

Újrahasznosított pórusbeton adalékanyagú **könnyűbeton**



Szerző:

Jankus Bence, Építészmérnöki Kar, III. évfolyam

Konzulensek:

Dr. Fenyvesi Olivér, tanársegéd

Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Dr. Józsa Zsuzsanna, egyetemi docens

Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Budapest, 2012.október 29.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés.....	3
2. Történeti áttekintés.....	4
3. A könnyűbetonról általában.....	5
4. A pórusbeton adalékanyag jellemzése.....	8
4.1. A pórusbeton készítése.....	8
4.2. A pórusbeton falazóelemek fizikai tulajdonságai.....	9
4.3. A zúzott pórusbeton adalékanyag.....	9
4.4. Újrahasznosított, zúzott pórusbeton adalékanyagra vonatkozó szakirodalmi összefoglalás.....	10
5. Laboratóriumi vizsgálatok.....	12
5.1. Az adalékanyag vizsgálata.....	12
5.1.1. Nedvességtartalom és vízfelvétel.....	12
5.1.2. Szemmegoszlás.....	13
5.1.3. Szemcse-testsűrűség és vízfelvétel.....	14
5.1.4. Halmazsűrűség.....	15
5.2. A beton keverése.....	16
5.2.1. Az összetétel tervezése.....	16
5.2.2. Konzisztencia.....	17
5.2.3. Könnyűbeton próbakeverése.....	18
5.2.4. Könnyűbeton keverékek készítése.....	19
5.2.5. Tárolás.....	21
5.3. Vizsgálatok beton próbatesteken.....	22
5.3.1. Szilárdsági vizsgálatok.....	22
5.3.2. Víz zárósági vizsgálatok.....	23
5.3.3. Hővezetési vizsgálatok.....	24
6. Vizsgálatok kiértékelése.....	26
7. Összefoglalás, következtetések.....	28
Köszönetnyilvánítás.....	30
Irodalomjegyzék.....	31
Mellékletek.....	32

1. Bevezetés

Napjainkban még mindig megoldatlan kérdés az építőipari hulladékok kezelése. Egyre szigorúbb előírások és irányelvek korlátozzák az Európai Unió keretein belül a hulladékgazdálkodást, amelyek természetesen kiterjednek az építési és bontási munkálatok során keletkező hulladékokra is. Az EU által kiadott 2008/89 EK irányelv 2020-ra 70%-os hasznosítási arány elérését tűzte ki célul. A Földművelésügyi- és Vidékfejlesztési Minisztérium (FVM) új törvényjavaslatot terjesztett a parlament elé, amelyet a 2010 évi tavaszi ülésszak első törvényei között fogadtak el, és 2012. január 1-én lépett hatályba. A Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium (KvVM) már 2014-re kitűzte az Unió által követelt minimum szint elérését. 2008-as adatok szerint évente 5 millió tonna építési hulladék keletkezik Magyarországon, melynek mindössze 46%-a kerül újrahasznosításra, az erre az időszakra már 50%-ot követelő előírások helyett - nyilatkozta Kling István, a KvVM államtitkára. Becslései szerint környezetvédelmi felügyelőségek eddig körülbelül 300 engedélyt adtak ki országosan a vállalatoknak az építési-bontási hulladék hasznosítására. „A hulladékhasznosító iparág segítségével másodlagos nyersanyagok jelennek meg, amelyeket az építőipar hasznosítani tud, ez egyben tompítja a hulladék-elhelyezési gondokat” - tette hozzá.¹ Az FVM 2011-ben konferenciát szervezett „A sitt nem sikk” mottóval, melyen meghívott német előadók mutatták be a németországi felhasználási és szabályozási gyakorlatot, valamint László Tibor Zoltán minisztériumi tanácsos (FVM) ismertette a törvény alapján a legjelentősebb változásokat. Az építési hulladékokkal kapcsolatban a lerakási tilalom, a szelektív bontás bevezetése, egyszerűsített anyagminősítő eljárások kidolgozása, a fenntartható fejlődés érdekében a zöld közbeszerzés preferálása az építőiparban és az adatszolgáltatás területén szükséges módosítási igények voltak az leglényegesebb újdonságok.²

A fentebb leírtakat figyelembe véve tisztán látszik, hogy rövid időn belül milyen jelentős változásoknak kell végbemenniük az építőipari hulladékok felhasználásának terén, így minél előbb érdemes lehetséges opciókat, válaszokat kidolgozni a felmerülő kérdésekre. Ez volt témaválasztásom fő oka, az újrahasznosított hulladék tartalmú betonok felkeltették a figyelmemet.

A kutatás kezdetekor széles körben kezdtem ismerkedni a lehetséges újrahasznosítható adalékanyagokkal, majd egyre szűkítettem a kört. Eleinte foglalkoztatott a feltört szerkezeti beton, az üvegtörmelék, a hőszigetelő anyagok, illetve a falazóelemek újrahasznosítása is. Hosszas irodalomkutatás után végül arra jutottam, hogy a falazóelemek újrahasznosításával kevés kutatás foglalkozik, ezért indokoltnak tartom témaválasztásomat.

Az építési gyakorlatban az új épületek jelentős hányadát a lakóépületek teszik ki, amelyekbe legnagyobb térfogatban falazóelemek kerülnek beépítésre – ám mi lesz, ha ezek az épületek bontásra kerülnek? Mi történik a hatalmas mennyiségben keletkező falazati hulladékkal?

Kutatásom elsődleges célja egy pórusbeton falazóelem törmelék újrahasznosításával készülő, minél optimálisabb gazdaságossági és műszaki paraméterekkel rendelkező könnyű szerkezeti beton kifejlesztése, és tulajdonságainak vizsgálata laboratóriumban.

2. Történeti áttekintés

A könnyűbeton már az ókori Rómában is ismert anyag volt a szerkezetépítés terén. Kötőanyaga az ún. római cement (alumínium és szilícium tartalmú, finomra őrölt vulkáni kőzetek keveréke), adalékanyaga könnyű vulkáni tufa, illetve cserép és egyéb kerámiák törmeléke volt. Legjelentősebb, kifinomult mérnöki gondolkodásról és széleskörű technológiai ismeretekről tanúbizonyságot tévő példája a római Pantheon kupolája. Másik, már méreteiben is figyelemfelkeltő felhasználási helye volt a Colosseum tartószerkezete. A legelső írásos emlék, amiben a könnyűbetont említik, Marcus Vitruvius Pollio I. sz. 27-ben írt „De architectura libri decem” (Tíz könyv az építészetéről) című munkájában fellelhető. „Van pedig egy porfajta, amely természeténél fogva csodálatos dolgokat visz végbe. Baiae környékén keletkezik, azoknak a városoknak a területén, amelyek a Vezúv hegye körül fekszenek. Ha ezt mésszel és tört kővel keverik, nem csak a különféle épületeknek nyújt szilárdságot, hanem ha a tengerben építenek gátakat, s ezek a víz alatt szilárdulnak meg. Ez pedig attól lehet így, hogy e hegyek alatt izzó földek és sűrű források vannak, amelyek nem sarjadhatnak, ha a mélyben nem lennének igen nagy, akár timsótól, akár szuroktól égő tüzek. Tehát a belső tűz és a láng gőze a föld ereiben megmaradva és izzva, azt a földet könnyűvé teszi, és ott, ahol kibukkanva található, nem tartalmaz nedvességet. Tehát amikor három, a tűz heve által hasonló módon kialakított dolog egy keverékben egyesül, hirtelen vizet véve fel, összeállnak és nedvességtől gyorsan megkeményítve megszilárdulnak és sem a hullámok, sem a víz ereje nem képesek megbontani őket.”³ Vitruvius emellett pontosan leírja a korban használatos falazóelemek gyártási módjait, méreteiket és beépítési technológiájukat, illetve a habarcsokhoz és betonokhoz szükséges homok-, mész- és adalékanyag-típusok lelőhelyeit, bányászati módjait, és a belőlük előállítható keverékek adagolási arányait.

Egészen a XIX. század elejéig nem tudott nagy léptékben elterjedni a beton, mint szerkezeti anyag, mivel nem volt még megfelelő kötőanyag az elfogadható szilárdságú keverék előállítására. Természetesen voltak példák beton-jellegű szerkezetekre, például a Lyon környéki La Bresse-ben egész a kora középkorból (a hanyatló Római Birodalom idejéből) származó hagyományok szerint építkeztek egészen a XIX. század végéig. „A pince és az alapozás felhalmozott földanyagára, mint alsó zsaluzatra két rész hidraulikus mészből és egy rész homokból álló, kevés vízzel kevert sűrű habarcsot terítettek el, a megkívánt boltozat formájában, majd ehhez hasonló, de kötőmelékes adalékanyagú oldalfalakat készítettek, deszkazsaluzaton... Eme Építményt egy-két évig föld alatt szilárdulni hagyták; kitarakás után kész volt a szilárd, monolit falazatú épület.”⁴

Hosszú, a hidraulikus pótlékokkal és egyéb természetes cementekkel végzett kísérletek után (Pl.: Parker – Román cement; Fuchs – hidraulikus mész, márga; Keen – kálitimsó és gipsz; Perian – bórax és bórkő...) 1824-ben Joseph Aspdin, angol kőműves szabadalmaztatta az egységesen finomra őrölt portlandcementet, melyet a Portlandnál fejtett építési kőhöz való hasonlósága miatt nevezett el így. Ez volt az az anyag, amely igen hamar egységes minőségű és tulajdonságú anyaggá vált, és olyannyira sikeres lett, hogy idővel a cement „szinonimájává” vált. Am még ezek után is sok időnek kellett eltelnie, míg a mérnöki társadalom nem vonakodott a beton használatától („csak habarcsból való építkezés”), annak károsodási veszélyeitől tartva (alacsony szilárdság, kifagyás, nyírési igénybevételekkel szembeni gyenge ellenállás).⁴

A könnyűbetonnal modern körülmények között Vass József, aradi születésű magyar mérnök foglalkozott. 1916-ban adott ki szabadalmat könnyűbeton előállítási módszerére, mely az egész világon elterjedt és a továbbiakban a könnyűbeton-készítési eljárások alapjává vált. (Nevéhez fűződik még továbbá az 1908-as szabadalmú „beton gun”, más néven „torkret”

eljárás, mellyel különlegesen tömör, nagy szilárdságú betonok készíthetők. Ezen szabadalmat fejlesztve találta fel a „centribeton” eljárást, mellyel üreges forgási testek készíthetők.)

Könnnyűbetonnal hazánkban még több szakaember is foglalkozott: Sobó J.⁵; Mihailics Gy.⁶; Haviár Gy.⁶; Balázs Gy.⁷; Ujhelyi J.⁸; Rudnai Gy.⁹

3. A könnyűbetonról általában

Könnnyűbetonnak a 2000 kg/m³-nél kisebb testsűrűségű betonokat nevezzük. A könnyűbetonok többféle szempont szerint csoportosíthatók:

- Testsűrűségük és funkciójuk függvényében 3 kategóriába sorolhatjuk őket:
 - $\rho < 600 \text{ kg/m}^3$ – Hőszigetelő könnyűbeton
 - $600 \text{ kg/m}^3 < \rho < 1600 \text{ kg/m}^3$ – Hőszigetelő és teherbíró könnyűbeton
 - $\rho > 1600 \text{ kg/m}^3$ – Teherbíró könnyűbeton
- Belső szerkezetük szerint megkülönböztethetünk:
 - Egyszemcsés (szemcsehézagos) könnyűbetont
 - Adalékanyagos könnyűbetont
 - Sejtesített- vagy pórusbetont

Kutatásomban az adalékanyagos könnyűbetonokkal foglalkoztam, így a továbbiakban közölt adatok erre a betontípusra vonatkoznak.

- MSZ EN 4798-1 szabvány szerinti testsűrűség besorolás [kg/m³]:
 - D1,0 $800 < \rho_{LC} < 1000$
 - D1,2 $1000 < \rho_{LC} < 1200$
 - D1,4 $1200 < \rho_{LC} < 1400$
 - D1,6 $1400 < \rho_{LC} < 1600$
 - D1,8 $1600 < \rho_{LC} < 1800$
 - D2,0 $1800 < \rho_{LC} < 2000$
- Felhasznált adalékanyagaik alapján:
 - Hulladékból előállított adalékanyagok:
 - **Duzzasztott üvegekavics (=habüveg)** (3.1. ábra) – Az üveghulladékot megfelelő szemcseméretűre őrölik, az alapanyag összetételétől függően különböző mennyiségű gázképző hulladékkal homogenizálják. A granulálás olvadáspont-csökkentő és viszkozitás-beállító adalékok használatával történik. A granulátumok külső felületén olyan felületet alakítanak ki, amely azok vízáteresztő képességét szabályozza. Szárítás után az anyagot forgókemencében hőkezelik. Az így kapott habüveg granulátumok kis testsűrűségűek, 2–25 mm átmérőjűek, jó hőszigetelő képességűek, jól tapadnak az ágyazó anyagként használt gipszhez, cementhez vagy szilikátgyantához.¹⁰



3.1. ábra - Duzzasztott üvegekavics

- **Téglazúzalék** (3.2. ábra) – Elsőként a római korban jelent meg (lásd: Történelmi áttekintés c. fejezet). A középkor során a reneszánsz építőmesterek alkalmazták por finomságúra zúzott és őrölt kerámiákat a habarcsok szilárdságának növelésére. Modern körülmények között elsőként a II. Világháború utáni Németországban jelent meg újra, ahol a nagymértékű romosodásból származó anyagot tisztítás, esetleg utánégetés után alkalmazták adalékanyagként. Az anyag minőségét az határozza meg, hogy milyen volt a téglából, amiből származik. Mivel a törmelékhalmoz általában igencsak változó minőségű (ez alól kivételt képez a szelektív bontás során osztályozott törmelék), a belőle készített betonnal is csak nehezen érhető el egyenletes minőség. Hazánkban nem elterjedt adalékanyag, helyi használta vehető csak figyelembe (téglagyárak, falazóelem üzemek- és raktárak környékén).¹¹



3.2. ábra - Téglahulladék

- Egyéb, manapság a gyakorlatban hazánkban már könnyű adalékanyagként nem hasznosított anyagok:
 - Kazánsalak
 - Granulált kohósalak
 - Pernyekavics (=porszénhamukavics)

Ezen adalékanyagok alapanyaga mind nehézipari kazánok és kohók gyártási melléktermékei, amelyeket a fent említett nehézipari üzemek bezárását követően manapság hazánkban már nem használunk. Léteznek ugyan depóniák, amelyekből kitermelhető lenne az alapanyag.

- Természetes alapanyagból előállított, nem hulladék adalékanyagok:
 - Vulkáni tufaőrlemény
 - Lávasalak

Magyarországon nem jellemző adalékanyag típusok a kis mennyiségű megfelelő minőséggel rendelkező vulkáni kőzet és a költséges feldolgozási eljárások miatt. Tufát Bodrogkeresztúron termeltek ki korábban erre a célra.

- Vermikulit

Természetes eredetű szilikát ásvány. Magyarországi kitermelés hiánya miatt nem alkalmazzuk.

- Duzzasztott agyagkavics

Duzzadó agyagfajtákból égetéssel előállított adalékanyag fajta. Hazánkban külföldről behozott import terméként forgalmazzák, annak ellenére, hogy korábban létezett hazai előállítású duzzasztott agyagkavics is. Jelenleg világszerte ezzel az adalékanyaggal állítják elő a szerkezeti könnyűbetonok legnagyobb részét. Felhasználása jellemző a kertészeti szférában is.

- Egyéb, mesterséges úton előállított adalékanyagok:
 - Műanyaghab

Elsősorban expandált polisztirolhab (EPS) alapanyagú könnyűbetonok készülnek hab adalékanyagból. Fontos, hogy habhulladékból nem készíthető, elsődlegesen e célra előállított polisztirolgyöngyre van szükség a könnyűbeton előállításához. Fontos megjegyezni, hogy a műanyag hab adalékanyaggal készült betonok tartószerkezetként való beépítésre nem alkalmasak.

A lehetséges adalékanyag típusok legfontosabb tulajdonságait az alábbi táblázatban foglaltam össze (3.1. táblázat).

Adalékanyag típusa	Forrás	Előállítás
Habüveg	Hulladék	Őrlés, granulálás, égetés
Téglazúzalék	Hulladék	Utánégetés, zúzás
Kazánszalak	Hulladék	Granulálás
Granulált kohósalak	Hulladék	Granulálás, égetés
Pernyekavics	Hulladék	Granulálás, égetés
Vulkáni tufaőrlemény	Bányászott	Őrlés, granulálás
Lávasalak	Bányászott	Őrlés, granulálás
Vermikulit	Bányászott	Duzzasztás, égetés
Duzzasztott agyagkavics	Bányászott	Duzzasztás, égetés

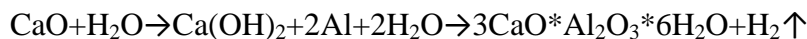
3.1. táblázat – Könnyűbeton adalékanyagok tulajdonságai

Jelen kutatásban az egyszerre hőszigetelő és teherbíró tulajdonsággal is rendelkező, zúzott pórusbeton adalékanyagú könnyűbetonnal foglalkoztam.

4. A pórusbeton adalékanyag jellemzése

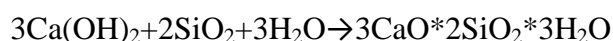
4.1. A pórusbeton készítése

Az pórusbeton annyiban különbözik, a mészhomok téglától, hogy a mész, a homok és a víz mellett alumínium pasztát is adagolnak a keverékhez. Így az alábbi kémiai reakciónak köszönhetően a keverés közben az anyag „megkel”, belőle hidrogén gáz lép ki. A fejlődő hidrogén gáz hozza létre az anyagban a pórusokat, buborékokat.

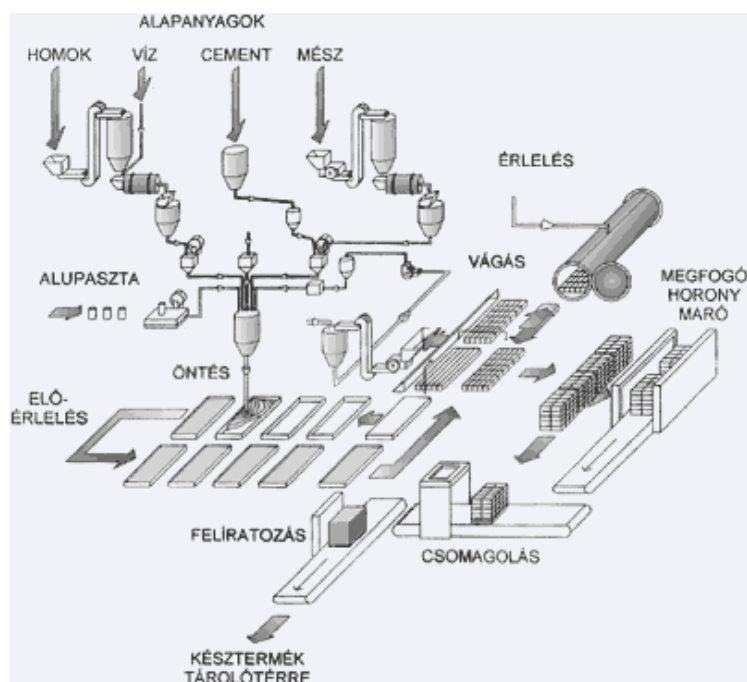


A keletkező vegyület, a „kalcium-aluminát-hidrát”.

A keveréket autoklávban nyomás alatt gőzérleléssel szilárdítják. (4.1. ábra)



Az így keletkező kalcium-szilikát-hidrát és a kalcium-aluminát-hidrát felelős a pórusbeton szilárdságáért.

4.1. ábra - Pórusbeton gyártása¹²

4.2. A pórusbeton falazóelemek fizikai tulajdonságai

- Testsűrűség: 400 és 600 kg/m³
- Nyomószilárdság: 2-4 N/mm²
- Hővezetési tényező: 0,092-0,134 W/mK
- Hőtágulási együttható: 8*10⁻⁶ 1/K
- Tűzállóság: A1 (Éghető anyagot nem tartalmazó, nem éghető) tűzállósági osztály

4.3. A zúzott pórusbeton adalékanyag

A pórusbeton falazóelemek kis testsűrűséggel és nagy porozitással, ennél fogva kedvező, alacsony hővezetési tényezővel rendelkeznek. További előnyük, hogy éghető anyagot nem tartalmaznak, sőt tűz esetén nem hogy veszítenének szilárdságukból, de még fel is keményednek (a ridegedés és törés veszélye nélkül). Hátrányuk a kis nyomószilárdság.

A betonok térfogatának jelentős részét az adalékanyag tölti ki, így ennek a szemcse-testsűrűségétől függ nagy részben a belőle készített betonkeverék testsűrűsége. Ezért fontos, hogy a zúzott pórusbeton adalékanyag testsűrűségét ismerjük, így tudjuk majd elérni a kísérletek során a kívánt testsűrűséget.

Az adalékanyagos könnyűbetonokban – a normál betonnal ellentétben – a cementpép nem csak kötőanyagként van jelen, hanem a teherviselésben is szerepet játszik. Emellett természetesen fontos az adalékanyag önszilárdságának ismerete, az ugyanis befolyásolja a kész könnyűbeton szilárdságát.

A kutatás elsődleges célja a normál szerkezeti betonnál kedvezőbb hőtechnikai tulajdonságú adalékanyagos könnyűbeton kialakítása, így az adalékanyag az átlagos kavicsbetonoknál használt kvarchomoknál és kvarckavicsnál jelentősen jobb hővezetési tényezővel kell, hogy rendelkezzen.

A fent említett tulajdonságok fényében hosszas irodalomkutatás után választottam a pórusbetont adalékanyagként. Céloom, hogy a kísérletek során kihasználva hőszigetelő tulajdonságait és kis testsűrűségét, bedolgozva a kész keverék szerkezeti betonként is alkalmazható legyen (megfelelő szilárdság). (4.2. ábra)



4.2. ábra – Zúzott pórusbeton adalékanyag

4.4. Újrahasznosított, zúzott pórusbeton adalékanyagra vonatkozó szakirodalmi összefoglalás

Eddig kevés kutatás foglalkozott zúzott hulladék pórusbeton adalékanyagossal könnyűbetonnal. Jelen fejezetben az eddig, a témában született néhány kutatás eredményét közlöm.

Topcu és Seridemir¹³ kutatásának célja az volt, hogy bizonyítsák, a pórusbeton adalékanyagossal könnyűbeton előállítható laboratóriumi vizsgálatok nélkül is, pusztán egy modell számításaira hagyatkozva. Az ANN (Artificial Neural Network) modellek az emberi test idegrendszerét kutatva fejlesztették ki, annak egy funkcionális leképezését testesítik meg. Legegyszerűbben egy fekete dobozként képzelhetők el, amely a betáplált adatokat feldolgozva azokból egy meghatározott algoritmus szerinti eredményeket ad ki.

A keverékekben 0-4 mm szemcseméretű tiszta kvarchomokot, 4-16, és 16-31,5 mm szemnagyságú zúzott pórusbetont, illetve kvarckavicsot használt adalékanyagként. A felhasznált cement CEM I 42,5 R típusú volt. A kísérlet során a változó paraméter az adalékanyag mennyisége volt a betonkeverékekben. Finomrészként minden keveréknél kvarchomokot használtak, a durva frakciókat egyik esetben 0%-ban, második esetben 50%-ban, harmadik esetben 100%-ban pórusbeton adalékanyag alkotta. A keverékekből 150 mm átmérőjű, 300 mm magasságú henger próbatesteket készítettek, melyeket 28 napos korban vizsgáltak. A próbatesteket 20 ± 2 °C-on és $95 \pm 5\%$ relatív páratartalmú közegben tárolták. A

vizsgálatok során mérték a minták testsűrűségét, nyomószilárdságát (50%os pórusbeton adalékanyag tartalom esetén $\sim 22-25 \text{ N/mm}^2$; 100%os pórusbeton adalékanyag tartalom esetén $\sim 12-15 \text{ N/mm}^2$), a bennük való ultrahang terjedési sebességét, és rugalmassági modulusát (50%os pórusbeton adalékanyag tartalom esetén $\sim 4-4,75 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$; 100%os pórusbeton adalékanyag tartalom esetén $\sim 3,4-3,8 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$).

Laboratóriumi vizsgálataik során kapott adatok megegyeztek az ANN modell által számított adatokkal, így feltevésüket igazoltnak tekintették.¹³

Sinica és társai¹⁴ a környezettudatosság oldaláról közelítették meg a pórusbeton falazóanyagokból keletkező hulladék kérdését. A kutatás tárgya zúzott pórusbeton adalékanyaggal készített könnyűbeton volt.

A vizsgálatokhoz 2,5-10 mm szemcseméretű zúzott pórusbeton szemcséket használtak adalékanyagként és sikerült előállítaniuk egy 850 kg/m^3 testsűrűségű $4,0 \text{ N/mm}^2$ nyomószilárdságú betonkeveréket. A keverékhez különböző (CEM I 42,5 R és CEM I 52,5 N) típusú tiszta portlandcementeket használtak. A keverékhez légpórusképző, folyósító adalékszert és puccolánosság javítására SiO_2 port adagoltak. A keverékekből készített mintákon nyomószilárdsági, testsűrűségi, nedvességtechnikai és hővezetési vizsgálatokat, végeztek, illetve róluk elektromikroszkópos fotókat készítettek.

Eredményeik szerint egy, hővezetési, páradiffúziós, nedvesség szorpciós és száradási zsugorodási szempontból a pórusbeton falazóelemeket megközelítő tulajdonsággal bíró betonkeveréket állítottak elő. A keverékek nyomószilárdsága 2,3-szorosa lett az adalékanyagként felhasznált termékhez képest. A keverékhez adagolt CA-nak (Complex Additive) köszönhetően javult a cement hidratációja és nőtt a cementpép szilárdsága. A bedolgozott adalékanyag szemcséket egy $50\mu\text{m}$ vastag cementkő burok zárja körbe szoros kötésekkel alakítva ki az egyes szemcsék között.¹⁴

A témában zúzott pórusbeton alkalmazására rendkívül kevés kutatási eredmény lelhető fel, ez is mutatja, hogy a zúzott pórusbeton még egy kiaknázatlan területet jelent a betontechnológiában.

5. Laboratóriumi vizsgálatok

5.1. Az adalékanyag vizsgálata

5.1.1. Nedvességtartalom és vízfelvétel

Az adalékanyag bezúzása előtt a falazóelemekből 3 próbatestet készítettem (5.1. ábra).



5.1. ábra - Eredeti falazóelem és a vízfelvétel próbatestei

A próbatestek tömeg- és térfogat mérése után 24 órára szárítószekrénybe helyeztem a testeket, és ott tömegállandóságig szárítottam. A mért tömeg és térfogati értékekből megkaptam a próbatestek eredeti nedvességtartalmát. Ezt követően 24 órára víz alá helyeztem a próbatesteket és megmértem a vízfelvételüket. A mért értékeket az 5.1. táblázat mutatja.

A részletes mérési eredmények megtalálhatók az *1. mellékletben*.

Próbatest sorszáma	$m_{száraz}$ [g]	$m_{eredeti}$ [g]	$m_{vízeltett}$ [g]	Nedvességtartalom [m%]	Vízfelvétel [m%]
1	654	750	1095	12,8%	40,3%
2	922	1088	1535	15,3%	39,9%
3	957	1109	1597	13,7%	40,1%

5.1. táblázat – Próbatestek nedvességtartalma és vízfelvétele

5.1.2. Szemmegoszlás

A készítendő betonkeverék tervezését, az adalékanyag főbb tulajdonságainak vizsgálatával kezdtem. Adalékanyag készítéséhez Ytong P2-05 jelű falazóblokkot használtam. Első lépésként a falazóelemeket pofás törőgéppel (5.2. ábra) megfelelő szemmagyságúra zúztam, majd egy megfelelő mennyiségű, folyamatos szemmegoszlású, $d_{max}=16$ mm szemmagyságú mintahalmazom szitasoros vizsgálatot (5.3. ábra) végeztem.

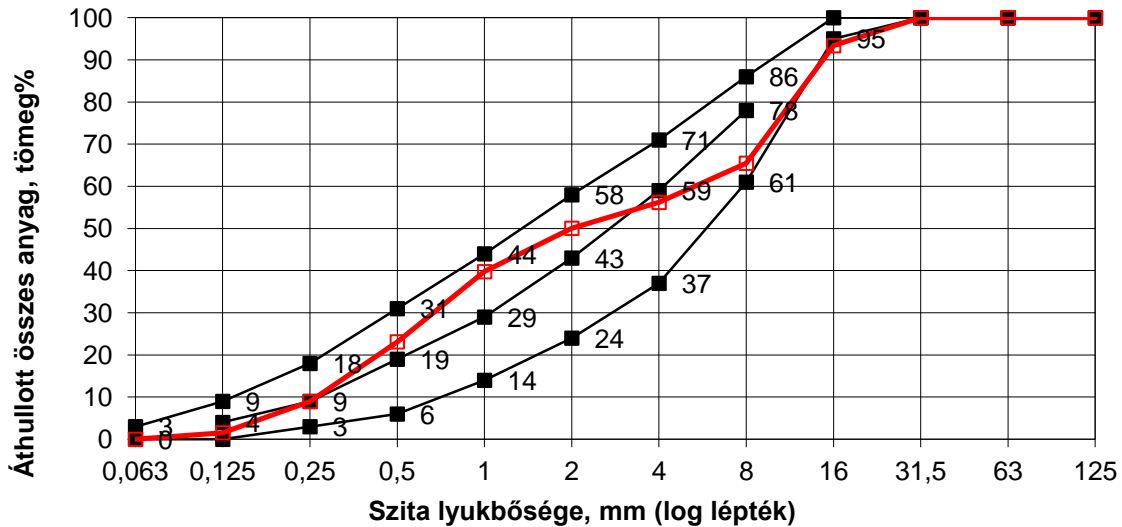


5.2. ábra - Pofás törőgép



5.3. ábra - Szitasor

A vizsgálat eredményeként megkaptam az adalékanyag halmazom szemmegoszlási görbéjét. (5.4. ábra)



5.4. ábra - Adalékanyag szemmegoszlási diagramja

Az ábra alapján látható, hogy az adalékanyag II. osztályú szemmegoszlást mutat.

5.1.3. Szemcse-**testsűrűség és** vízfelvétel

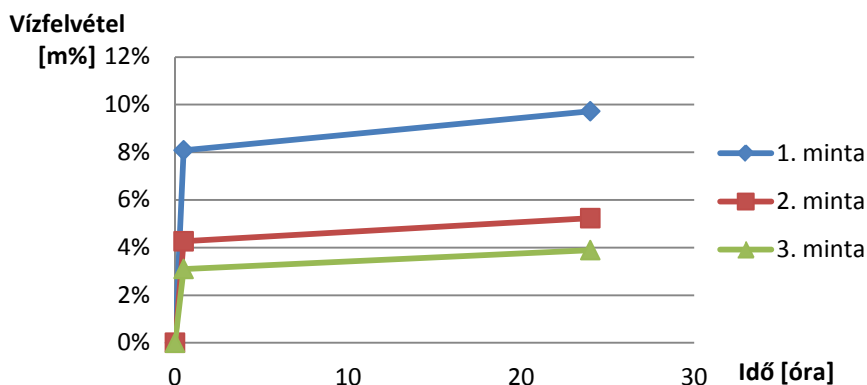
Mivel az adalékanyag nagy porozitással és nyitott pórusokkal rendelkezik, ezért a készítendő beton összetételének tervezésekor rendkívül fontos volt az adalékanyag halmaz szemcse-**testsűrűségének** és vízfelvételének ismerete. Ennek meghatározásához 3 eltérő szemmegoszlású mintán piknométeres **testsűrűség** mérést (5.5.-5.6. ábra), illetve fél- és 24 órás vízfelvételi vizsgálatot végeztem (5.2. táblázat; 5.7. ábra). Amennyiben egy nagy vízfelvételű adalékanyag esetén ezt a lépést figyelmen kívül hagyjuk, a keveréskor az adalékanyag felszívja a keverővíz egy részét, így megváltozik a víz-cement tényező és egy földnedves konzisztenciájú keveréket kapunk, ami bedolgozásra alkalmatlan.



5.5.- 5.6. ábra - Adalékanyag vízfelvételének vizsgálata piknométerrel

Minta sorszáma	ρ_T [g/cm ³]	víz ₃₀ [m%]	víz ₂₄ [m%]
1	1,338	8,1%	9,7%
2	1,470	4,3%	5,2%
3	1,438	3,1%	3,9%

5.2. táblázat – Adalékanyag szemhalmaz testsűrűsége és vízfelvétele



5.7. ábra – Adalékanyag szemhalmaz vízfelvétele

A mérések alapján látszik, hogy az adalékanyag az első 30 perc során felveszi az általa felszívni képes víz jelentős részét, így a betonkeverékek tervezésekor ezeket az értékeket tekintetem mérvadónak. A nagyobb vízfelvétellel rendelkező mintának volt a 3 közül a legnagyobb finomrész tartalma, míg a legkisebb vízfelvételező minta tartalmazta a legtöbb durva szemcsét. A jelenség oka a finomrész nagyobb fajlagos felületével magyarázható.

A pontos mérési eredmények megtalálhatók a 2. mellékletben.

5.14. Halmazsűrűség

Az összetétel tervezéséhez fontos volt továbbá az adalékanyag halmazsűrűségének ismerete is, ebből számolható ugyanis a hézagossága ($Hézagosság = 1 - \frac{Halmazsűrűség}{Testsűrűség}$), mely a beton péptelítettségének meghatározásához nélkülözhetetlen. A vizsgálatot 3 mintán végeztem el, ám irreálisan alacsony értékeket kaptam. A halmazsűrűség mérésekor, nem vettem ugyanis figyelembe, hogy a finomrészt tartalmazó adalékanyag frakciókat ($d < 4$ mm) nem választottam el a durva szemcséktől ($4 \text{ mm} < d < 32$ mm). Emiatt a finom adalékanyag szemcsék átboltozódtak a durva szemcsék között, így irreálisan nagy térfogatú hezagot hagyva a mintában, ami használhatatlan eredményhez vezetett – a betonkeverékben ugyanis nem alakulhatnak ki ilyen mértékű hézagok az adalékanyag szemcsék között (5.3. táblázat).

Minta sorszáma	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	0,562	0,592
2	0,614	
3	0,601	

5.3. táblázat – Halmazsűrűség (Átboltozódás miatt irreleváns mérés)

A hiba észlelése után a vizsgálatot ismételt elvégeztem, ám ekkor a mintákat az edény rázogatóásával addig tömörítettem, míg megszűntek a kívülről látható, az edény fala mentén keletkezett átboltozódások. Az így végzett mérések kiértékelésekor már elfogadható, reális értékeket kaptam, ezeket használtam a betonösszetétel tervezéséhez (5.4. táblázat).

Minta sorszáma	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
4	0,694	0,710
5	0,696	
6	0,713	
7	0,738	

5.4. táblázat – Halmazsűrűség (Rázogatással tömörített, reális mérés)

A pontos mérési eredmények megtalálhatók a 3. mellékletben.

5.2. A beton keverése

5.2.1. Az összetétel tervezése

A keverés megkezdése előtt a fent leírt vizsgálatok eredményeinek felhasználásával elkészítettem a keverendő betonok összetételét. A betonösszetételek meghatározásához az alábbi kutatási mátrixot használtam (5.5. táblázat).

Betonkeverék	Víz-cement tényező	Cement típusa	Adalékanyag mennyiség	Adalékanyag fajtája
JB/80%	0,55	CEM II/B-S 42,5 N (V)	80%	Zúzott pórusbeton
JB/90%			90%	
JB/100%			100%	
JB/110%			110%	
JB/100% ref			100%	Kvarchomok + kvarckavics

5.5. táblázat– Kutatási mátrix betonösszetétel tervezéséhez

Ahhoz, hogy az elkészített könnyűbeton mintákat később össze tudjam hasonlítani a vizsgálatok kiértékelésénél, állandó víz-cement tényezőt alkalmaztam minden keverék esetén. A vizsgálatok során a változó paraméter a keverékekbe bedolgozott adalékanyag mennyisége volt. Az adalékanyag tartalmat a keverékek jelzésében %-os telítettségben adtam meg. A 100% jelentése, hogy a keverék adalékanyag tartalma megegyezik az adalékanyag vizsgálatok során az adalékanyag halmazon mért tömörség értékével, vagyis a keverék péptelített. A 100-nál kisebb érték pép-túlítettséget, míg a 100-nál nagyobb érték pép-telítetlenséget jelöl.

Öt keveréket terveztem és vizsgáltam: négyet a választott pórusbeton adalékanyaggal, egyet pedig referenciaként (JB/100% ref jelű keverék), a gyakorlatban leggyakrabban használt 0-4 mm-es frakciójú kvarchomokkal és 4-16 mm-es frakciójú kvarckavicsal. A keverékek tervezett összetételét az alábbi táblázatban foglaltam össze (5.6. táblázat).

Keverék jelzése	Cement [kg/m³]	Keverővíz [kg/m³]	Adalékanyag [kg/m³]	Folyósító adalékszer [kg/m³]	Többlévíz [kg/m³]
JB/80%	646	355	551	22,61	116
JB/90%	591,5	325	620	20,7	131
JB/100%	520	286	710	18,2	150
JB/110%	482,5	265	758	16,9	160
JB/100% ref	473,5	260	1540	0	0

5.6. táblázat – Betonkeverékek összetétele

A pontos összetételek megtalálhatók az 4. mellékletben.

5.2.2. Konzisztencia

A pórusbeton adalékanyagos keverékekhez a megfelelő konzisztencia elérése érdekében MC-Powerflow 2743 jelzésű folyósító adalékszerrel kevertem. A keverékek konzisztencia osztályba sorolása a MSZ 4798-1 szabvány szerint (5.7. táblázat) terület mérésével (5.8.-5.9. ábra) történt. A terület mérés eredményeit az 5.8. táblázatban tüntettem fel.

Konzisztencia osztály	Területi mérték [mm]
F1	≤340
F2	350-410
F3	420-480
F4	490-550
F5	560-620
F6	≥ 630

5.7. táblázat – MSZ 4798-1 szerinti konzisztencia osztályok

Beton jelzése	1. Területi mérték [cm]	2. Területi mérték [cm]	Átlag [cm]	Konzisztencia osztály
JB/100%	34,0	34,5	34,3	F1
JB/90%	45,0	48,0	46,5	F3
JB/110%	50,5	47,5	49,0	F4
JB/80%	41,5	40,0	40,8	F2
JB/100%ref	45,5	45,5	45,5	F3

5.8. táblázat – Konzisztencia értékek



5.8. ábra – Terülmérő kúp



5.9. ábra – Területi átmérő mérése

5.2.3. **Könnyűbeton próba**keverése

A keverést Zyklos típusú kényszer keverőben végeztem (5.10. ábra).



5.10. ábra – Zyklos típusú kényszer keverőben



5.11. ábra - Földnedves konzisztencia

Az első keverék készítésekor az eleinte számolt keverővíz mennyiség elégtelennek bizonyult, így többletvizet kellett adagolni. Az adalékanyag fél órás vízfelvételével megegyező mennyiségű többletvizet adagolva egy földnedves, bedolgozhatatlan keverék állt elő, melyben száraz cementcsomók voltak (5.11. ábra). Ez alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az adalékanyag vízfelvele a vizsgálatok alapján meghatározottnál nagyobb, így összetételi korrekcióra van szükség. Ezért a keverés során a megfelelő konzisztencia eléréséhez szükséges mennyiséggel növeltem a keverékekhez adagolandó plusz víz mennyiségét. Az első próbakeveréket nem használtam fel próbatest készítésére.

5.2.4. Könnyűbeton keverékek készítése

Az összetétel korrigálása után (a korrigált összetételt az 5.6. táblázat tartalmazza) megkezdtem a tényleges keverést, és így már sikerült egy kedvezőbb konzisztenciát elérni. A próbatesteket a későbbi szilárdsági vizsgálathoz az MSZ 4798-1 szabvány szerinti 150*150*150 mm-es rozsdamentes acél sablonokba öntve, rázóasztalon (5.12. ábra) való vibrálással készítettem. A hővezetési tényező mérésének próbatestei 300*300*50 mm méretűek voltak. A vízzárósági próbatestek mérete megegyezik a szilárdsági próbatestekkel.



5.12. ábra – Rázóasztal a próbatestek bedolgozása közben

Az első két minta (JB/100% és JB/110% jelzésű összetételek alapján), konzisztenciája a tervezett kissé-képlékeny – képlékeny kategóriákba esett (5.13. ábra). A harmadik minta (JB/90%) keverésekor az összetételben előírt keverővíz és folyósító adagolása után szétosztályozódást és enyhe, kismértékű kivérzést (5.14. ábra) tapasztaltam. A tervezéskor nem vettem figyelembe, hogy az adalékanyag mennyiségének csökkenésével az azonos konzisztencia osztály eléréséhez jóval kevesebb folyósító adalékszerre van szükség. Ezért a keverékhez stabilizáló adalékszer adagoltam, míg vissza nem állt a kívánt állapot és megszűnt a kivérzés és az adalékanyag szemek felúszása. A negyedik (JB/80% jelzésű) pórusbeton adalékanyag keverék előállításakor már figyeltem az adalékszer fokozatos adagolására, így elkerülve a kivérzést.



5.13. ábra – Megfelelő konzisztencia 5.14. ábra – Adalékanyag szemek felúszása és kivézés

A referencia keverék készítésekor szintén korrekcióra volt szükség. Mivel nem állt rendelkezésre kiszárított homok, így a választott homok nedvességtartalmával számolni kellett a keverővíz adagolásakor. A homokból mintát vettem, majd annak megmértem a tömegét. A mintát mikrohullámú sütőben tömegállandóságig szárítottam, majd az így nedvességmentessé tett minta tömegét megmérve meg tudtam határozni az eredeti nedvességtartalmat. Ezt a vízmennyiséget kivontam a vízadagolásból és az adalékanyagból ennyivel többet adagoltam a keverékhez.

A keverékek pontos összetétele megtalálható a 4. *mellékletben*.

A frissbeton testsűrűség megmérése után azt tapasztaltam, hogy a számolt testsűrűségek eltérnek az előállított keverékek sűrűségétől (5.9. táblázat).

Beton jelzése	$\rho_{T, tervezett}$ [kg/m ³]	$\rho_{T, mért}$ [kg/m ³]	$\rho_{T, tervezett}/\rho_{T, mért}$
JB/80%	1691	1561	0,923
JB/90%	1688	1492	0,884
JB/100%	1685	1547	0,918
JB/110%	1683	1498	0,890
JB/100%ref	2274	2276	1,001

5.9. táblázat – Frissbeton testsűrűség

A táblázatból látszik, hogy a referencia keverék tényleges összetétele megegyezik a tervezettel, ám a pórusbeton adalékanyag keveréké nem. Az eltérések oka, hogy a keverék légtartalma miatt nagyobb térfogatú lett, mint azt először terveztem, ezért korrigáltam a tervezett betonösszetételeket, hogy megkaphassuk a tényleges adagolást minden alapanyagból. Az 5.9. táblázatban feltüntettem minden keverék esetén az aránytényezőt ($\rho_{T, tervezett}/\rho_{T, mért}$) aminek segítségével kiszámítottam a készített keverékek tényleges összetételét (5.10. táblázat). Az eredmények értékelésekor ezeket a tényleges értékeket vettem figyelembe.

Keverék	Cement [kg/m ³]		Adalékanyag [kg/m ³]		Keverővíz [kg/m ³]		Folyósító [kg/m ³]		Pluszvíz [kg/m ³]	
	Terv	Mért	Terv	Mért	Terv	Mért	Terv	Mért	Terv	Mért
JB/80%	646	596	551	509	355	328	22,6	20,9	116	107
JB/90%	591,5	523	620	548	325	287	20,7	18,3	131	116
JB/100%	520	477	710	652	286	263	18,2	16,7	150	138
JB/110%	482,5	429	758	675	265	236	16,9	15,0	160	142

5.10. táblázat – Tényleges keverék-összetételek

A betonozási jegyzőkönyvek megtalálhatók az 5. mellékletben.

5.2.5. Tárolás

A mintákat az MSZ 4798-1 szabványban leírt módon vegyesen tároltam. A bedolgozás után 24 órával a próbatesteket kiszaluztam (5.15. ábra) és víz alá helyeztem (5.16. ábra). A kiszaluzás megkönnyítése érdekében a keverés megkezdése előtt a zsaluzatokat zsaluleválasztó olajjal vontam be. Hat nap elteltével, a minták 7 napos korában kiemeltem azokat a vízből és további 21 napon keresztül száraz körülmények között tároltam (5.17.-5.18. ábra).



5.15. ábra – Próbatest kiszaluzása



5.16. ábra – Víz alatti tárolási fázis



5.17.-5.18. ábra – Száraz tárolási fázis

5.3. Vizsgálatok beton próbatesteken

5.3.1. Szilárdsági vizsgálatok

A szilárdsági vizsgálatokat az MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint Formtest típusú törőgéppel (5.19. ábra) 150 mm élhosszúságú, kocka alakú próbatesteken végeztem. A testek nyomószilárdság vizsgálat utáni törésképét az 5.20. ábra szemlélteti.



5.19. ábra Formtest típusú törőgép



5.20. ábra - Töréskép

Az MSZ EN 206-1 szabvány (melynek az MSZ 4798-1:2004 a magyarországi alkalmazási változata) a vizsgálathoz 28 napos, 20 ± 5 °C hőmérsékletű víz alatti, vagy 20 ± 2 °C hőmérsékletű, $\geq 95\%$ -os relatív páratartalmú klímasekrényben való tárolást ír elő. Az MSZ 4798-1:2004 szabvány megenged vegyes tárolást is. „Ebben az esetben a próbakockákat elkészítésük után legalább egy, de legfeljebb három napig 20 ± 5 °C hőmérsékleten sablonban, mozdulatlanul kell tárolni úgy, hogy a próbakockából nedvesség ne távozhasson el (pl. állandóan megnedvesített ruhával letakarva.) A vegyes tárolású próbakockákat kizsaluzásuk után 7 napos korig 20 ± 2 °C hőmérsékletű víz alatt, majd a vízből kivéve vizsgálatukig legalább 55% relatív páratartalmú, 20 ± 5 °C hőmérsékletű laborlevegőn, szárazon kell tárolni.”¹⁵

Az általam a vizsgálathoz használt próbatesteket vegyesen tároltam.

A vizsgálatok során megmértem a próbatestek szilárd (légszáraz) és kiszáritott testsűrűségét is. A mérési eredményeket az 5.11. táblázat foglalja össze.

Keverék	$\rho_{T,friss}$ [kg/m³]	$\rho_{T,szilárd}$ [kg/m³]	$\rho_{T,kiszáritott}$ [kg/m³]	Testsűrűségi osztály	f_c [N/mm²]
JB/80%	1561	1451	1316	D 1,4	16,3
JB/90%	1492	1356	1191	D 1,2	12,4
JB/100%	1547	1393	1212	D 1,4	16,1
JB/110%	1498	1382	1190	D 1,2	13,3
JB/100% ref	2276	2239	2208		39,9

5.11. táblázat – Próbatestek szilárdsági vizsgálata

A részletes mérési eredmények megtalálhatók a 6. mellékletben.

5.3.2. Vízárósági vizsgálatok

A vízárósági vizsgálatok – a szilárdsági vizsgálatokkal hasonlóan – az MSZ 4789-1:2004 szabvány szerint történtek.

A beton vízáróságát az MSZ EN 12390-8:2001 szabvány szerint, legalább 28 napos korú, végig víz alatt tárolt próbatesten, 75 mm átmérőjű körfelületen 72 ± 2 órán át ható 5 bar ($0,5 \pm 0,05$ MPa) állandó víznyomáson kell vizsgálni. A próbatest víznyomásra merőleges, oldalának hossza vagy átmérője legalább 150 mm, magassága legalább 100 mm legyen, következésképpen a vizsgálatot a Magyarországon szokásos 200 x 200 x 120 mm méretű próbatesten is el szabad végezni, de ugyanígy alkalmas a 150 mm élhosszúságú szabványos próbakocka is.¹⁵

A vizsgálatokhoz vegyes tárolású, 150 mm élhosszúságú kocka alakú próbatesteket használtam. A próbatestek víz által terhelt oldala alá, a víz szivárgásának megakadályozása érdekében kör alakú, profilozott gumi alátéteket helyeztem (5.21. ábra). A testeket a vizsgálat idejére a vizsgálópadra szorítottam (5.22. ábra).



5.21. ábra – Profilozott gumi alátétek



5.22. ábra – Vizsgálópadra szorított próbatestek

A szabvány szerinti megfelelést az 5.12. táblázat mutatja.

Környezeti osztály	Maximális vízbehatolási mélység
XV1(H)	60 mm
XV2(H)	40 mm
XV3(H)	20 mm

5.12. táblázat – Betonok vízzárósági megfelelése

Az eredményeket az 5.13. táblázat foglalja össze.

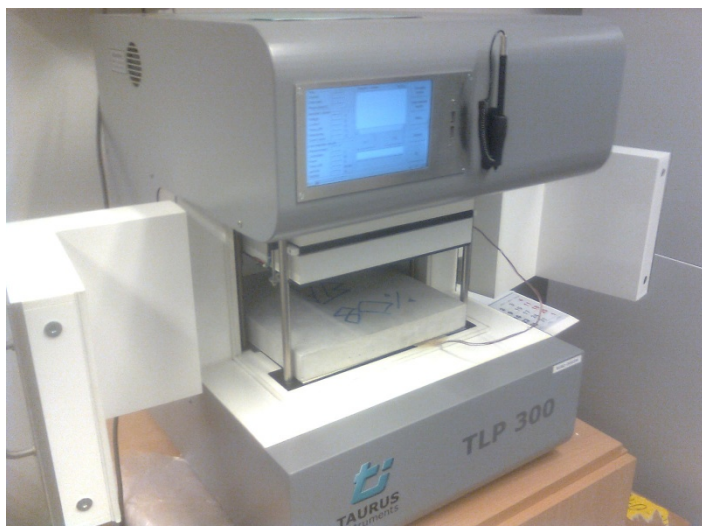
Keverék	Maximális vízbehatolási mélység [mm]	Vízzárósági osztály
JB/80%	37,0	XV2(H)
JB/90%	52,5	XV1(H)
JB/100%	38,8	XV2(H)
JB/110%	55,0	XV1(H)
JB/100% ref	44,5	XV1(H)

5.13. Próbatestek vízzárósági vizsgálata

A pontos mérési eredmények megtalálhatók a 7. mellékletben.

5.3.3. Hővezetési vizsgálatok

A hővezetési tényező mérése az Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratóriumában, az ISO 8302:1991(E) szabvány szerint Taurus TLP 300 (5.23. ábra) típusú géppel történt. A mérés pontossága érdekében sima felületű, nedvességmentes próbatestekre van szükség, ezért előkészítésként a próbatesteket vizes csiszolókoronggal (5.24. ábra) egyenletes felületűre csiszoltam, majd tömegállandóságig szárítószekrényben tároltam.

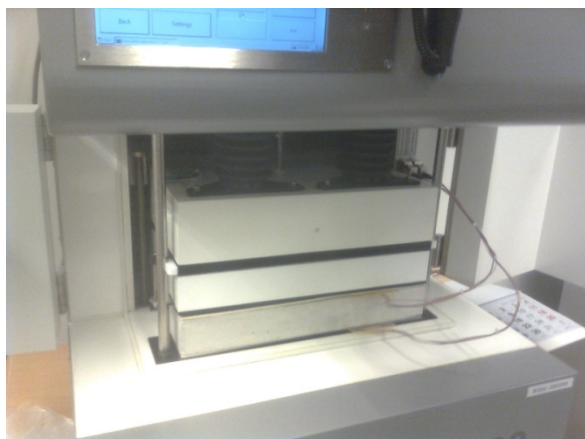


5.23. ábra – Taurus TLP 300

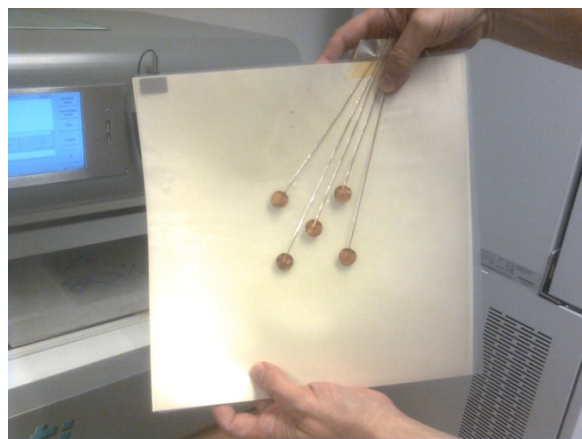


5.24. ábra – Vizes csiszolókorong

A vizsgálat a próbatest két oldalán hőmérsékletkülönbség kialakítása folyamán a próbatesten létrejövő hőáram mérésén alapul. A méréshez 300*300 mm vizsgálati felületű próbatestek szükségesek. A testre, a műszerbe való helyezése után 180 N erővel rászorítjuk (5.25. ábra) a 2 oldalon elhelyezett mérőfóliákat, melyeken öt-öt darab termoelem (2.26. ábra) található.



5.25. ábra – Próbatestre rászorított mérőfóliák



5.26. ábra - Termoelemek

A vizsgálat kezdetekor a próbatest két mért oldalán 10 K hőmérsékletkülönbséget alakítunk ki. A mérés 1 oldali melegítéssel történik, a próbatest felső oldala a melegített, alsó oldala hideg. Egy mérési fázis addig folyik, amíg a vizsgált λ érték egy 0,2%-os küszöbön belül nem marad minimum 60 percig. Egy próbatest mérése 2 mérési fázisból áll.

A mért eredményeket az 5.14. táblázat foglalja össze.

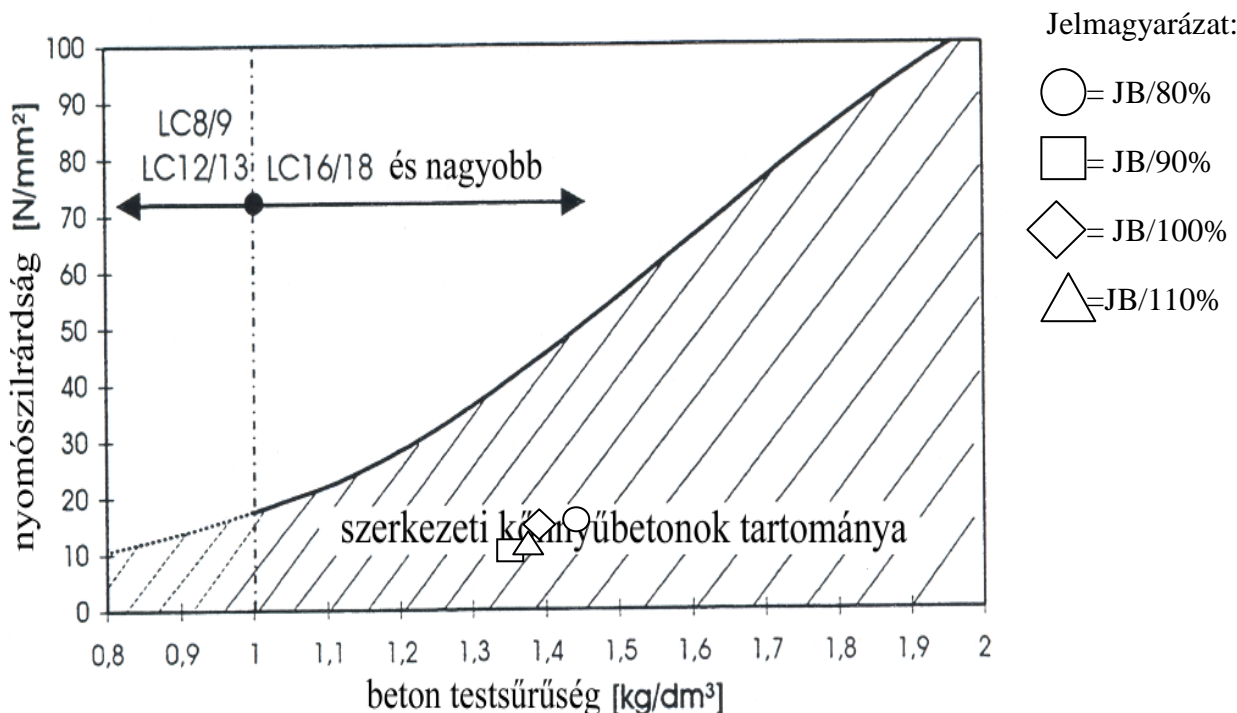
Keverék	λ [W/mK]
JB/80%	0,447
JB/90%	0,367
JB/100%	0,392
JB/110%	0,393
JB/100% ref	1,311

5.14. táblázat – Próbatetek hővezetési tényező mérési eredményei

A mérési jegyzőkönyvek megtalálhatók a 8. mellékletben.

6. Vizsgálatok kiértékelése

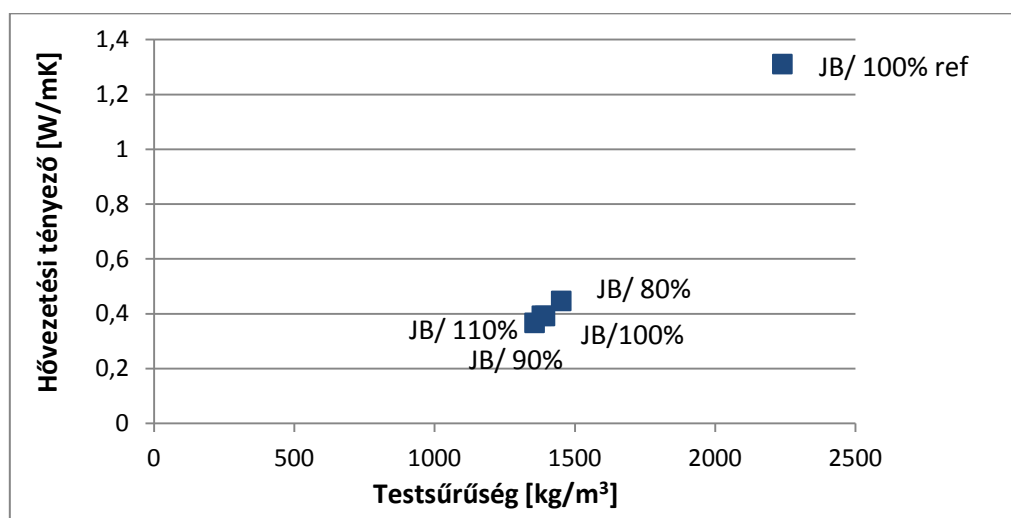
A szilárdsági vizsgálatok alapján látszik, hogy a pórusbeton adalékanyaggal készített könnyűbeton keverékek 12-16 N/mm² nyomószilárdsággal (5.27. ábra) és 1350-1450 kg/m³ testsűrűséggel rendelkeznek. Monolit vagy előregyártott elemekként is tetszőlegesen vasalhatók, így alkalmasak a kutatás céljából kitűzött épületlépték tartószerkezeti feladatainak ellátására (átlagos többlakásos családi házak falazatainak). A normál betonokhoz képest alacsony testsűrűségük miatt (a referencia keverék ~2200 kg/m³) pedig az önsúly csökkentésével jelentős tehercsökkenést érhetünk el.

5.27. ábra – Vizsgált betonkeverékek nyomószilárdság-testsűrűség függvénye¹⁶

Minden általam készített pórusbeton adalékanyagú könnyűbeton keverék eleget tesz az MSZ 4798-1:2004 szabvány által meghatározott XV1(H) vízzárósági osztály követelményének. E szerint a keverékekből készített szerkezet alkalmazható a következő szerkezetek építésére:

pincefal, csatorna, legfeljebb 1 m magas víztároló medence, áteresztő, csapadék csatorna, záportároló, esővíz gyűjtő akna.

A pórusbeton adalékanyaggal készített könnyűbetonok hővezetési tényezője 0,39-0,45 W/mK között mozog. Ezen érték lényegesen jobb, mint a szerkezeti betonok hővezetési tényezője (~1,3-1,5) – a referencia keverék tényezője 1,31 - és közel azonos, vagy jobb a ma már csak ritkán használt, de sok meglévő szerkezetet alkotó falazóelemek tényezőjénél – B25-ös, B30-as téglá. (A vizsgálati eredmények alapján az is látható, hogy a hővezetési tényező és a testsűrűség fordított arányban állnak egymással. Az általam vizsgált minták értékeit az 5.28. ábrában tüntettem fel.)



5.28. ábra – Vizsgált keverékek testsűrűség – hővezetési tényező függvénye

Látható, hogy a 2012-től az Európai Unió 0,2 W/m²K maximális hőátbocsátási tényezőt engedélyez új építésű épületek falainál és tetőtér beépítés határoló szerkezetinél, illetve 0,3 W/m²K-t födémek esetén. Az alábbiakban olyan, az építési gyakorlatban jellemző falszerkezeti rétegrendeket közlök, melyek teljesítik az EU által 2012-től előírt 0,2 W/m²K-es értéket. Az egyes rétegek mellett feltüntettem λ tényezőjüket is. Az egyes rétegek hőátbocsátási tényezőjét ~0,170 W/m²K értékre számoltam, mivel a teljes homlokzati falszakaszon jelentkező hőhidak (koszorúk, nyílászárók) ezt az értéket rontani (növelni) fogják – a szabályozás szerinti 0,2 W/m²K érték a teljes homlokzati falfelületre értendő.

- Porotherm HS 38-as falazóblokk **U=0,170 W/m²K;**
 - Beltéri vékonyvakolat 1,0 cm, $\lambda=0,890$ W/mK
 - Porotherm 38 HS, $\lambda=0,104$ W/mK
 - Austrotherm AT-N30 EPS 10,0 cm, $\lambda=0,048$ W/mK
 - Kültéri hálórősített mészvakolat 1,5cm, $\lambda=0,820$ W/mK

- Porotherm HS 44-es falazóblokk **U=0,171 W/m²K;**
 - Beltéri vékonyvakolat 1,0 cm, $\lambda=0,890$ W/mK

- Porotherm 44 HS, $\lambda=0,099$ W/mK
- Austrotherm AT-N30 EPS 6,0 cm, $\lambda=0,048$ W/mK
- Kültéri hálóerősített mészvakolat 1,5cm, $\lambda=0,820$ W/mK
- **YTONG P2 0,5-ös falazóblokk $U=0,171$ W/m²K;**
 - Beltéri vékonyvakolat 1,0 cm, $\lambda=0,890$ W/mK
 - YTONG P2 0,5 37,5 cm, $\lambda=0,117$ W/mK
 - Austrotherm AT-N30 EPS 12,0 cm, $\lambda=0,048$ W/mK
 - Kültéri hálóerősített mészvakolat 1,5cm, $\lambda=0,820$ W/mK
- **Monolit vasbeton fal (referencia keverék) $U=0,168$ W/m²K;**
 - Beltéri vékonyvakolat 1,0 cm, $\lambda=0,890$ W/mK
 - Vasbeton 20,0 cm, $\lambda=1,311$ W/mK
 - Austrotherm AT-N30 EPS 27,0 cm, $\lambda=0,048$ W/mK
 - Kültéri hálóerősített mészvakolat 1,5cm, $\lambda=0,820$ W/mK
- **Monolit, vasalt pórusbeton adalékanyagos könnyűbeton fal $U=0,171$ W/m²K;**
 - Beltéri vékonyvakolat 1,0 cm, $\lambda=0,890$ W/mK
 - Vasalt, pórusbeton adalékanyagos könnyűbeton 20,0 cm, $\lambda=0,42$ W/mK
 - Austrotherm AT-N30 EPS 25,0 cm, $\lambda=0,048$ W/mK
 - Kültéri hálóerősített mészvakolat 1,5cm, $\lambda=0,820$ W/mK

A fentiekben elemzett fal-rétegrendeket az 5.15. táblázat foglalja össze.

Szerkezeti rétegrend tartószerkezeti eleme	Rétegvastagság [cm]	U [W/m ² K]
Porotherm HS 38	50,5	0,170
Porotherm HS 44	52,5	0,171
Ytong P2 0,5	52,0	0,171
Monolit vasbeton (ref)	49,5	0,168
Vasalt, pórusbeton adalékanyagos könnyűbeton	47,5	0,171

5.15. táblázat – Gyakori falszerkezetek épületszerkezeti és gazdaságossági mutatói

7. Összefoglalás, következtetések

A laboratóriumban végzett kísérletek során sikerült egy olyan új összetételű betonkeveréket előállítani, amely szilárdsága folytán alkalmas mind falazóelem gyártására, mind monolit vasbeton szerkezetként való alkalmazásra. Vízárasi és hőtechnikai tulajdonságai alkalmassá teszik egy több emeletes, több lakásos családi ház összes jellemző teherhordó szerkezetének kialakítására – a pincefalaktól kezdve a lakószintek teherhordó falain át a pillérekig.

A vizsgált betonkeverék nyomószilárdsága lényegesen jobb a manapság leggyakrabban az építőipari gyakorlatban használatos falazóelemeknél (a pórusbeton falazóelemek szilárdságának négy-ötszöröse, míg a kerámiáknak két és fél-háromszorosa). Vasalhatóságának köszönhetően felveszi a versenyt a normál szilárdságú betonokból készített vasbeton szerkezetekkel is.

Hővezetési tényezője az átlag falazóelemek tényezőinek közel háromszorosa, ám a szerkezeti betonokénak kevesebb, mint harmada (akár negyede is lehet). Ennek folytán belőle vékonyabb, kevesebb plusz hőszigetelést igénylő falszerkezetek készíthetők.

Vízzárósági tulajdonságai alapján alkalmazható lehet talajszint alatti, esetlegesen nedvességnek kitett szerkezetek készítésére is, mely tulajdonsággal a magyar építési gyakorlatban használt falazóelem családok nem rendelkeznek (természetesen az e-fajta alkalmazhatóság még további kutatási eredményeket kívánna).

Anyagköltsége közel azonos a legjellemzőbb falazóelem családokéval, a szerkezeti vasbeton szerkezeteknél pedig olcsóbb. A különbség az egyes beruházások léptékében csak csekély mértékben mérhető, ám az újrahasznosított adalékanyagoknak köszönhetően csökkenő hulladékterhelés nemzetgazdasági szinten tetemes megtakarításokat jelenthet.

A fent felsorolt tulajdonságai alapján az előállított keverék mind műszaki, mind gazdaságossági szempontból megállja a helyét a leggyakrabban alkalmazott szerkezeti építőanyagok között, emellett pedig több egyéb előnyös tulajdonsággal rendelkezik. A falazóelemeknél nagyobb, a vasbetonnál kisebb testsűrűsége folytán léghanggátlási teljesítőképessége várhatóan alkalmassá teszi külső térelhatároló falak mellett lakáselválasztó falak építésére. Ezzel kivitelezés- és beszerzés-technikai téren is előnyösebb az elterjedt falazóelemeknél, mivel nem szükséges egy családi ház kivitelezése során több építőanyag típus alkalmazása, ugyanaz a falazóelem alkalmas a különféle igény szintű szerkezetek kialakítására.

Az általam vizsgált új betontípus talán egyik legfontosabb tulajdonsága a felhasznált adalékanyag forrása. Kutatásom alapvető célja egy adalékanyagként építési- és bontási, illetve építőanyag gyártási folyamat során keletkezett hulladékot felhasználó betonkeverék kutatása és fejlesztése. Rendkívül fontosnak tartom az építőipar környezetkímélő, fenntartható fejlődését, mely elengedhetetlen a jövő generációk számára világunk élhető állapotban való megőrzéséhez. Az építőipari hulladékok egy máig megoldatlan kérdést jelentenek, melyre azonban mind az Európai Unió mind hazánk minisztériumai és egyéb hatályos kormányzervei igyekeznek válaszokat, megoldásokat keresni. A hulladékok keletkezési helyről való elszállítása, deponálása és tárolása rengeteg – mind pénzben, mind energiahordozókban mérhető – erőforrást emészt fel, emellett jelentős környezeti terhelést is jelent. Kutatásommal megoldást kínálok egy, a közelmúlt és a jelen építési gyakorlatában nagy mennyiségben alkalmazott építőanyag – a pórusbeton falazóelemek - hulladékainak újrahasznosítására, ezzel mind a környezet terhelését csökkentve, mind pénzületi-, és energiaforrásokat takarítva meg.

Köszönetnyilvánítás

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

Külön köszönetet szeretnék mondani:

- A kísérletek során alkalmazott anyagok biztosításáért:
 - A Duna-Dráva Cement Kft.-nek (cement)
 - A Xella Magyarország Kft.-nek (adalékanyag), különösképp Márta Tibornak
- Az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Anyagvizsgáló és Kőzetfizika Laboratórium összes dolgozójának, akik a kísérletek során segítették munkámat.
- Az Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium munkatársainak, Dr. Várfalvi János és Orbán Tamás Tanár Uraknak.
- Külön köszönöm konzulenseimnek Dr. Józsa Zsuzsanna Tanárnőnek és Dr. Fenyvesi Olivér Tanár Úrnak, akik időt és energiát nem kímélve segítették munkámat.

Irodalomjegyzék

- [1] Az építési-bontási hulladék újrahasznosítása (2010. április 12.); letöltés ideje: 2012.10.16;
<http://www.epitinfo.hu/index.php/articles/1/73714/az-epitesi-bontasi-hulladek-ujrahasznositasa?area=575&wa=eep21008h/>
- [2] Bencze Zsolt: Építési és bontási hulladékok kezelése (2011.június); BETON; XIX. évf. 6. szám; 23. oldal; ISSN 1218 – 4837; Magyar Cementipari Szövetség
- [3] Marcus Vitruvius Pollio: Tíz könyv az építészetéről; fordította: Gulyás Dénes (1988); 2. könyv, Hatodik fejezet, 57.oldal; ISBN 963 336 159-1; Képzőművészeti Kiadó
- [4] Déry Attila: Történeti anyagtan (2000); 61.oldal; ISBN 963 00 4183 9; TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft.
- [5] Sobó Jenő: Középtéstan I (1989); Országos Erdészeti Egyesület
- [6] Haviár Győző, Mihailics Győző: A vasbetonépítés kezdete és első létesítményei Magyarországon (1966), Akadémia Kiadó
- [7] Balázs György: Építőanyagok és kémia (1994), Műegyetemi Kiadó
- [8] Ujhelyi János: Műszaki előírás – Beton és vasbeton készítése (1995); MÁÉSZ ME-04.19:1995; Magyar Építőipari Szövetség
- [9] Rudnai Gyula: Könnyűbeton (1961); Műszaki Könyvkiadó
- [10] Hoffmann László: Hulladékból beton (2010.04.13.); letöltés ideje: 2012.10.14. ;
http://www.ng.hu/Tudomany/2010/04/Hulladekbol_beton
- [11] Ujhelyi János: A könnyűadalékos beton fajtái, összetételének tervezése és a beton készítése (1960); 2-5. oldal; Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat
- [12] Hogyan állítják elő az YTONG-ot? ; letöltés ideje: 2012.10.22.;
<http://www.teglacentrum.hu/szerkezet%C3%A9p%C3%ADt%C3%A9s/ytong/term%C3%A9kek+-+szerkezet%C3%A9pit%C3%A9s+-+xella+-+ytong.html>
- [13] Ilker Bekir Topcu, Mustafa Seridemir: Prediction of properties of wast AAC aggregate concrete using artificial neural network (2007); vol. 41, No. 1, Pages 117-125; Computational Materials Science
- [14]Marionas Sinica, Georgijus Sezamanas, Donatus Mikulskis, Modestas Kligys, Vystusas Cesnauskas, Petro Zacharcenko, Petro Kuprijenko, Natalija Scerbina, Natalija Pivenj: Investigation of the Composite Material with Inclusions of Autoclaved Aerated Concrete Chips (2009); Vol. 15, No.4., Pages 356-362; ISSN 1392-1320; Materials Science (Medziagotyra)
- [15] MSZ 4798-1:2004 (2004. augusztus); 60.oldal; ICS 91.100.30; Magyar Szabványügyi Testület
- [16] Faust, T.: Herstellung, Tragverhalten und Bemessung von konstruktivem Leichtbeton – Dissertation, Universität Leipzig (2000)

Mellékletek

- 1. melléklet – Pórusbeton nedvességtartalom és vízfelvétel mérési jegyzőkönyve
- 2. melléklet – Adalékanyag szemcse testsűrűség és vízfelvétel mérési jegyzőkönyv
- 3. melléklet – Adalékanyag halmazsűrűség mérési jegyzőkönyv
- 4. melléklet – Betonösszetételi jegyzőkönyvek
 - 4/A melléklet – JB/80% jelzésű keverék betonösszetételi lapja
 - 4/B melléklet – JB/90% jelzésű keverék betonösszetételi lapja
 - 4/C melléklet – JB/100% jelzésű keverék betonösszetételi lapja
 - 4/D melléklet – JB/110% jelzésű keverék betonösszetételi lapja
 - 4/E melléklet – JB/100% ref jelzésű keverék betonösszetételi lapja
- 5. melléklet – Betonozási jegyzőkönyv
 - 5/A. melléklet – JB/100%, JB/110% jelzésű betonkeverékek betonozási jegyzőkönyve
 - 5/B. melléklet – JB/90%, JB/80% jelzésű betonkeverékek betonozási jegyzőkönyve
 - 5/C. melléklet – JB/100% ref jelzésű betonkeverék betonozási jegyzőkönyve
- 6. melléklet – Szilárdsági vizsgálat jegyzőkönyve
 - 6/A. melléklet – JB/80%, JB/90% jelzésű betonkeverékek szilárdság vizsgálati jegyzőkönyve
 - 6/B. melléklet – JB/100%, JB/110% jelzésű betonkeverékek szilárdság vizsgálati jegyzőkönyve
 - 6/C. melléklet – JB/100% ref jelzésű betonkeverékek szilárdság vizsgálati jegyzőkönyve
- 7. melléklet – Vízzárósági vizsgálat jegyzőkönyv
 - 7/A. melléklet – JB/80%, JB/90%, JB/100% jelzésű betonkeverékek vízzáróság vizsgálati jegyzőkönyve
 - 7/B. melléklet – JB/110%, JB/100% ref jelzésű betonkeverékek vízzáróság vizsgálati jegyzőkönyve
- 8. melléklet – Hővezetési tényező vizsgálati jegyzőkönyv
 - 8/A. melléklet – JB/80% jelzésű betonkeverék hővezetési tényező vizsgálati jegyzőkönyve
 - 8/B. melléklet – JB/110% jelzésű betonkeverék hővezetési tényező vizsgálati jegyzőkönyve
 - 8/C. melléklet – JB/100% ref jelzésű betonkeverék hővezetési tényező vizsgálati jegyzőkönyve
 - 8/D. melléklet – JB/100% jelzésű betonkeverék hővezetési tényező vizsgálati jegyzőkönyve
 - 8/E. melléklet – JB/90% jelzésű betonkeverék hővezetési tényező vizsgálati jegyzőkönyve

1. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV nedvességtartalom és vízfelvétel vizsgálatáról

Kiszáritott állapot					
Próbatet sorszáma	m [g]	V [cm ³]	ρ_t [g/cm ³]	Nedvességtartalom [m%]	Nedvességtartalom [V%]
1	654	1333	0,491	0,0%	0,0%
2	922	1880	0,490	0,0%	0,0%
3	957	1949	0,491	0,0%	0,0%

Vizsgálat ideje: 2012.09.25

Eredeti állapot					
Próbatet sorszáma	m [g]	V [cm ³]	ρ_t [g/cm ³]	Nedvességtartalom [m%]	Nedvességtartalom [V%]
1	750	1333	0,563	12,8%	7,2%
2	1088	1880	0,579	15,3%	8,8%
3	1109	1949	0,569	13,7%	7,8%

Vizsgálat ideje: 2012.09.24

Vízeltétt állapot					
Próbatet sorszáma	m [g]	V [cm ³]	ρ_t [g/cm ³]	24 órás vízfelvétel [m%]	24 órás vízfelvétel [V%]
1	1095	1333	0,821	40,3%	33,1%
2	1535	1880	0,816	39,9%	32,6%
3	1597	1949	0,819	40,1%	32,8%

Vizsgálat ideje: 2012.09.26

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

2. melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag szemcse-testsűrűség és vízfelvétel vizsgálatáról

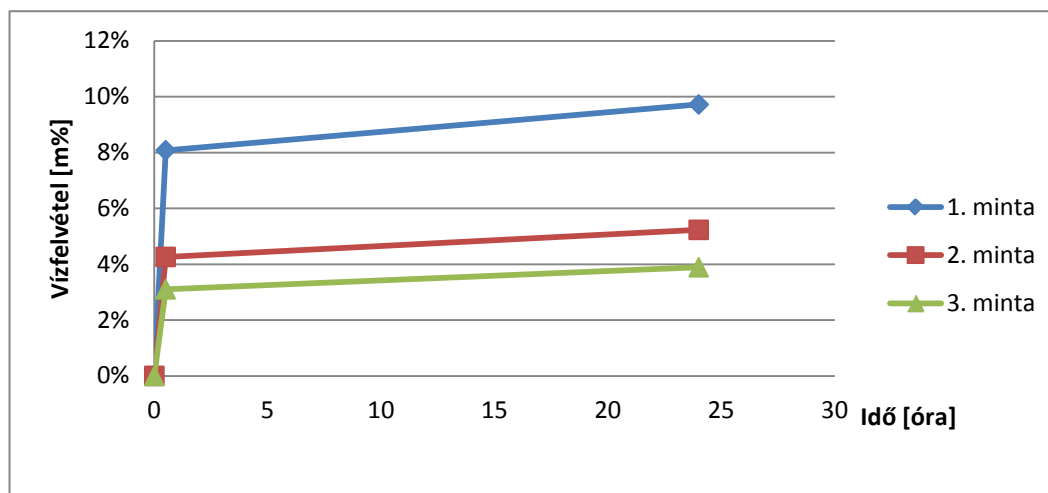
$m_{w+p} = 870,3$ g
 $m_p = 244,3$ g

$V_p = 626,00$ ml

Szemcse testsűrűség vizsgálat

Minta	m_a [g]	m_{p+a} [g]	m_{p+w+a} [g]	$V_{\text{víz fönn}}$ [ml]	V_{szem} [ml]	t_s [g/cm ³]
1. minta	79,2	323,5	890,3	566,80	59,20	1,338
2. minta	82,2	326,5	896,6	570,10	55,90	1,470
3. minta	113,0	357,3	904,7	547,40	78,60	1,438

Vízfelvétel	Eredeti	30 perc			24 óra		
Minta	$m_{w,0}$ [g]	$m_{w,30}$ [g]	$víz_{30}$ [m%]	$víz_{30}$ [V%]	$m_{w,24}$ [g]	$víz_{24}$ [m%]	$víz_{24}$ [V%]
1. minta	566,8	573,2	8,1%	10,8%	574,50	9,7%	13,0%
2. minta	570,1	573,6	4,3%	6,3%	574,40	5,2%	7,7%
3. minta	547,4	550,9	3,1%	4,5%	551,80	3,9%	5,6%



Adalékanyag szemhalmaz m%-os vízfelvétele

Vizsgálat ideje: 2012.09.24. - 2012.09.25.
Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence
Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282/2

3. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag halmazsűrűség vizsgálatáról

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	1143,0	99,6	1043,4	1855	0,562	0,593
2	1238,0		1138,4		0,614	
3	1215,3		1115,7		0,601	

Vizsgálat ideje: 2012.09.25
Szabvány száma: MSZ 18282/2; EN 1097-6:2000

Megjegyzés: Átoltozódás miatt irreleváns

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
4	1387,8	99,6	1288,2	1855	0,694	0,710
5	1390,5		1290,9		0,696	
6	1422,6		1323,0		0,713	
7	1469,4		1369,8		0,738	

Vizsgálat ideje: 2012.09.27
Szabvány száma: MSZ 18282/2; EN 1097-6:2000

Megjegyzés: Rázogatással tömörített minta

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

4/A. Melléklet

Betonösszetéti lap

Betonozás sorszáma:

JB/80%

Cement típusa: **CEM II/B-S 42,5 N (V)**

Adalékanyag típusa: **Zúzott pórusbeton**

V	ρ_H	ρ_T	H	T	A
k. ada. tart. V%	halmaz- sűrűség	szemcs- testsűr.	hézagos- ság	tömörség	névleges %
39,38	710	1399	0,492	0,508	80,0

Keverendő mennyiség: **20** liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: **21,12** m%

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	l/m ³	Tényleges összetétel	
cement	646,0	12,92	208,4	596,0	
víz	355,3	7,11	355,3	328,0	v/c tényező 0,55
folyósító	22,6	0,45	20,6	20,9	adalékszer % cementre 3,5
ada. 0/16	550,9	11,02	393,8	509,0	
többletvíz	116,3	2,33	116	107,0	
Frisseton testsűrűség	1691	34	978	1561	

4/B. Melléklet

Betonösszetéti lap

Betonozás sorszáma:

JB/90%

Cement típusa: **CEM II/B-S 42,5 N (V)**

Adalékanyag típusa: **Zúzott pórusbeton**

V	ρ_H	ρ_T	H	T	A
k. ada. tart. V%	halmaz- sűrűség	szemcs- testsűr.	hézagos- ság	tömörség	névleges %
44,30	710	1399	0,492	0,508	90,0

Keverendő mennyiség: **24** liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: **21,12** m%

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	591,5	14,20	190,8	523,0		
víz	325,3	7,81	325,3	287,0	v/c tényező	0,55
folyósító	20,7	0,50	18,8	18,3	adalékszer % cementre	3,5
ada. 0/16	619,8	14,88	443,0	548,0		
többletvíz	130,9	3,14	131	116,0		
Frisseton testsűrűség	1688	41	978	1492		

4/C. Melléklet

Betonösszetéti lap

Betonozás sorszáma:

JB/100%

Cement típusa: **CEM II/B-S 42,5 N (V)**

Adalékanyag típusa: **Zúzott pórusbeton**

V	ρ_H	ρ_T	H	T	A
k. ada. tart. V%	halmaz- sűrűség	szemcs- testsűr.	hézagos- ság	tömörség	névleges %
50,77	710	1399	0,492	0,508	100,0

Keverendő mennyiség: **20,5** liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]:

21,12 m%

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	520,0	10,66	167,7	477,0		
víz	286,0	5,86	286,0	263,0	v/c tényező	0,55
folyósító	18,2	0,37	16,5	16,7	adalékszer % cementre	3,5
ada. 0/16	710,3	14,56	507,7	652,0		
többletvíz	150,0	3,08	150	138,0		
Frisseton testsűrűség	1685	35	978	1547		

4/D. Melléklet

Betonösszetéti lap

Betonozás sorszáma:

JB/110%

Cement típusa: **CEM II/B-S 42,5 N (V)**

Adalékanyag típusa: **Zúzott pórusbeton**

V	ρ_H	ρ_T	H	T	A
k. ada. tart. V%	halmaz- sűrűség	szemcs- testsűr.	hézagos- ság	tömörség	névleges %
54,16	710	1399	0,492	0,508	110,0

Keverendő mennyiség: **24** liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: **21,12** m%

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	482,5	11,58	155,6	429,0		
víz	265,4	6,37	265,4	236,0	v/c tényező	0,55
folyósító	16,9	0,41	15,4	15,0	adalékszer % cementre	3,5
ada. 0/16	757,7	18,19	541,6	675,0		
többletvíz	160,0	3,84	160	142,0		
Frisseton testsűrűség	1683	40	978	1497		

4/E. Melléklet

Betonösszetéti lap

Betonozás sorszáma:

JB/100%ref

Cement típusa: **CEM II/B-S 42,5 N (V)**

Adalékanyag típusa: **Kvarckavics és kvarchomok**

V	ρ_H	ρ_T	H	T	A
k. ada. tart. V%	halmaz- sűrűség	szemcs- testsűr.	hézagos- ság	tömörség	névleges %
57,68	1540	2670	0,423	0,577	100,0

Keverendő mennyiség: **24** liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]:

0

m%

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	473,5	11,36	152,7	473,5		
víz	260,4	6,25	260,4	260,4	v/c tényező	0,55
folyósító	0,0	0,00	0,0	0,0	adalékszer % cementre	0
ada. 4/8	138,6	3,33	51,9	138,6		
ada. 8/16	539,1	12,94	201,9	539,1		
homok	862,5	20,70	323,0	862,5		
többletvíz	0,0	0,00	0	0,0		
Frisseton testsűrűség	2274	55	990	2274		

5/A. Melléklet

Betonzási jegyzőkönyv

Összetétel: JB/100% betonösszetételi lap szerint

Betonzás ideje: 2012.09.27

Minta száma	Zsalu tömege [g]	Zsalu+beton tömege [g]	Beton tömege [g]	Zsalu térfogata [cm ³]	Frissbeton testsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	12352	17564	5212	3375	1,544	1,547
2	12399	17620	5221		1,547	
3	12329	17456	5127		1,519	
4	12372	17702	5330		1,579	

Betonzást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Terület: 34/34,5 cm
Vibrálás: 2* 30 sec

Összetétel: JB/110% betonösszetételi lap szerint

Betonzás ideje: 2012.09.27

Minta száma	Zsalu tömege [g]	Zsalu+beton tömege [g]	Beton tömege [g]	Zsalu térfogata [cm ³]	Frissbeton testsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	12304	17438	5134	3375	1,521	1,498
2	12464	17599	5135		1,521	
3	12309	17351	5042		1,494	
4	12353	17329	4976		1,474	
5	12283	17350	5067		1,501	
6	12382	17371	4989		1,478	

Betonzást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Terület: 45/48 cm
Vibrálás: 2* 30 sec

5/B. Melléklet

Betonzási jegyzőkönyv

Összetétel: JB/90% betonösszetételi lap szerint

Betonzás ideje: 2012.09.27

Minta száma	Zsalu tömege [g]	Zsalu+beton tömege [g]	Beton tömege [g]	Zsalu térfogata [cm ³]	Frissbeton testsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	12336	17350	5014	3375	1,486	1,492
2	12455	17482	5027		1,489	
3	12224	17252	5028		1,490	
4	12365	17407	5042		1,494	
5	12366	17435	5069		1,502	

Betonzást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 50,5/47,5 cm
Vibrálás: 2* 30 sec

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Összetétel: JB/80% betonösszetételi lap szerint

Betonzás ideje: 2012.09.27

Minta száma	Zsalu tömege [g]	Zsalu+beton tömege [g]	Beton tömege [g]	Zsalu térfogata [cm ³]	Frissbeton testsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	12229	17434	5205	3375	1,542	1,561
2	12224	17439	5215		1,545	
3	12392	17561	5169		1,532	
4	9902	15283	5381		1,594	
5	9818	15183	5365		1,590	

Betonzást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 41,5/40 cm
Vibrálás: 2* 30 sec

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

5/C. Melléklet

Betonozási jegyzőkönyv

Összetétel: JB/100% ref betonösszetételi lap szerint

Betonozás ideje: 2012.09.27

Minta száma	Zsalu tömege [g]	Zsalu+beton tömege [g]	Beton tömege [g]	Zsalu térfogata [cm ³]	Frissbeton testsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	9731	17420	7689	3375	2,278	2,276
2	9606	17324	7718		2,287	
3	9579	17215	7636		2,263	

Betonozást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 45,5/45,5 cm
Vibrálás: 2* 15 sec

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

6/A. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek szilárdsági vizsgálatáról

CEM II/B-S 42,5 N (V)

Összetétel: JB/80% betonösszetételei lap szerint

Törés dátuma: 2012.10.25

Szilárdság meghatározása 150×150×150 mm-es próbatesteken

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

v/c=0,55

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Szabvány: MSZ 4798-1:2004

Keverék száma	Sor szám	Törés kora nap	Friss tömeg kg	Szilárd tömeg kg	Hossz mm	Széles mm	Magas mm	Testsűrűség kg/m ³		Nyomó		Átlag nyomó N/mm ²	Testsűrűség átlag kg/m ³	
								friss	törési	erő kN	szilárdság N/mm ²		Friss	Szilárd
JB/80%	1	28	5,17	4,82	149,9	150,2	150,2	1529	1424	347,0	15,4	16,3	1538	1451
	2		5,37	5,06	150,1	151,8	149,6	1574	1485	396,0	17,4			
	3		5,22	4,98	150,1	153,2	150,1	1511	1442	369,0	16,0			

Összetétel: JB/90% betonösszetételei lap szerint

Törés dátuma: 2012.10.25

Szilárdság meghatározása 150×150×150 mm-es próbatesteken

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

v/c=0,55

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Szabvány: MSZ 4798-1:2004

Keverék száma	Sor szám	Törés kora nap	Friss tömeg kg	Szilárd tömeg kg	Hossz mm	Széles mm	Magas mm	Testsűrűség kg/m ³		Nyomó		Átlag nyomó N/mm ²	Testsűrűség átlag kg/m ³	
								friss	törési	erő kN	szilárdság N/mm ²		Friss	Szilárd
JB/90%	1	28	5,07	4,68	150,3	151,4	149,9	1486	1373	285,0	12,5	12,4	1481	1356
	2		5,03	4,55	150,1	150,3	150,1	1485	1344	290,0	12,8			
	3		5,01	4,60	150,3	151,1	149,9	1472	1350	269,0	11,8			

6/B. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek szilárdsági vizsgálatáról

CEM II/B-S 42,5 N (V)

Összetétel: JB/100% betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma: 2012.10.25

Szilárdság meghatározása 150×150×150 mm-es próbatesteken

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

v/c=0,55

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Szabvány: MSZ 4798-1:2004

Keverék száma	Sor szám	Törés kora nap	Friss tömeg kg	Szilárd tömeg kg	Hossz mm	Széles mm	Magas mm	Testsűrűség		Nyomó		Átlag nyomó N/mm ²	Testsűrűség átlag	
								friss kg/m ³	törési kg/m ³	erő kN	szilárdság N/mm ²		Friss kg/m ³	Szilárd kg/m ³
JB/100%	1	28	5,13	4,79	150,0	153,1	149,9	1490	1393	381,0	16,6	16,1	1526	1393
	2		5,21	4,77	150,2	152,4	150,1	1517	1388	363,0	15,9			
	3		5,33	4,74	150,0	150,7	149,9	1572	1399	360,0	15,9			

Összetétel: JB/110% betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma: 2012.10.25

Szilárdság meghatározása 150×150×150 mm-es próbatesteken

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

v/c=0,55

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Szabvány: MSZ 4798-1:2004

Keverék száma	Sor szám	Törés kora nap	Friss tömeg kg	Szilárd tömeg kg	Hossz mm	Széles mm	Magas mm	Testsűrűség		Nyomó		Átlag nyomó N/mm ²	Testsűrűség átlag	
								friss kg/m ³	törési kg/m ³	erő kN	szilárdság N/mm ²		Friss kg/m ³	Szilárd kg/m ³
JB/110%	1	28	4,98	4,64	149,8	151,7	149,9	1460	1362	292,0	12,8	13,3	1471	1382
	2		5,14	4,89	150,0	152,8	150,1	1493	1422	319,0	13,9			
	3		4,99	4,66	149,9	152,1	150,0	1459	1362	297,0	13,0			

6/C. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek szilárdsági vizsgálatáról

CEM II/B-S 42,5 N (V)

Összetétel: JB/100% ref betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma: 2012.10.25

Szilárdság meghatározása 150×150×150 mm-es próbatesteken

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

v/c=0,55

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Szabvány: MSZ 4798-1:2004

Keverék száma	Sor szám	Törés kora nap	Friss tömeg kg	Szilárd tömeg kg	Hossz			Testsűrűség		Nyomó		Átlag nyomó N/mm ²	Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület mm	Magas	Széles	friss kg/m ³	törési	erő kN	szilárdság N/mm ²		Friss kg/m ³	Szilárd kg/m ³
JB/100% ref	1	28	7,69	7,23	149,9	144,1	149,8	2376	2235	856,0	39,6	39,9	2364	2239
	2		7,72	7,26	150,1	144,6	149,9	2372	2230	830,0	38,2			
	3		7,64	7,33	150,0	144,9	149,9	2344	2251	912,0	42,0			
	4		7,67	7,61	149,9	150,5	149,8	2270	2252	793,0	35,1			

7/A. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek vízzárási vizsgálatáról

Összetétel: JB/80% betonösszetételei lap szerint

Szabvány: MSZ EN 12390-8:2001

Vizsgálat kezdete: 2012.10.24.

Vizsgálatot végző személyek:

Vizsgálat vége: 2012.10.27.

Jankus Bence

Próbatest névleges mérete: 150*150*150 mm alakú kocka

Fenyvesi Olivér

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

Keverék	Minta sorszáma	Behatolási mélység				Megfelelőség (környezeti osztály)
		Oldal 1	Oldal 2	Közép	Maximum	
JB/80%	1	0,0	26,6	0,0	26,6	XV2(H)
	2	37,0	14,6	28,2	37,0	

Összetétel: JB/90% betonösszetételei lap szerint

Szabvány: MSZ EN 12390-8:2001

Vizsgálat kezdete: 2012.10.24.

Vizsgálatot végző személyek:

Vizsgálat vége: 2012.10.27.

Jankus Bence

Próbatest névleges mérete: 150*150*150 mm alakú kocka

Fenyvesi Olivér

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

Keverék	Minta sorszáma	Behatolási mélység				Megfelelőség (környezeti osztály)
		Oldal 1	Oldal 2	Közép	Maximum	
JB/90%	1	37,5	52,5	46,5	52,5	XV1(H)
	2	0,0	33,4	0,0	33,4	

Összetétel: JB/100% betonösszetételei lap szerint

Szabvány: MSZ EN 12390-8:2001

Vizsgálat kezdete: 2012.10.24.

Vizsgálatot végző személyek:

Vizsgálat vége: 2012.10.27.

Jankus Bence

Próbatest névleges mérete: 150*150*150 mm alakú kocka

Fenyvesi Olivér

Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

Keverék	Minta sorszáma	Behatolási mélység				Megfelelőség (környezeti osztály)
		Oldal 1	Oldal 2	Közép	Maximum	
JB/100%	1	35,2	38,8	24,5	38,8	XV2(H)
	2	0,0	19,5	0,0	19,5	

7/B. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek vízzárási vizsgálatáról

Összetétel: JB/110% betonösszetételi lap szerint
Vizsgálat kezdete: 2012.10.24.
Vizsgálat vége: 2012.10.27.
Próbatest névleges mérete: 150*150*150 mm alakú kocka
Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

Szabvány: MSZ EN 12390-8:2001
Vizsgálatot végző személyek:
Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverék	Minta sorszáma	Behatolási mélység				Megfelelőség (környezeti osztály)
		Oldal 1	Oldal 2	Közép	Maximum	
JB/110%	1	26,5	45,5	29,5	45,5	XV1(H)
	2	14,0	45,9	29,5	45,9	
	3	23,3	55,0	12,3	55,0	

Összetétel: JB/100% ref betonösszetételi lap szerint
Vizsgálat kezdete: 2012.10.24.
Vizsgálat vége: 2012.10.27.
Próbatest névleges mérete: 150*150*150 mm alakú kocka
Tárolás: vegyes - 7 napig víz alatt, 21 napig levegőn

Szabvány: MSZ EN 12390-8:2001
Vizsgálatot végző személyek:
Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverék	Minta sorszáma	Behatolási mélység				Megfelelőség (környezeti osztály)
		Oldal 1	Oldal 2	Közép	Maximum	
JB/100% ref	1	14,6	30,9	15,4	30,9	XV1(H)
	2	0,0	44,5	8,1	44,5	

8/A. melléklet

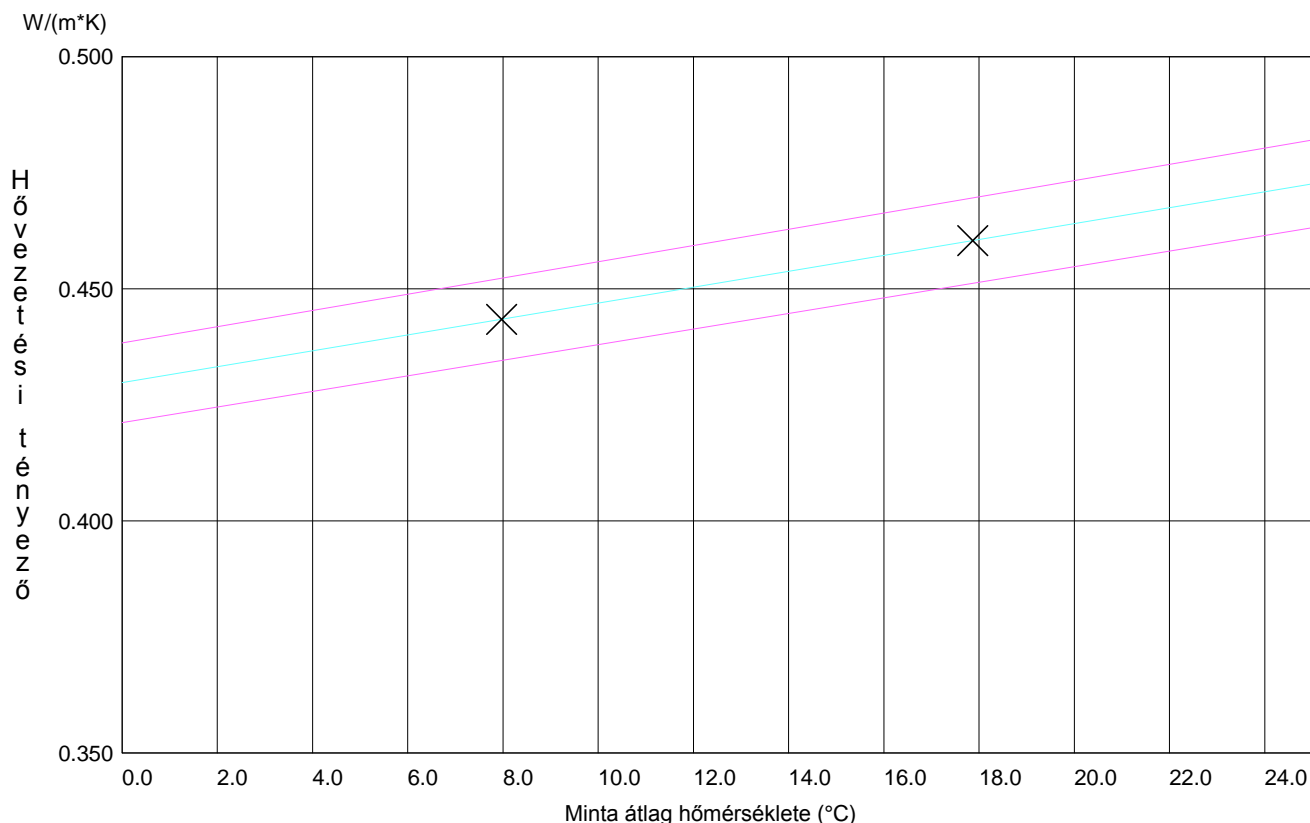
Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék: **JB/80%**

Minta vastagsága 41,19 mm
Minta Anyag Minta elnevezés: JB/80%
Minta méretei és tömege KEVERÉK
(300 x300 x 40,5) mm /4800 g
Vizsgáló ideje 2012.10.24.
Műszer TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement
Megjegyzés MÉRÉS SZÁMA: 1
Program-verzió Lambda2010, One-plate

Mérés Sorszáma.	Hőáram (W)	Hideg oldal hőmérséklete (°C)	Meleg oldal hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet különbség (K)	Minta átlag hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/m*K)
1	0.682	4.8	11.1	6.3	8.0	0.44344
2	0.699	14.7	21.0	6.3	17.9	0.46040



$\lambda(10^{\circ}C) = (0.4469 \pm 0.0134) W/(m \cdot K)$ $\lambda = 0.42977 + 0.001715 \cdot T$ $W/(m \cdot K)$

($m \cdot K$) Eredmény +/- mérési bizonytalanság (tényező 2)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

1111 Budapest
Műgyetem rkp. 3
Tel.: 06 1 463 1768
www.hofizlab.bme.hu

8/B. melléklet

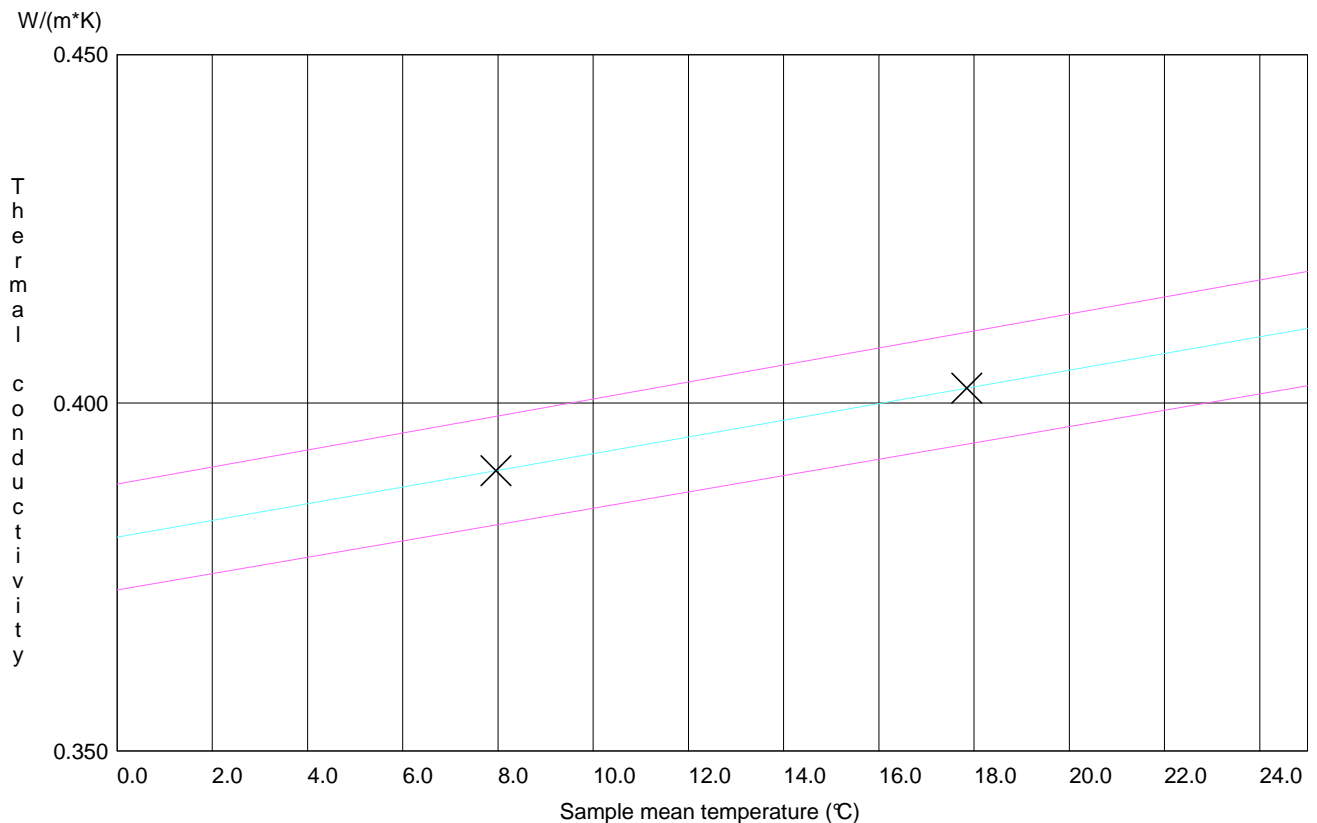
Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék: **JB/110%**

Minta vastagsága 42,93 mm
Minta Anyag Minta elnevezés: JB/110%
Minta méretei és tömege KEVERÉK
(300 x300 x 43) mm /4605 g
Vizsgáló ideje 2012.10.25.
Műszer TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement
Megjegyzés MÉRÉS SZÁMA: 2
Program-verzió Lambda2010, One-plate

Mérés Sorszama.	Hőáram (W)	Hideg oldal hőmérséklete (°C)	Meleg oldal hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet különbség (K)	Minta átlag hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/m*K)
1	0.605	4.6	11.3	6.8	8.0	0.39026
2	0.619	14.5	21.2	6.7	17.8	0.40211



$\Lambda(10^{\circ}\text{C}) = (0.3927 \pm 0.0118) \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ $\Lambda = 0.38073 + 0.001198 * MT \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$

Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

1111 Budapest
Műgyetem rkp. 3
Tel.: 06 1 463 1768
www.hofizlab.bme.hu

8/D. melléklet

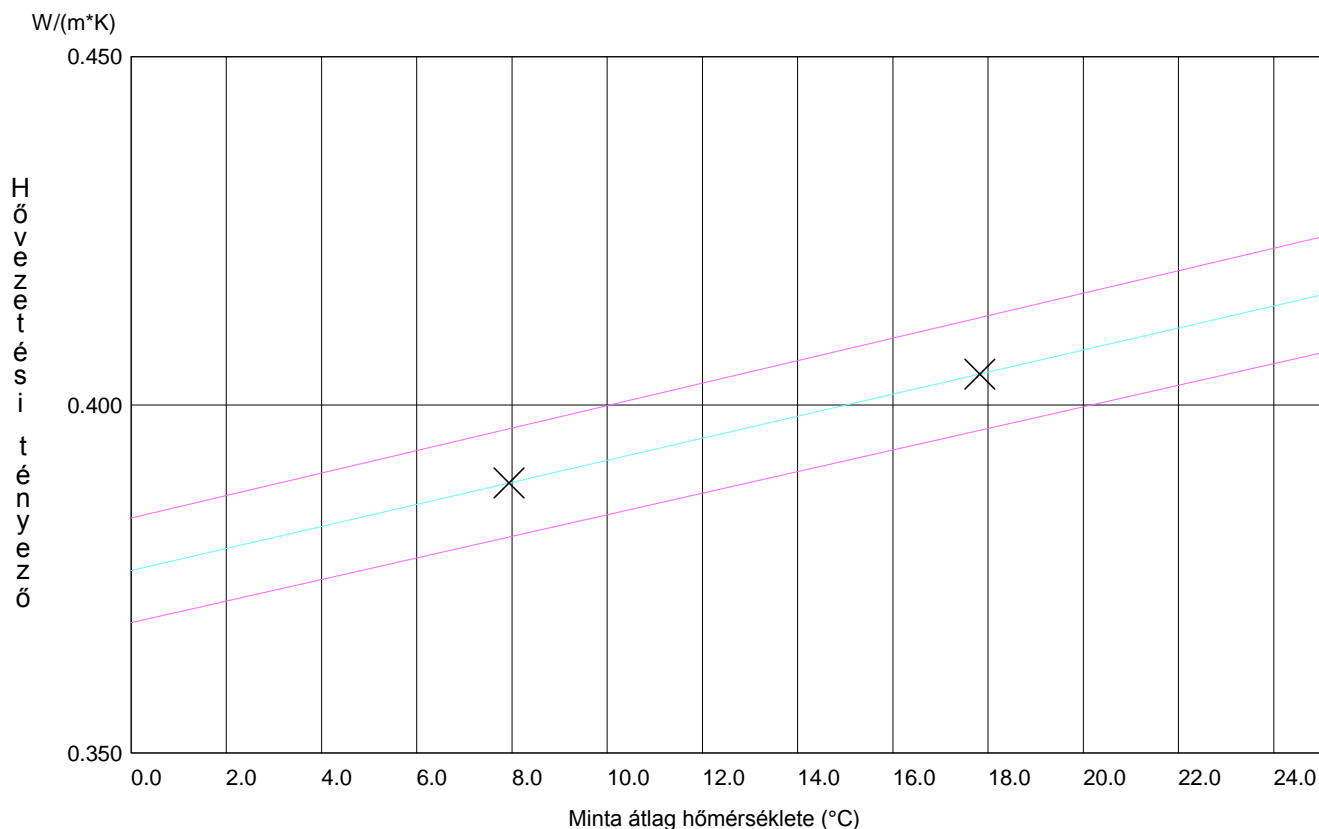
Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék: **JB/100%**

Minta vastagsága 38,53 mm
Minta Minta elnevezés: JB/ 100%
Anyag KEVERÉK
Minta méretei és tömege (300 x300 x 38) mm /4145 g
Vizsgáló ideje 10.29.2012
Műszer TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement
Megjegyzés MÉRÉS SZÁMA: 4
Program-verzió Lambda2010, One-plate

Mérés Sorszám.	Hőáram (W)	Hideg oldal hőmérséklete (°C)	Meleg oldal hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet különbség (K)	Minta átlag hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/m*K)
1	0.657	4.7	11.2	6.5	7.9	0.38879
2	0.678	14.6	21.1	6.5	17.8	0.40444



$\Lambda(10^\circ\text{C}) = (0.3921 \pm 0.0118) \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ $\Lambda = 0.37623 + 0.001583 \cdot \text{MT} \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (tényező 2)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

1111 Budapest
Műgyetem rkp. 3
Tel.: 06 1 463 1768
www.hofizlab.bme.hu

8/E. melléklet

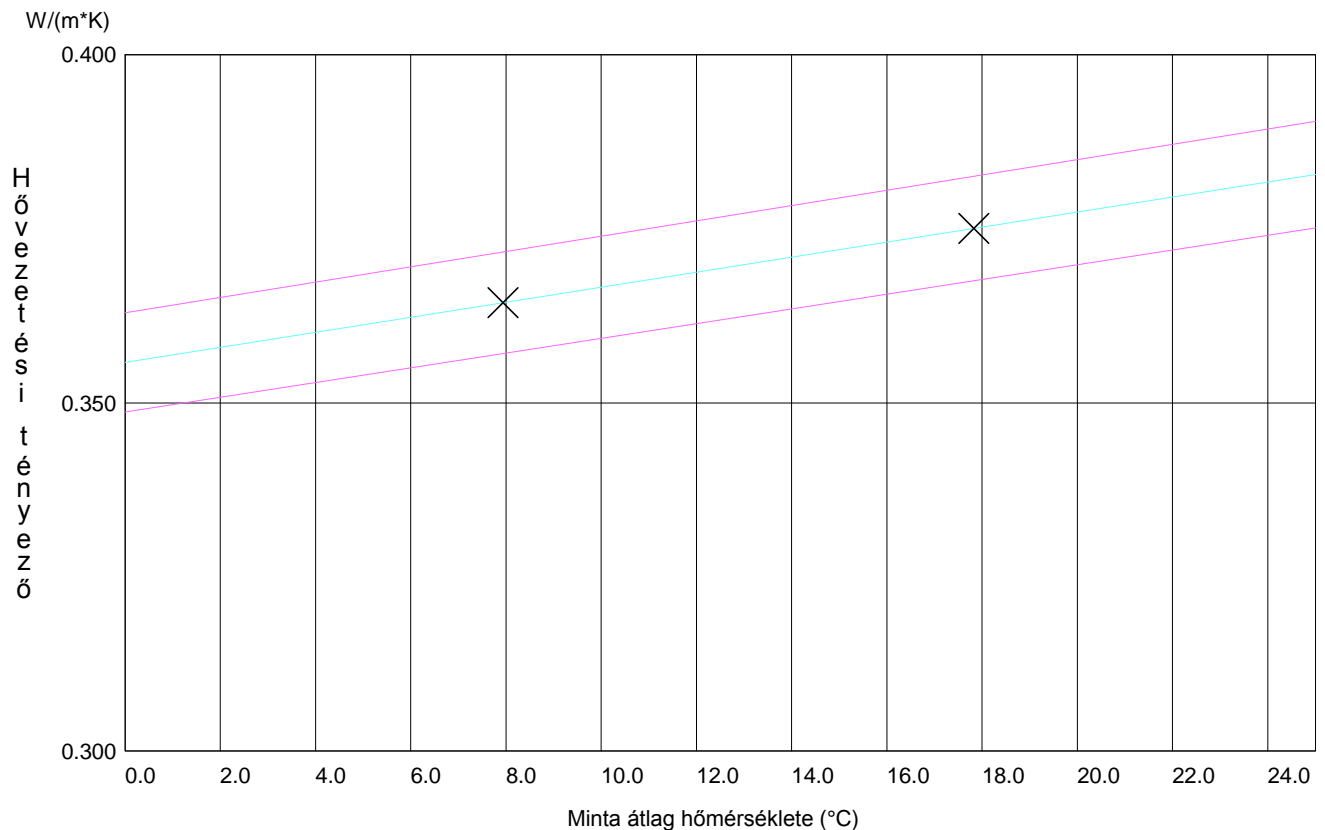
Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék: **JB/90%**

Minta vastagsága 39,34 mm
Minta Minta elnevezés: JB/ 90%
Anyag KEVERÉK
Minta méretei és tömege (300 x300 x 39) mm /4180 g
Vizsgáló ideje 10.30.2012
Műszer TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement
Megjegyzés MÉRÉS SZÁMA: 5
Program-verzió Lambda2010, One-plate

Mérés Sorszama.	Hőáram (W)	Hideg oldal hőmérséklete (°C)	Meleg oldal hőmérséklete (°C)	Hőmérséklet különbség (K)	Minta átlag hőmérséklete (°C)	Hővezetési tényező (W/m*K)
1	0.624	4.6	11.3	6.7	7.9	0.36438
2	0.639	14.5	21.2	6.7	17.8	0.37505



$\Lambda(10^{\circ}\text{C}) = (0.3666 \pm 0.0110) \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$ $\Lambda = 0.35582 + 0.001079 * MT \text{ W}/(\text{m}^{\circ}\text{K})$

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (tényező 2)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

1111 Budapest
Műegyetem rkp. 3
Tel.: 06 1 463 1768
www.hofizlab.bme.hu