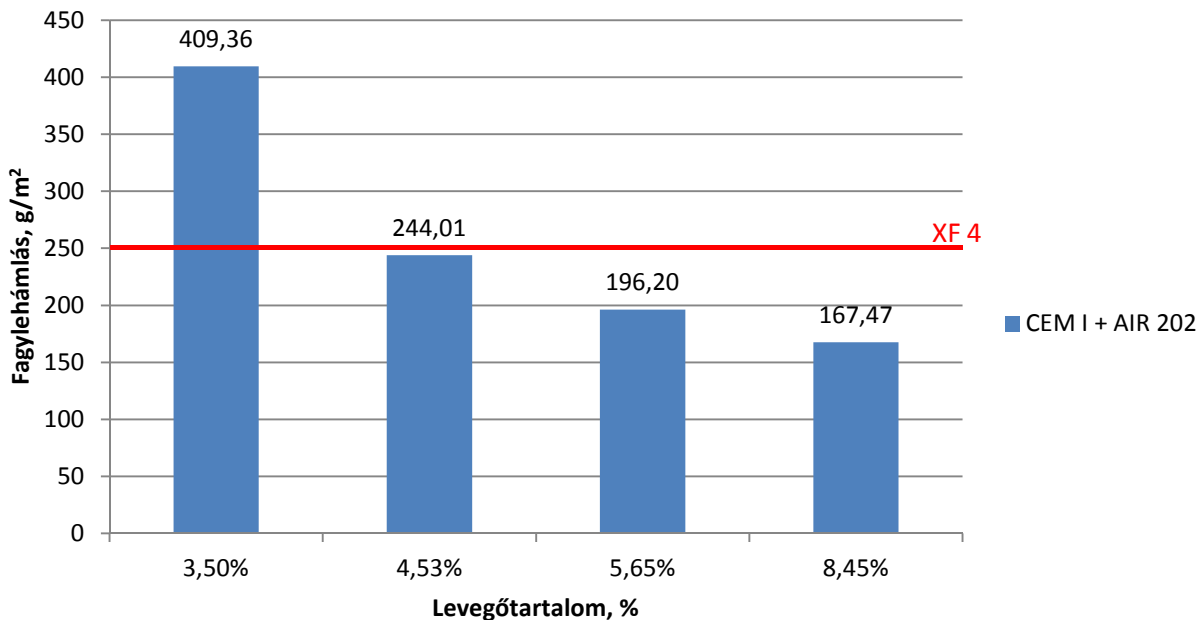
2.a ábra Nyomószilárdság a testsűrűség függvényében, 7 nap



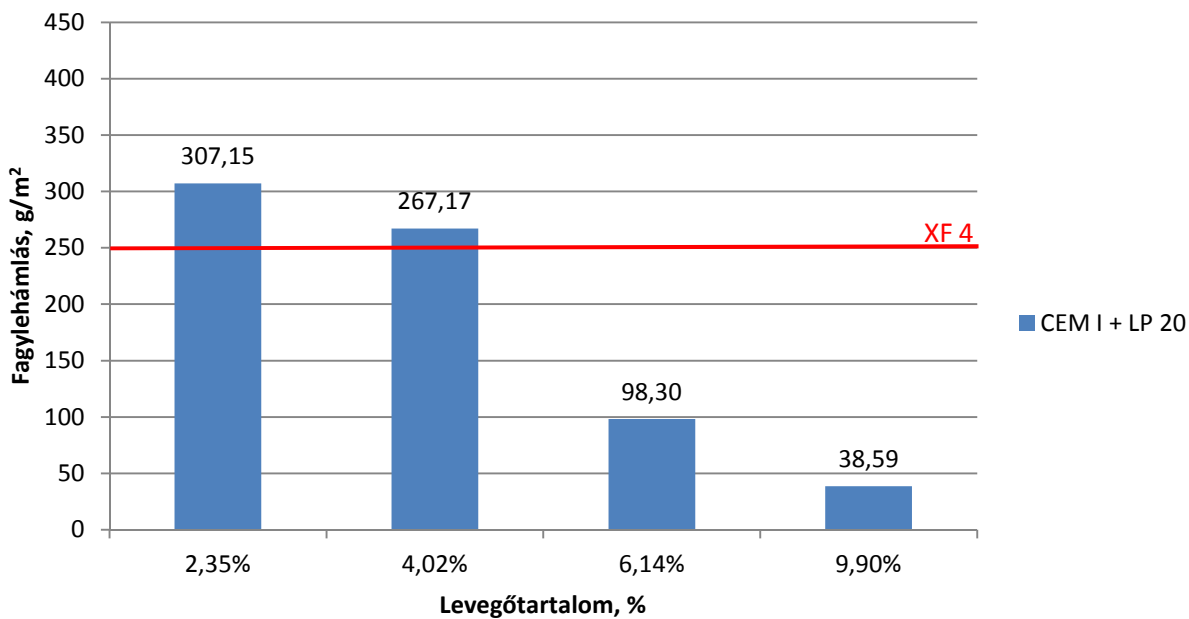
2.b ábra Nyomószilárdság a testsűrűség függvényében, 28 nap

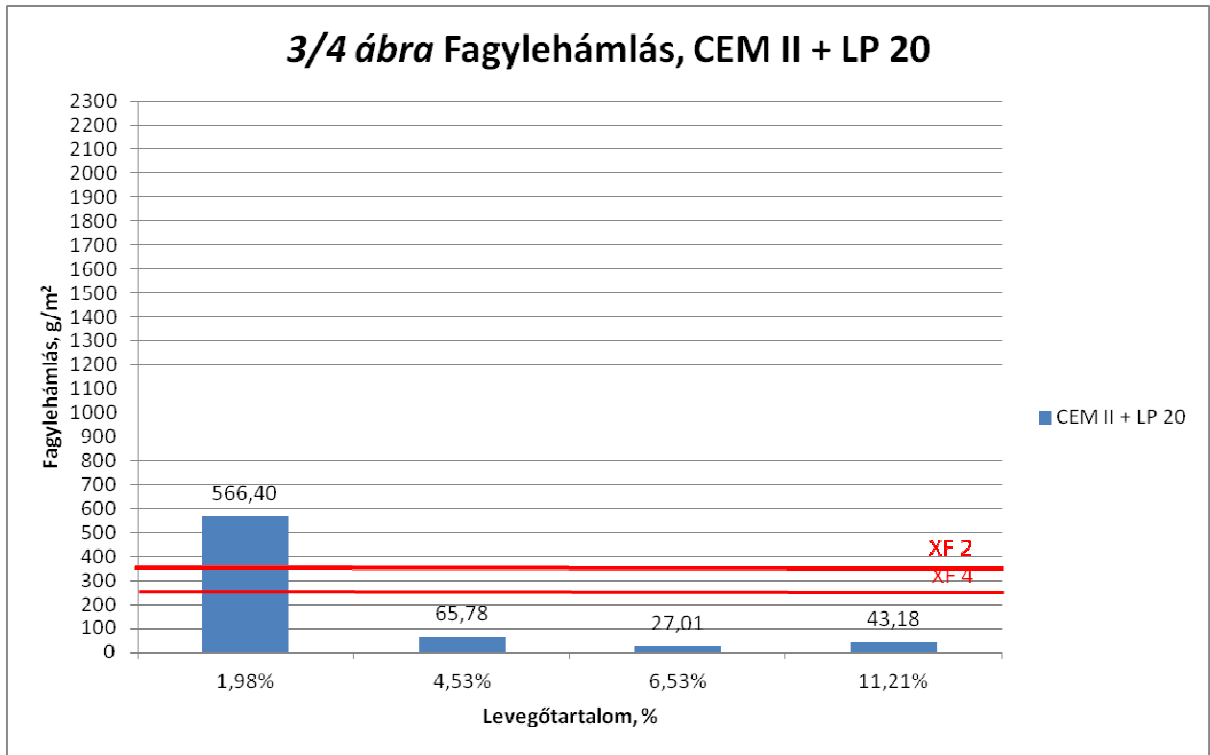
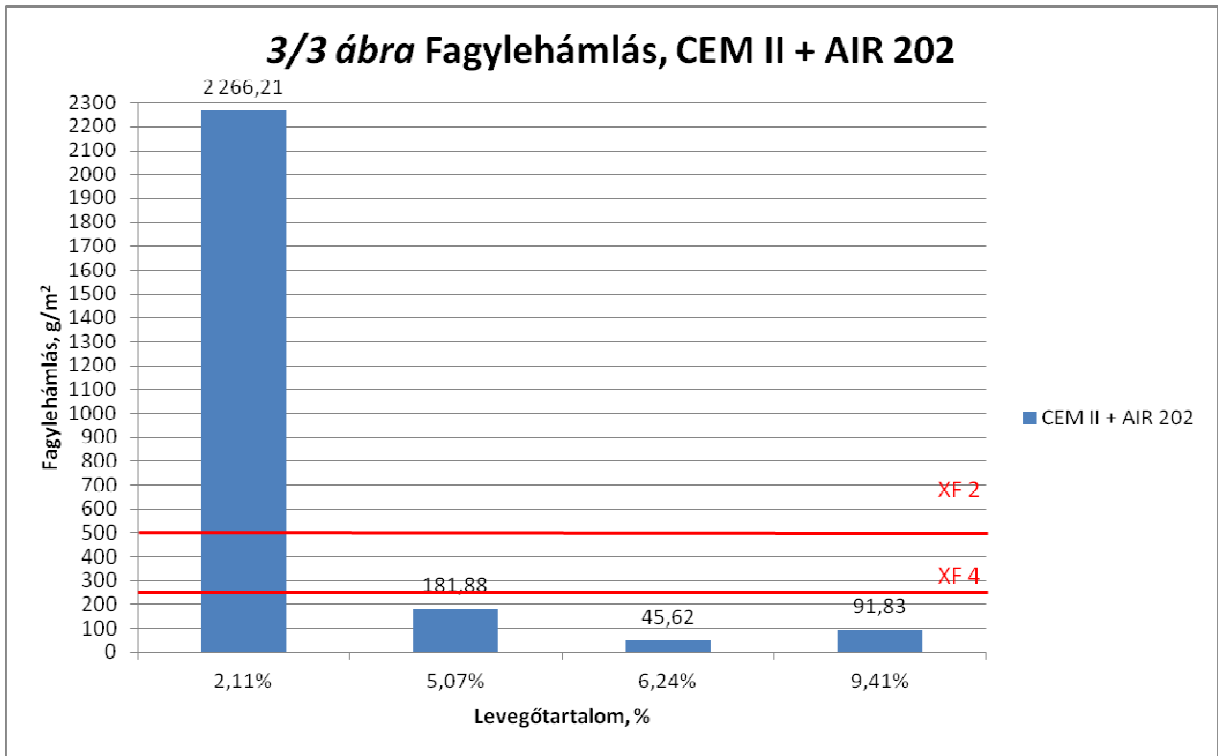


3/1 ábra Fagylehámítás, CEM I + AIR 202

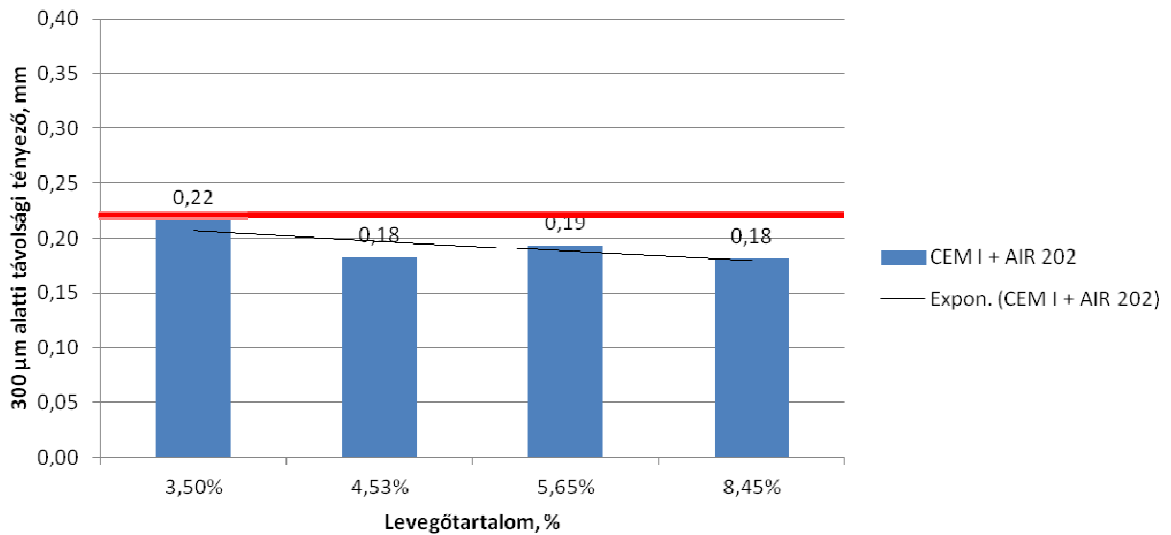


3/2 ábra Fagylehámítás, CEM I + LP 20

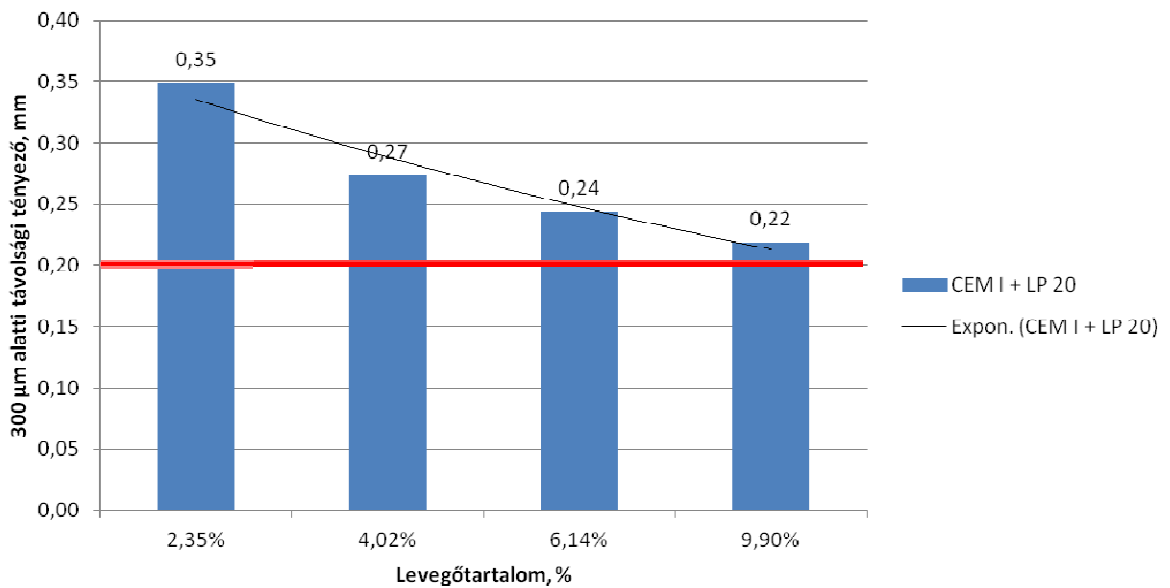




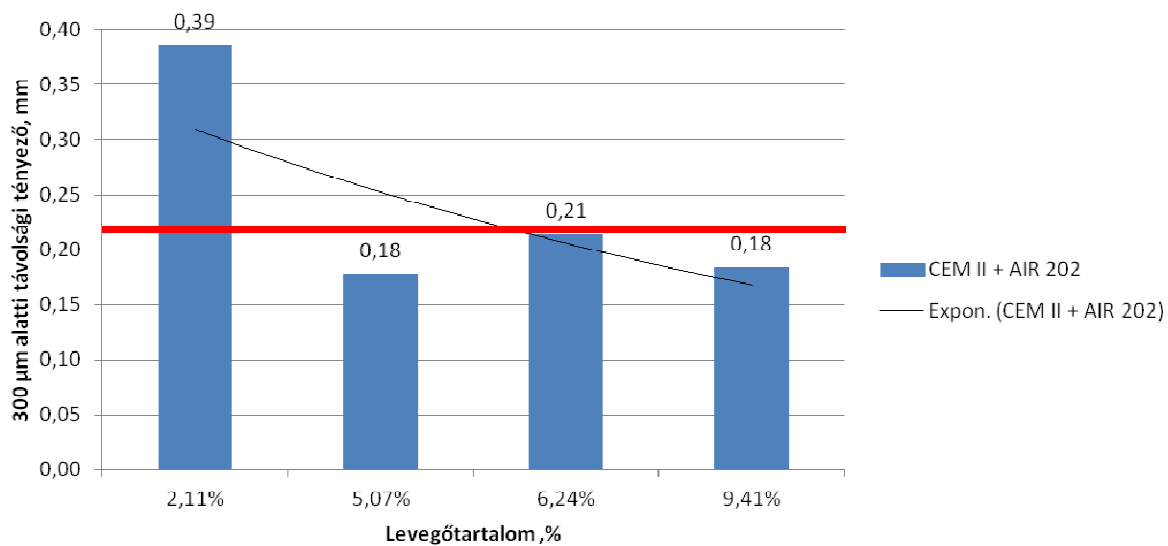
**4/1 ábra 300 µm alatti távolsági tényező,
CEM I + AIR 202**



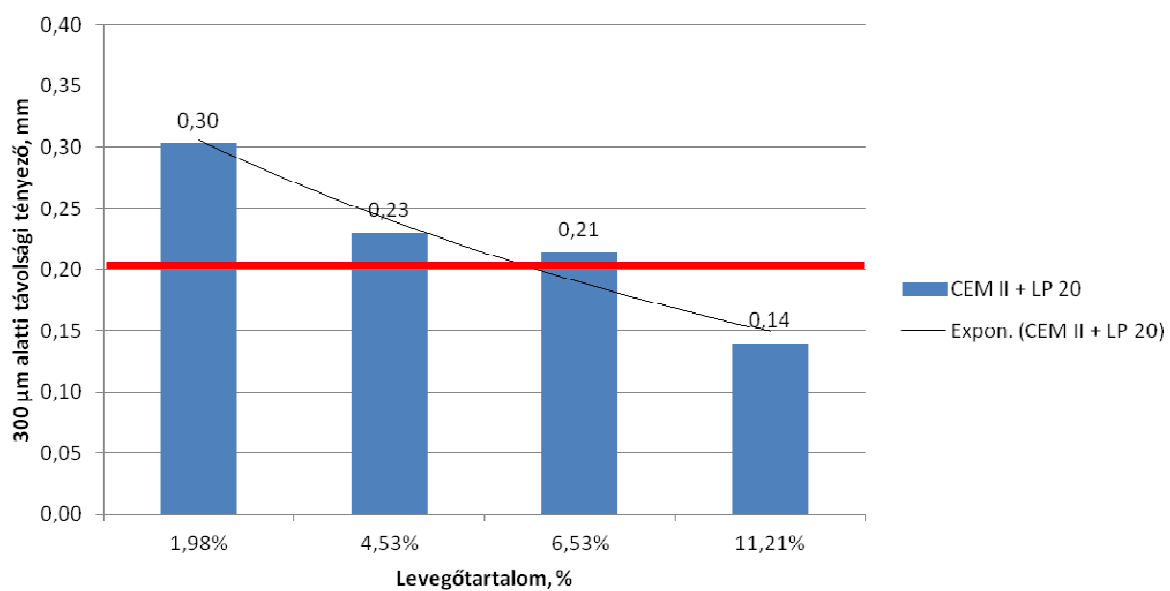
4/2 ábra 300 µm alatti távolsági tényező, CEM I + LP 20



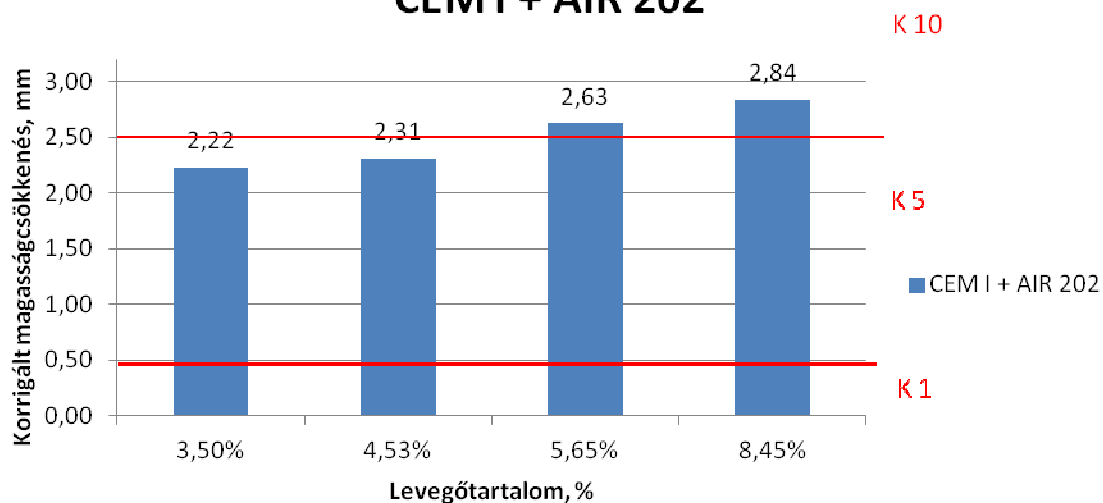
**4/3 ábra 300 µm alatti távolsági tényező,
CEM II + AIR 202**



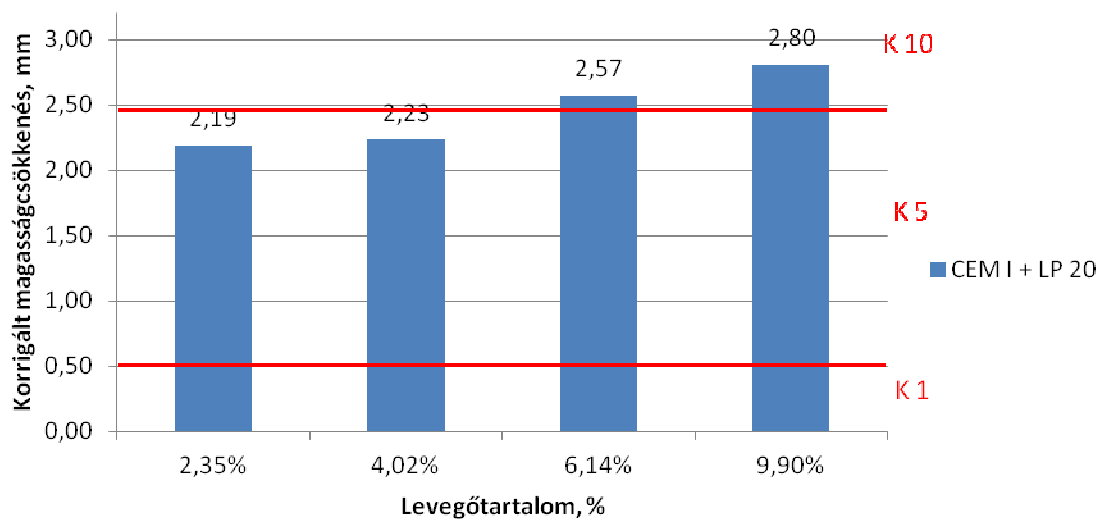
4/4 ábra 300 µm alatti távolsági tényező, CEM II + LP 20



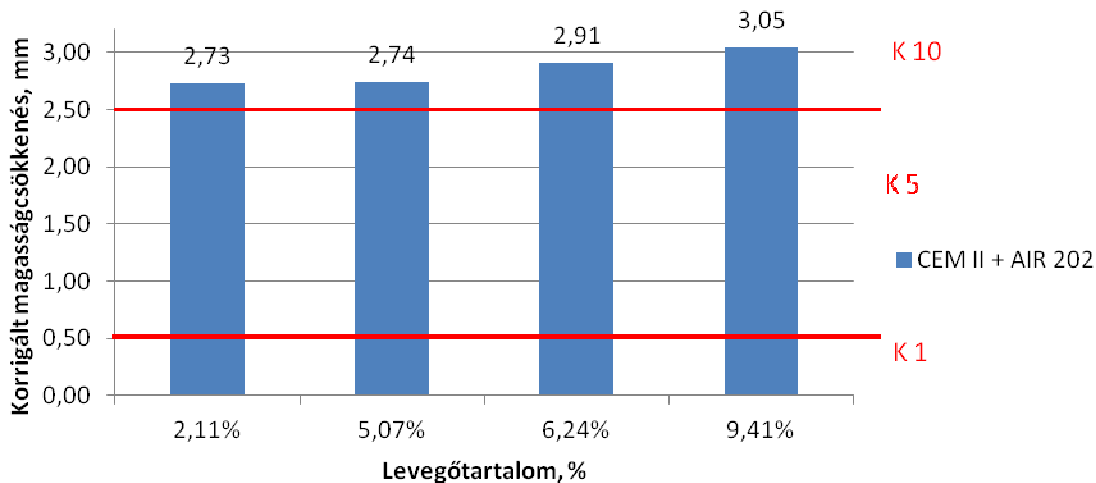
**5/1 ábra Magasságcsökkenés,
CEM I + AIR 202**



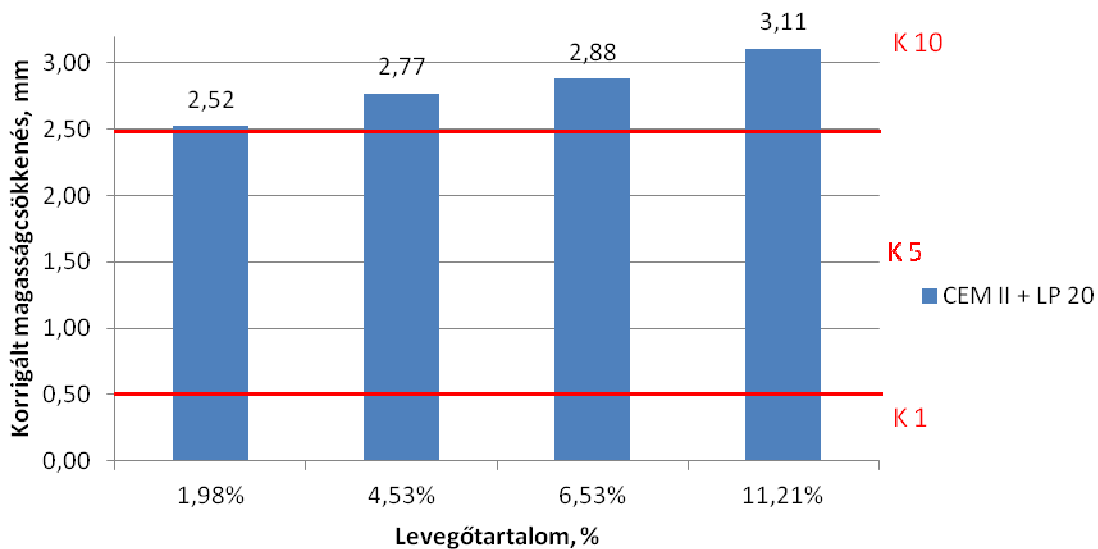
5/2 ábra Magasságcsökkenés, CEM I + LP 20



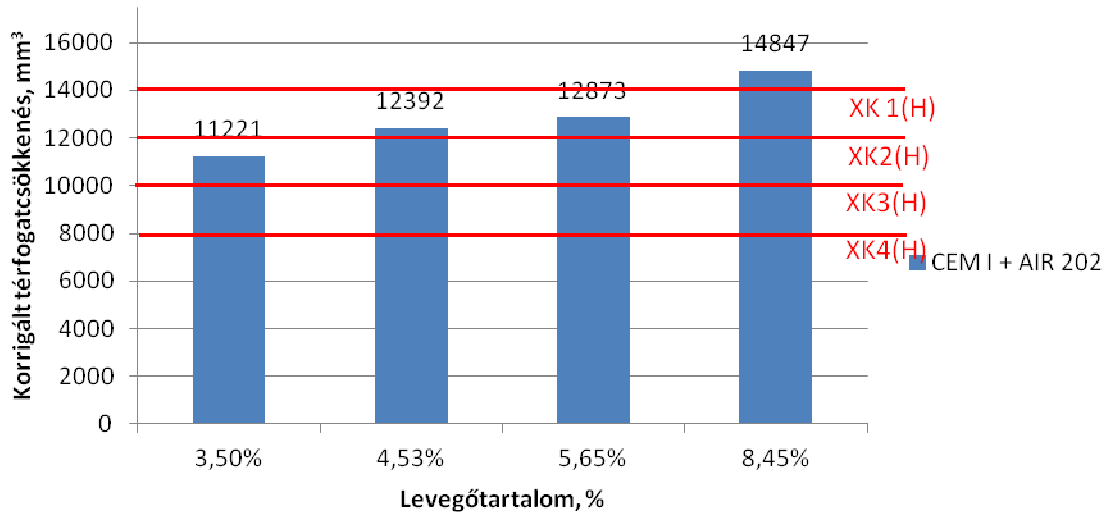
**5/3 ábra Magasságcsökkenés,
CEM II + AIR 202**



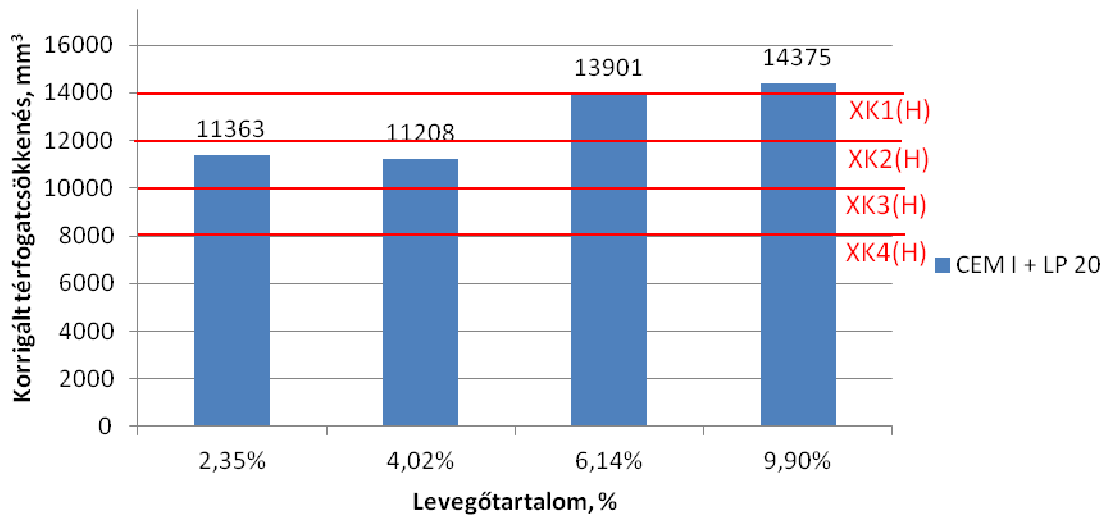
5/4 ábra Magasságcsökkenés, CEM II + LP 20



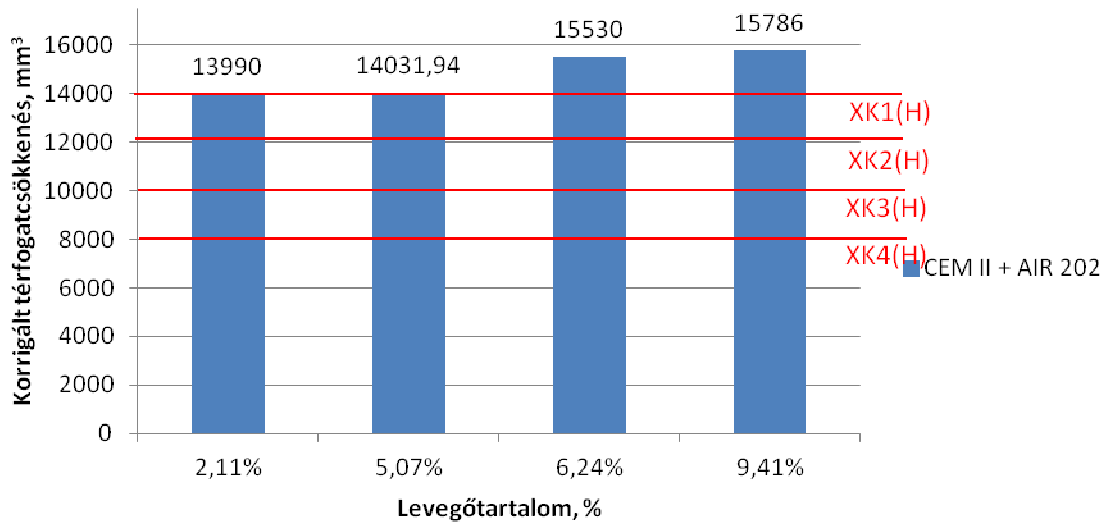
5/5 ábra Térfogatcsökkenés, CEM I + AIR 202



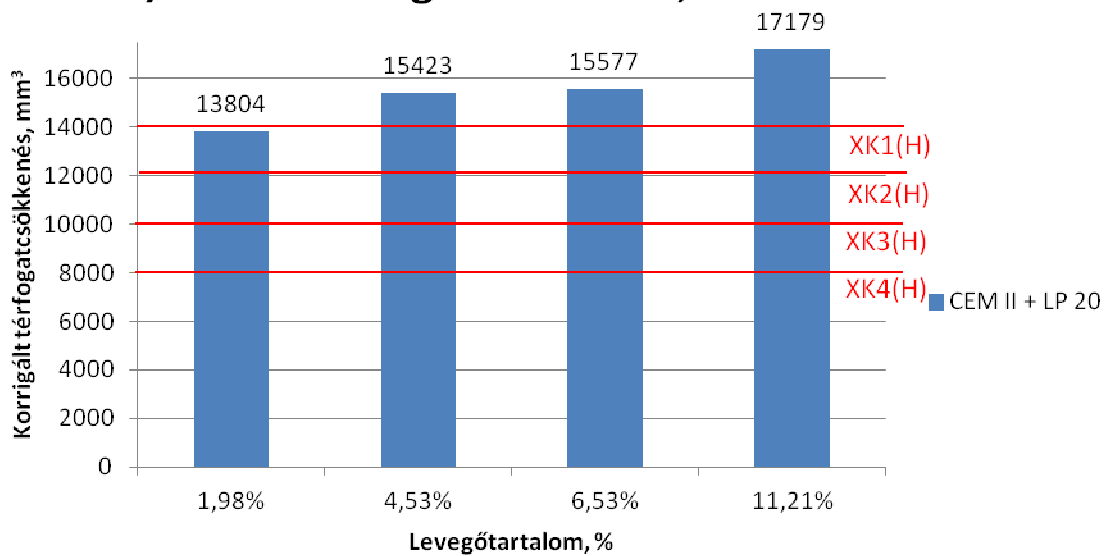
5/6 ábra Térfogatcsökkenés, CEM I + LP 20



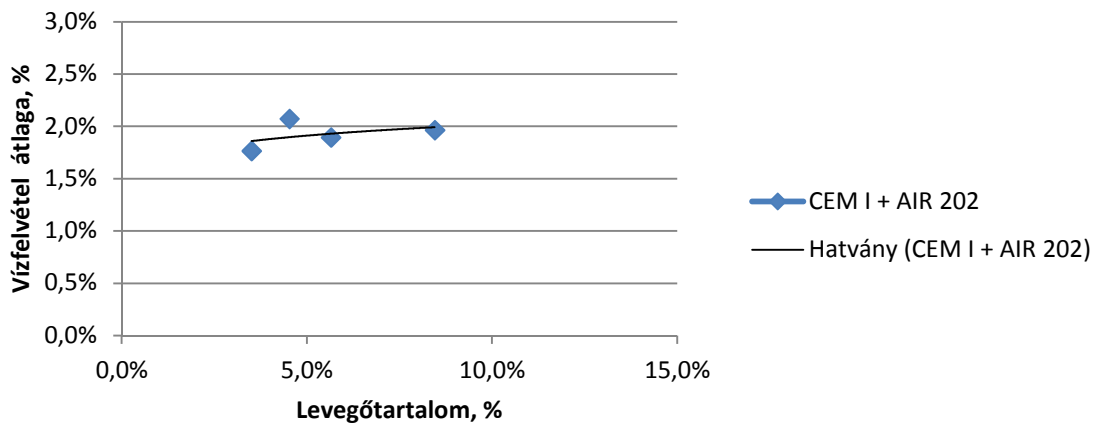
5/7 ábra Tértfogatcsökkenés, CEM II + AIR 202



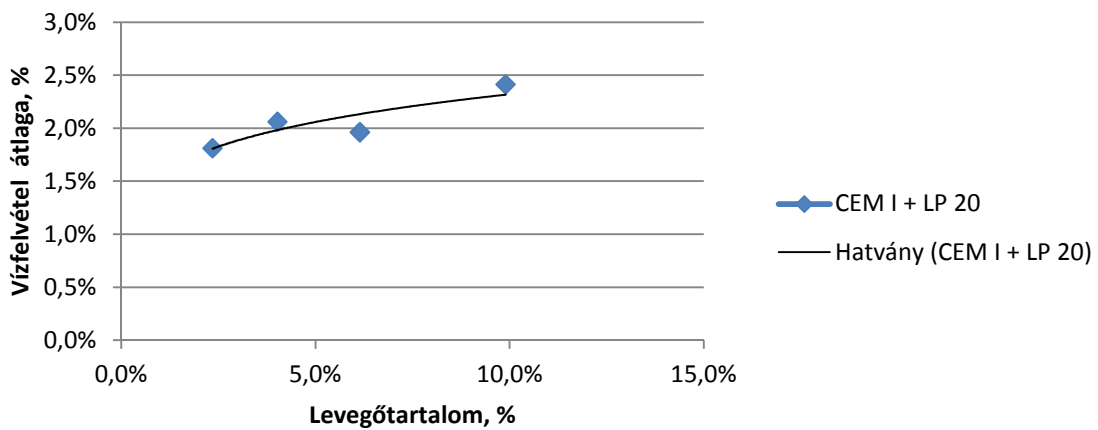
5/8 ábra Tértfogatcsökkenés, CEM II + LP 20



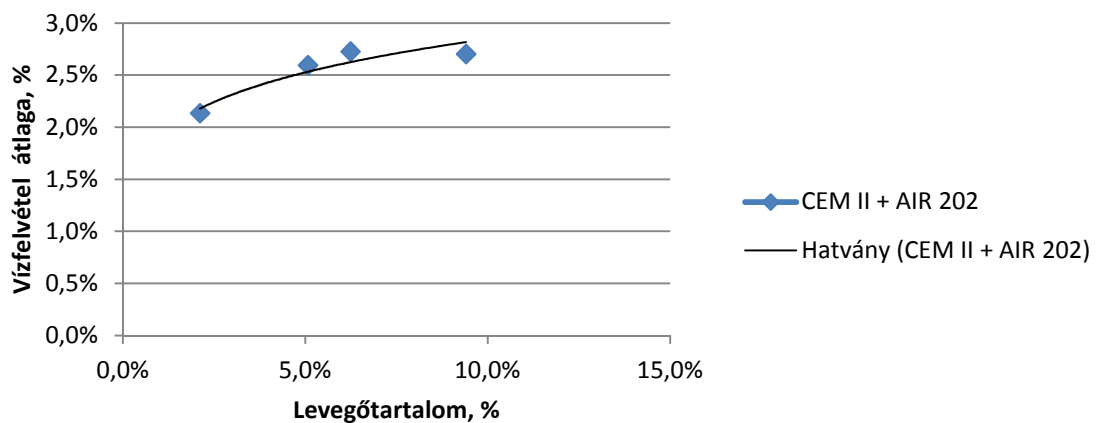
6/1 ábra Vízfelvétel CEM I + AIR 202



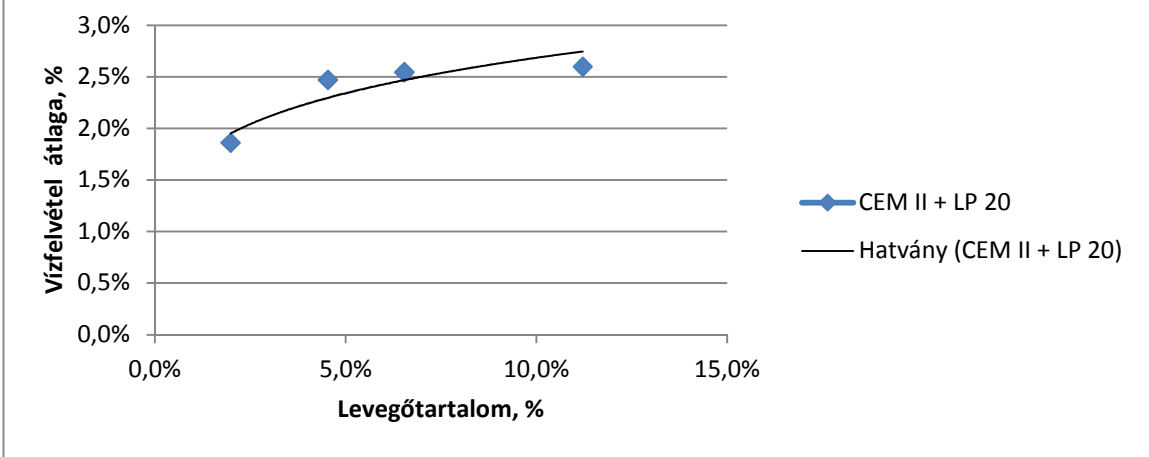
6/2 ábra Vízfelvétel CEM I + LP 20



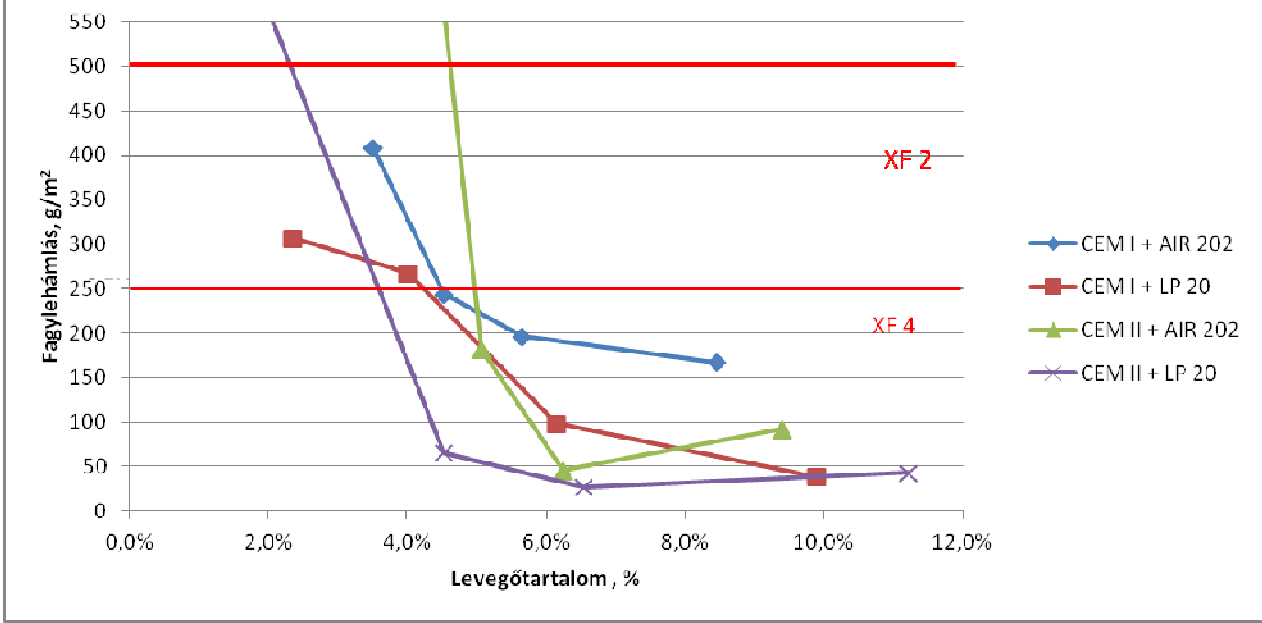
6/3 ábra Vízfelvétel CEM II + AIR 202



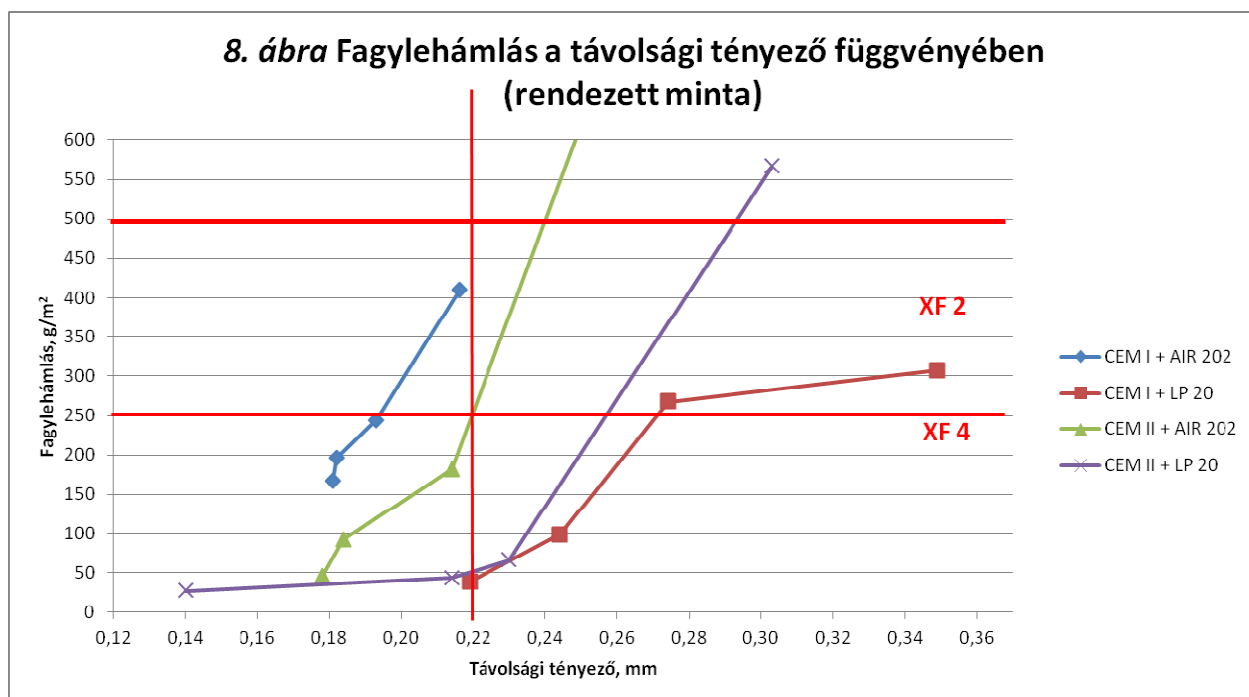
6/4 ábra Vízfelvétel CEM II + LP 20



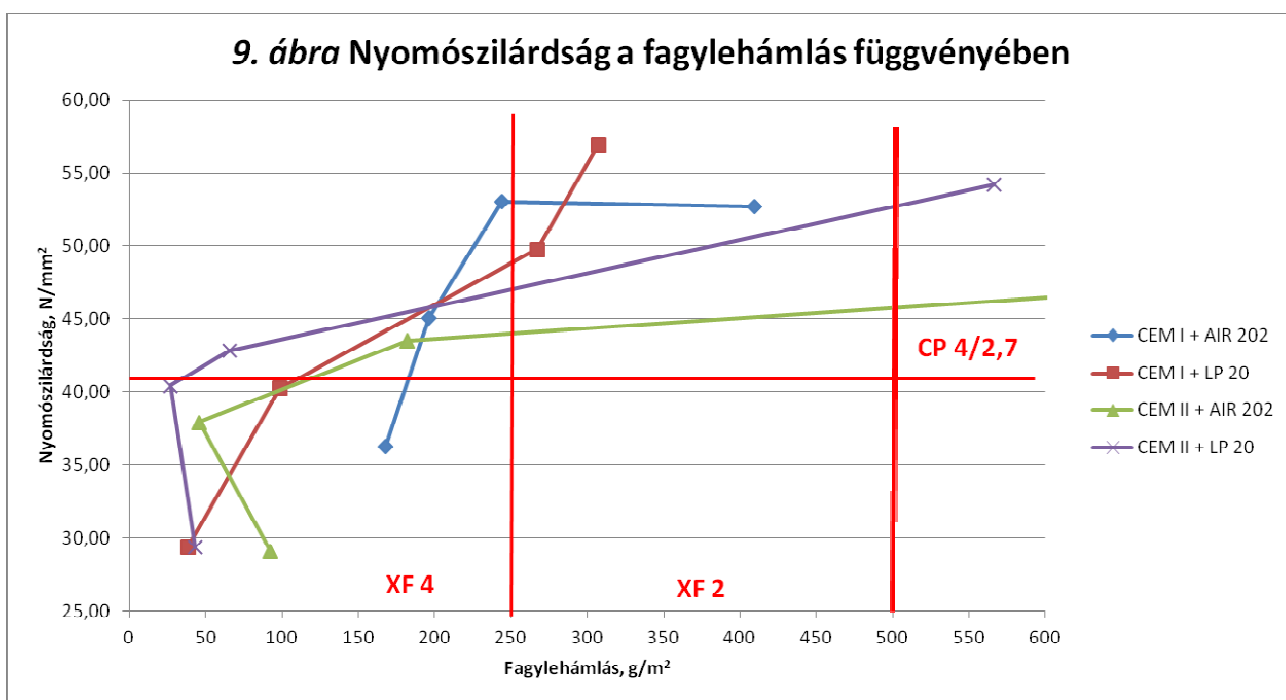
7. ábra Fagylehámítás levegőtartalom függvényében (rendezett minta)



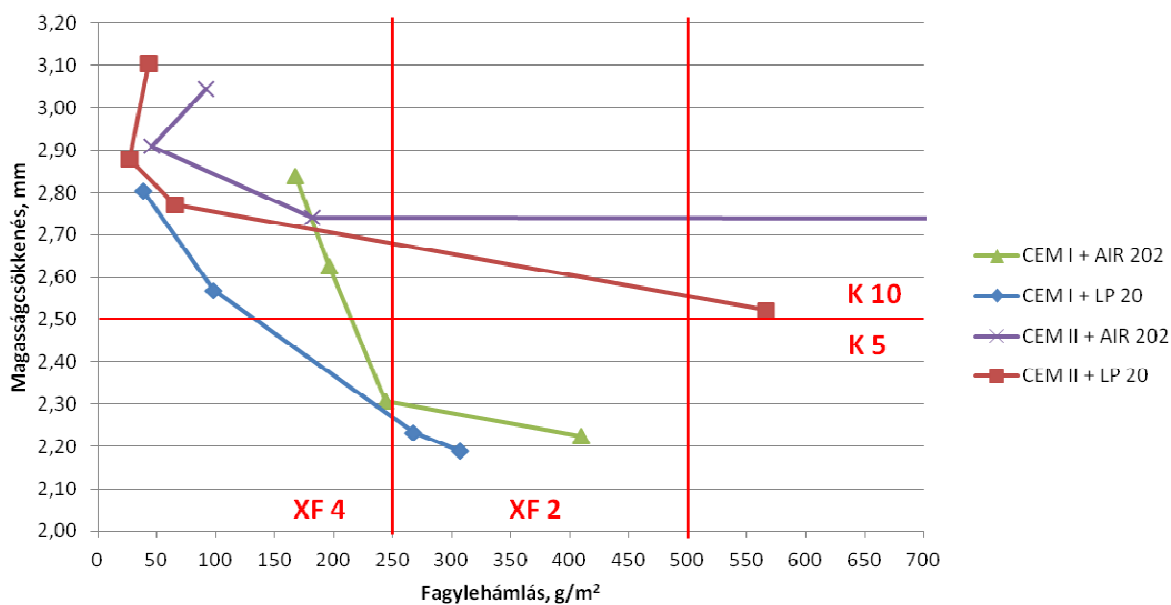
8. ábra Fagylehámítás a távolsági tényező függvényében
(rendezett minta)



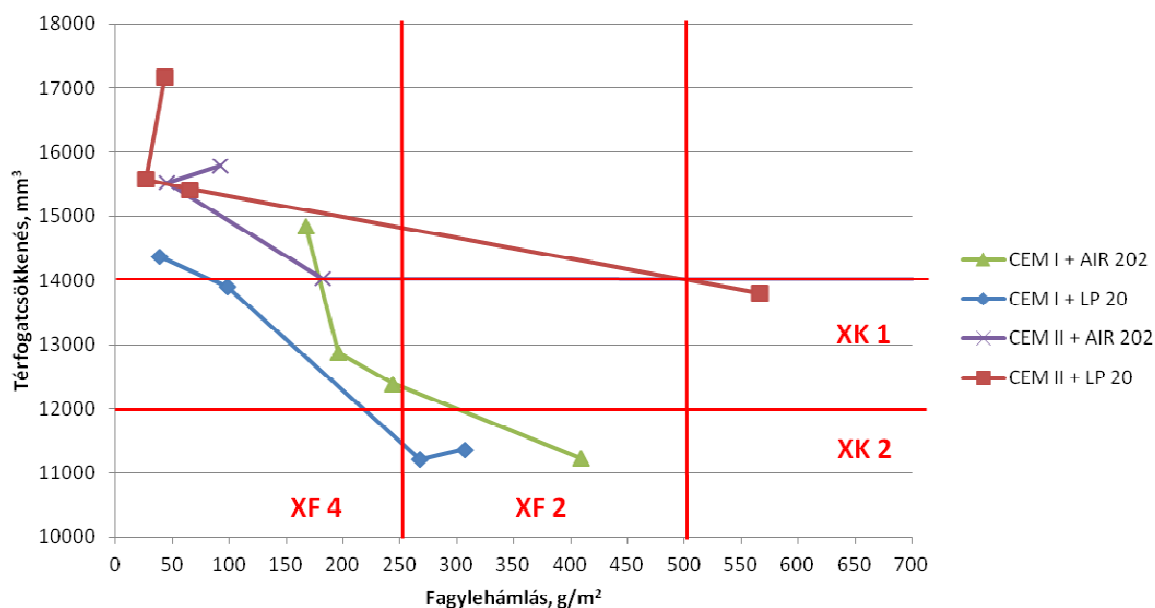
9. ábra Nyomószilárdság a fagylehámítás függvényében



**10/1 ábra Kopásállóság a fagylehámítás függvényében
MSZ 4715/4-87**



**10/2 ábra Kopásállóság a fagylehámítás függvényében
MSZ 4798**



1. sz. Melléklet: Keverék tervezés

(a próbatest gyártáshoz használt tényleges keverékek)

CEM I 42,5 N jelű cement és MC Centrament Air 202 esetében:

CEM I	340		14:18	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	14:29	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,555	
11/32	64,0%		23,716	
Pf 2743	0,8%		19,161	
Air 202	0,1%		2395	
			terület:	35-36cm
			levegő:	3,4%

CEM I	340		15:00	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	15:12	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,562	
11/32	64,0%		24,238	
Pf 2743	1,0%		19,676	
Air 202	0,0%		2460	
			terület:	37-38cm
			levegő:	1,5%
ráadagolás			15:30	+0,06% Air
			4,569	
			23,514	
			18,945	
			2368	
			terület:	-
			levegő:	4,3%

CEM I	340		15:03	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	15:16	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,560	
11/32	64,0%		23,307	
Pf 2743	0,6%		18,747	
Air 202	0,2%		2343	
			terület:	32-34cm
			levegő:	5,3%

CEM I	340		16:05	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	16:17	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,563	
11/32	64,0%		23,322	
Pf 2743	0,8%		18,759	
Air 202	0,2%		2345	
			terület:	-
			levegő:	4,9%
			16:30	+0,2% Air
			4,566	
			22,744	
			18,178	
			2272	
			terület:	39-41cm
			levegő:	7,5%

CEM I 42,5 N jelű cement és MC Centrament Air LP 20 esetében:

CEM I	340		13:58	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	14:09	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,555	
11/32	64,0%		23,933	
Pf 2743	1,0%		19,378	
LP 20	0,2%		2422	
			terület:	35-37cm
			levegő:	2,6%

CEM I	340		14:46	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	14:58	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,560	
11/32	64,0%		23,606	
Pf 2743	1,0%		19,046	
LP 20	0,4%		2381	
			terület:	39-43cm
			levegő:	3,9%

CEM I	340		14:07	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	14:18	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,564	
11/32	64,0%		23,189	
Pf 2743	1,0%		18,625	
LP 20	0,7%		2328	
			terület:	35-36cm
			levegő:	5,9%

CEM I	340		13:25	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	13:35	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,558	
11/32	64,0%		23,307	
Pf 2743	1,0%		18,749	
LP 20	0,6%		2344	
			terület:	-
			levegő:	5,3%
			13:45	+0,025% LP
			4,568	
			22,448	
			17,880	
			2235	
			terület:	38-39cm
			levegő:	8,8%

CEM II/A-S 42,5 N jelű cement és MC Centrament Air 202 esetében:

CEM II	340		11:05	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	11:16	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,561	
11/32	64,0%		23,998	
Pf 2743	0,8%		19,437	
Air 202	0,032%		2430	
			terület:	35-37cm
			levegő:	1,8%

CEM II	340		9:03	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	9:15	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,550	
11/32	64,0%		23,412	
Pf 2743	0,6%		18,862	
Air 202	0,2%		2358	
			terület:	35-36cm
			levegő:	4,1%

CEM II	340		9:45	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	9:56	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,553	
11/32	64,0%		23,171	
Pf 2743	0,8%		18,618	
Air 202	0,4%		2327	
			terület:	40-43cm
			levegő:	5,3%

CEM II	340		9:21	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	9:34	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,553	
11/32	64,0%		23,556	
Pf 2743	0,8%		19,003	
Air 202	0,1%		2375	
			terület:	-
			levegő:	3,7%
			9:45	+0,3% Air
			4,556	
			22,545	
			17,989	
			2249	
			terület:	34-35cm
			levegő:	8,3%

CEM II/A-S 42,5 N jelű cement és MC Centrament Air LP 20 esetében:

CEM II	340		8.59	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	9:13	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,553	
11/32	64,0%		24,003	
Pf 2743	1,0%		19,450	
LP 20	0,2%		2431	
			terület:	40-42cm
			levegő:	2,2%

CEM II	340		9:26	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	9:40	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,558	
11/32	64,0%		23,502	
Pf 2743	1,0%		18,944	
LP 20	0,5%		2368	
			terület:	44-45cm
			levegő:	4,0%

CEM II	340		9:43	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	9:54	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,562	
11/32	64,0%		23,872	
Pf 2743	1,0%		19,310	
LP 20	0,4%		2414	
			terület:	-
			levegő:	2,4%
			10:03	+0,2% LP
			4,570	
			23,117	
			18,547	
			2318	
			terület:	41-43cm
			levegő:	5,6%

CEM II	340		10:23	nedv.
		+ 1m%		
VÍZ	150	ZK	10:34	cem+víz
0/4	29,0%			
4/8	7,0%		4,560	
11/32	64,0%		23,552	
Pf 2743	1,0%		18,992	
LP 20	0,7%		2374	
			terület:	-
			levegő:	4,6%
			10:50	+0,2% LP
			4,569	
			22,188	
			17,619	
			2202	
			terület:	43-44cm
			levegő:	10,6%