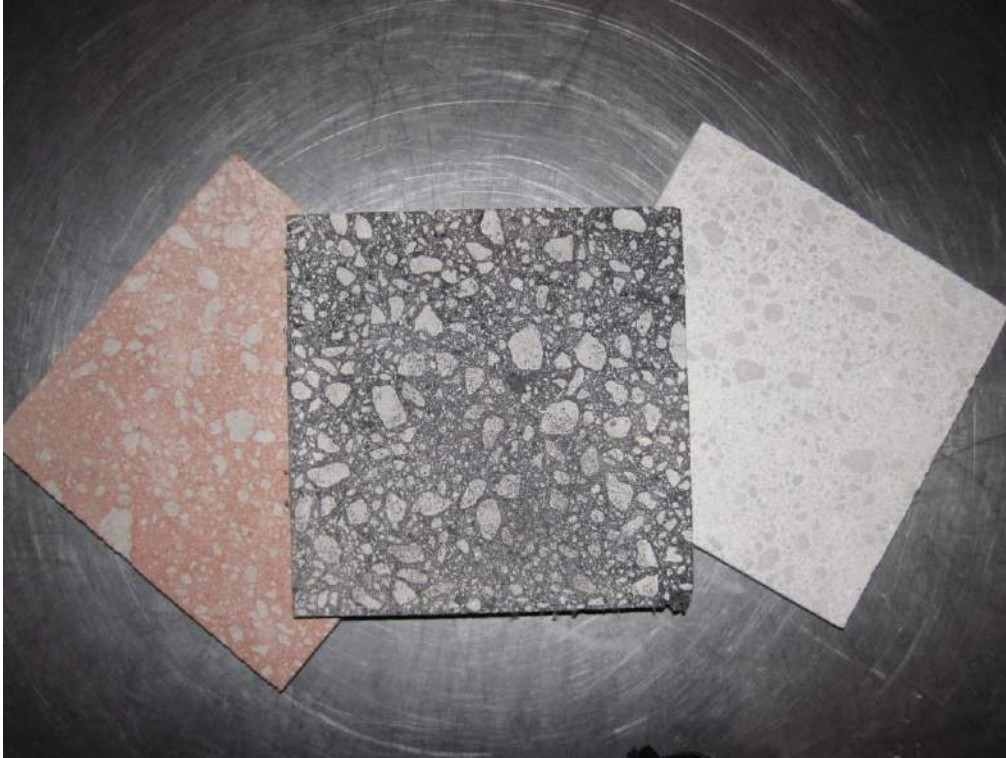


Pórusbeton hulladék újrahasznosításának lehetőségei



Szerző:

Jankus Bence, Építészmérnöki Kar, V. évfolyam

Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék

Konzulens:

Dr. Fenyvesi Olivér, adjunktus

BME Építőmérnöki Kar

Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék



Budapest, 2014. október 22.

Szakkifejezések jegyzéke

- Aluminátmodulus: cementekben az alumínium hidroxid és a vas hidroxid arányát jellemző tulajdonság.
- Bányarekultiváció: a volt bányatelek újrahasznosításra való alkalmassá tétele. [27]
- Derivatográfiás vizsgálat: vizsgálati módszer, mely tetszőleges anyagminták kémiai összetételének meghatározására alkalmas. A vizsgálat lényege, hogy a berendezés a minták 1000 °C-ra történő hevítése során bekövetkező tömegcsökkenéseket méri, ebből lehet következtetni az egyes anyagösszetevőkre (minden alkotó anyag más-más hőmérsékleten bomlik el).
- Duktilitás: képlékeny alakváltozási képesség.
- Esztrich: kis szemnagyságú adalékanyaggal előállított, kissé képlékeny konzisztenciájú, vékony (maximum 6 cm), vasatlan lemezek előállítására alkalmazott betonkeverék.
- Halmazsűrűség [ρ_h]: az anyaghalmaz egységnyi térfogatának (V_h) tömege (m_h) ($\rho_h = \frac{m_h}{V_h}$). [23]
- Hézagosság: 1-T
- Hidraulikus kötőanyag: Vízen és levegőn egyaránt megszilárduló kötőanyag, a víz a megszilárdult terméket nem oldja (pl. cement). [23]
- Hidrofóbizálás: egy felület nyitott pórusainak lezárása víztaszító (hidrofób) anyaggal.
- Konzisztencia: a friss betonkeverék bedolgozhatóságát/tömöríthetőségét jellemző tulajdonság.
- Látszólagos porozitás: szilárd anyag víz által járható pórusainak térfogataránya.
- Lambda érték: a hővezetési tényező egyik közkeletű megnevezése.
- Porozitás: egységnyi térfogatú, kiszáritott anyagban a pórusok részaránya. $(1-T_i)$ [23]
- Polisztirolbeton: polisztirol gyöngy adalékanyagú könnyűbeton. Alacsony testsűrűségéből következő jó hőszigetelő képessége miatt közkedvelt hőszigetelő anyag. Terminológiailag az adalékanyagok hőszigetelő könnyűbetonok kategóriájába tartozik.
- Portlandit: a cementkötésű anyagok szilárdulása során létrejövő, szilárdságot nem adó, kristályos kalciumhidroxid. [33]
- Pórusbeton: mészből, homokból, vízből és alumínium pasztából magas hőmérsékleten, nagy nyomás alatt (autoklávban) készített, nagy pórustartalmú építőanyag.
- Röntgen diffrakciós vizsgálat: építőanyagok belső szerkezetének meghatározására kifejlesztett vizsgálati módszer, mely az egyes anyagösszetevők molekulaszervezetéből következő eltérő röntgensugárral való gerjesztési képességen alapszik.
- Szívóosság: energiaelnyelő képesség.
- Szorpció: nedvességfelvétel levegőből.

- Tömörség [T]: a természetes állapotú kiszáritott anyag, ill. halmaz térfogatában lévő szilárd anyag részaránya, azaz a testsűrűség $[\rho_t]$ és a sűrűség $[\rho]$ hányadosa. ($T = \frac{\rho_t}{\rho}$). [23]
- Testsűrűség $[\rho_t]$: egységnyi térfogatú építőanyag tömege. Másképpen megfogalmazva az anyag tömegének és térfogatának hányadosa ($\rho_t = \frac{m}{V}$) [23]. A test térfogata itt tartalmazza a pórusokat, kapillárisokat is.
- Tiszta portlandcement: mai értelemben a portlandcement a szilikátcementek azon fajtája, amelynek portlandcementklinker-tartalma adott határértéket elér. Ez a határérték az MSZ EN 197-1:2000 szabvány szerint általában 65 m% (CEM I és CEM II cementfajták). [34]
- Újrafelhasználás: hulladékok energia befektetés, feldolgozás nélküli alkalmazása anélkül, hogy a termék jellemzőit érdemben megváltoztatnánk.
- Újrahasznosítás: folyamat, mely során hulladékokból energia befektetésével másodlagos nyersanyagokat állítunk elő.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés, témaválasztás indoklása	6
2. A jelen kutatás előzményei	6
3. A hulladékkezelés nemzetgazdasági és jogszabályi háttere	8
4. Szakirodalmi háttér	10
4.1. Építőipari hulladékok újrahasznosítása	10
4.2. Pórusbeton hulladék	14
4.3. Beton falburkolatok	17
5. Pórusbeton hulladék, mint adalékanyag	19
5.1. Felhasznált alapanyag	19
5.2. Az adalékanyag előkészítése	20
5.3. Adalékanyagon végzett vizsgálatok	22
5.3.1. Nedvességtartalom, nedvességfelvétel	22
5.3.2. Adalékanyag szemcse-testsűrűség és vízfelvétel	22
5.3.3. Adalékanyag halmazsűrűség	24
6. Pórusbeton adalékanyagossal beton tervezése, keverése	25
6.1. Betonkeverékek tervezése	25
6.2. Beton keverése	26
6.3. Próbatetek tárolása	28
7. Laboratóriumi vizsgálatok	28
7.1. Nyomószilárdság	29
7.2. Ütésállóság	30
7.3. Hajlító-húzószilárdság	31
7.4. Fagyállóság	32
7.5. Hővezetési tényező	33
7.6. Vegyi összetételek elemzése	34
8. Vizsgálatok kiértékelése, megállapítások	39
8.1. Mechanikai szempontok	39
8.2. Hő- és páratechnikai szempontok	40
8.3. Javasolt alkalmazási területek	41
9. Gazdaságossági és környezetvédelmi szempontok	42
10. Összefoglalás	44
A témában megjelentetett publikációk	45

Köszönetnyilvánítás	46
Irodalomjegyzék.....	47
Szabványjegyzék	50
Mellékletek.....	51

1. Bevezetés, témaválasztás indoklása

Kutatásomat 2012 februárjában – vagyis már több mint két és fél éve – kezdtem a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem (BME) Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszékén. Témaválasztásom során nagyon fontos szempont volt számomra, hogy olyasmivel foglalkozzak, ami aktuális problémát jelent az építőipar mérnöki szférájában. Így esett a választásom az építőipari hulladékokra.

Hulladék: a modern társadalmak egyik legnagyobb mennyiségben előállított terméke. Napjainkban – mind gazdasági, mind környezetvédelmi téren - világszintű problémát jelentenek az egyre növekvő hulladékhegyek. Ha az átlagember a „szemet”, „hulladék” szavakat hallja, automatikusan a kommunális, háztartásokban keletkező szilárd hulladékanyagokra gondol – holott ezek az éves szinten termelődő mennyiség mindössze 20%-át teszik ki [1]. A fennmaradó 80%-ot az ipari-, mezőgazdasági-, folyékony kommunális-, veszélyes- és építési-bontási hulladékok csoportja alkotja. Ebből az építési-bontási hulladékok majdnem 25%-ot tesznek ki! Világosan látható tehát, hogy milyen jelentős szerepe van az építőiparban a hulladék-újrahasznosítás/újrafeldolgozás hatásfokának.

Az építőiparban leggyakrabban előforduló hulladéktípusok: a beton, acél (szerkezeti és betonacél), téglák és egyéb kerámiatörmelék (cserepek), egyéb falazóelem törmelékek (pórusbeton, polisztirolbeton, stb.), faanyagok (fedélszékek, szerkezeti fák, feldolgozott fatörmelék, nyílászárók). Ezek közül mindenképpen olyan anyagot akartam választani kutatási témának, amely széleskörűen elterjedt, ám még kevesen foglalkoztak vele, nincs műszaki paraméterekkel alátámasztott opció a belőle keletkező hulladék újrahasznosítására. Ezért választottam a pórusbetont.

A pórusbeton termékként (Ytong – a mozaikszó eredete: „Yxhults ånghärdad gasbetong” [2]) komplett építési rendszert kínáló anyag, mely mind hazánkban, mind világszinten közkeletűen alkalmazott. Mindezt az éves forgalmazási adatok is jól illusztrálják: Magyarországon évente mintegy 120.000 m³ pórusbeton falazóelem kerül értékesítésre – ez a szám a világgazdasági válság előtti években 300-400.000 m³ volt -, míg világszinten ez az érték meghaladja a 10.000.000 m³-t is. A pórusbeton (régibbi nevén gázbeton) gyártási technológiája Svédországból származik, Dr. Johan Axel Eriksson svéd építész 1924-es szabadalma alapján [3]. Ebből is látható, hogy a legkorábbi, gázbetonból épített épületek lassan 100 évesek lesznek, így bontásuk egyre hangsúlyosabb kérdés lesz a közeljövőben. Az első Magyarországi gázbeton gyárat 1963-ban alapították, így még a hazai gyártású anyagból készült első épületek is már több, mint 50 évesek.

Kutatásom során a bontási, illetve gyártási technológia melléktermékeként keletkezett pórusbeton hulladék újrahasznosítási kérdéseivel foglalkozom. Az általam kidolgozott alternatívákat laboratóriumi kísérletek során mért műszaki paraméterekkel támasztom alá.

2. A jelen kutatás előzményei

Kutatásom első fázisa 2012. februártól októberig tartott. Az ennek során gyűjtött adatokat és tapasztalatokat a 2012. őszi BME TDK konferenciára benyújtott dolgozatomban [21] közöltem.

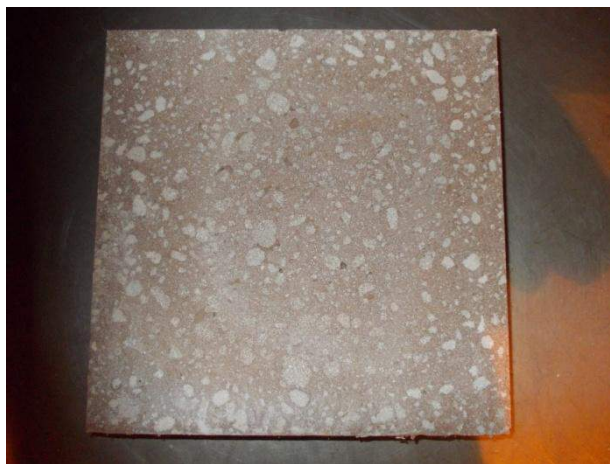
Az első fázis során a kitűzött cél olyan, zúzott pórusbeton hulladék adalékanyaggal készített betonkeverék fejlesztése volt, mely teherbíró könnyűbeton szerkezetek készítésére alkalmas. A keverékeket az alábbi kutatási mátrix (1. ábra) alapján terveztük. A vizsgálatok során négy keverék készült zúzott pórusbeton adalékanyaggal, egy pedig – referenciaként – kvarchomok és kvarckavics adalékanyaggal. A felhasznált cement CEM II/B-S portlandcement volt.

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

1. ábra - Kutatási mátrix az első kutatási fázishoz

A tervezett keverékeken testsűrűségi, nyomószilárdsági, vízzárósági és hővezetési vizsgálatokat végeztünk. A kapott eredmények alapján (nyomószilárdság 12-16 N/mm², testsűrűség: 1250-1400 kg/m³, vízzáróság: XVI(H), hővezetési tényező – 0,37-0,42 W/mK) kijelenthetjük, hogy a pórusbeton hulladékot beton adalékanyagként alkalmazva a kapott keverék alkalmas lehet függőleges teherbíró szerkezetek, falazóelemek készítésére.

Az első fázis során bizonyos vizsgálatokhoz csiszolt felületű próbatestekre volt szükség. A csiszolás során felfedeztük, hogy a cementkőbe ágyazódott adalékanyag szemek szép struktúrát mutatnak (2. ábra).



2. ábra - Próbatest csiszolt felülete

Ezen a vonalon elindulva választottuk további fejlesztési iránynak a burkolati felhasználást. Jelen TDK munka ezzel a fejlesztési iránnyal foglalkozik.

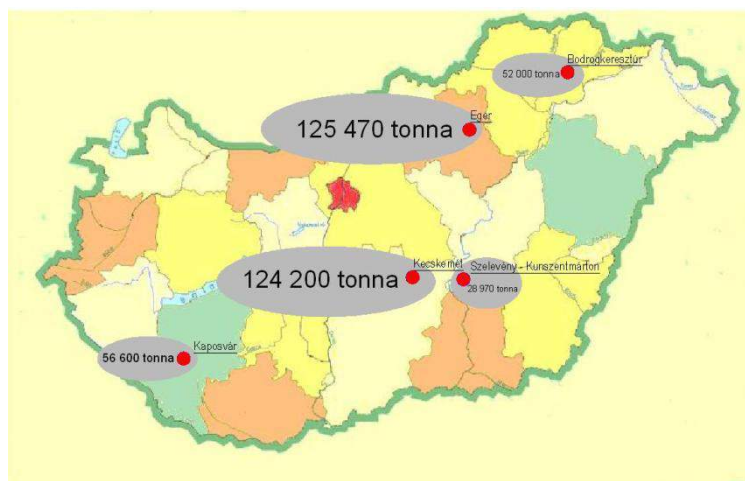
3. A hulladékkezelés nemzetgazdasági és jogszabályi háttere

Az egyre növekvő hulladékképződés hatásának veszélyeit uniós és hazai szinten is felismerték. Körülbelül 15 éve az Európai Unió döntéshozó szervek elhatározták, hogy drasztikusan változtatnak a témára vonatkozó jogszabályokon. Ennek keretében készült el az első, kifejezetten a hulladékgazdálkodás és hulladék újrahasznosítás témájával foglalkozó előírás [4], amely először kezeli az *építési és bontási hulladékokat* különálló kategóriaként. 2004-ben – az EU csatlakozás évében - a magyar kormány kiadott egy rendeletet [5], mely részletesen taglalja az építési és bontási hulladékok kezelésének szabályait. Ez a rendelet gyakorlatilag a fentebb említett EK biztonságtechnikai előírás magyar interpretációja.

E rendelet lényege röviden:

1. Meghatároz egy mennyiségi korlátot, amitől kezdve a szelektív bontás kötelező,
2. lehetőségeket kínál az újrahasznosításra,
3. megnevezi a keletkezett hulladék kezeléséért felelős személyeket,
4. a keletkezési helyen való újrafelhasználási módokat javasol.

A napjainkban hatályos jogszabály [6] - a korábbi rendelkezéseken túlmutatva – meghatároz egy maximális mennyiséget, amely felett a keletkezett építési-bontási törmelék nem tekinthető normál települési hulladéknak és nem rakható le általános hulladéklerakó telepeken. 2003 és 2008 között öt nagyméretű, kifejezetten építőipari hulladékok kezelésére specializálódott telepet (3. ábra) létesítettek országunkban [1] – a meghatározott mennyiségi korlátot meghaladó, a keletkezési helyszínen újrahasznosításra nem kerülő hulladékot itt lehet deponálni. Ezen telepeknek meglete rohamos javulást idézett elő a települési hulladéklerakókban elhelyezett építési hulladékok mennyiségében (2004-ben 91%, 2009-ben 46% került lerakásra).



3. ábra - Építőipari hulladékkezelő létesítmények Magyarországon [1]

A jogszabály – az újrahasznosításra való ösztönzés szempontjából – talán legfontosabb eleme, hogy bevezeti a hulladéklerakási járulékot. (1. táblázat)

Hulladék típusa	Lerakott hulladék egységára évenként (HUF/tonna)			
	2013	2014	2015	2016
Települési hulladék	3000	6000	9000	12000
Építési-bontási hulladék	3000	6000	9000	12000
Veszélyes hulladék	3000	6000	9000	12000
Települési szennyvíziszap	3000	6000	9000	12000
Hasznosítás után visszamaradt és tovább hasznosítható veszélyes és nem veszélyes hulladék	1500	3000	4500	6000

1. táblázat - Hulladéklerakási járulék Magyarországon [1]

„A hulladékról és egyes irányelvek hatályon kívül helyezéséről szóló 2008/98/EK európai parlamenti és tanácsi irányelv (a továbbiakban: HKI) előírja, hogy a tagállamok illetékes hatóságainak egy vagy több hulladékgazdálkodási tervet kell készíteniük. Az említett tervnek önmagában vagy több tervnek együttesen az érintett tagállam földrajzi értelemben vett teljes területét le kell fedniük. Magyarország ennek a feltételnek az Országos Hulladékgazdálkodási Terv (a továbbiakban: OHT) elkészítésével tesz eleget.” [1]

Az OHT – az Európai Unió elvárásoknak megfelelően – 2020. december 31-ig elérendő célnak tűzte ki a 70%-os építési-bontási hulladék újrahasznosítási ráta elérését. Ennek érdekében a magyar kormány tervezi:

1. További építőipari hulladékot feldolgozó létesítmények alapítását,
2. a magas-, mély-, víz-, és útépítési munkálatok során a minimálisan újrahasznosítandó hulladékmennyiség meghatározását,
3. a talajfeltöltések szabályainak szigorítását,
4. a zöld közbeszerzések értékének megnövelését,
5. irányelvek és rendeletek kidolgozását a szelektív bontás bevezetésére (a tervek szerint az irányelvek alkalmazására törvényi úton kötelezik majd a kivitelezőket, beruházókat).

Az OHT-hez kapcsolódó kimutatások azt is bebizonyították, hogy a Hulladéki Információs Rendszer előrejelzései pontatlanok voltak. Az előrejelzések szerint évente 10 millió tonna építőipari hulladék keletkezik, amelyből 7 millió tonna (70%) a kitermelt föld. Ezzel szemben a statisztikák szerint évi 4,5 millió tonna hulladékkal kell számolni, amelyből „csak” 0,7 millió tonna (20%) a földkitermelés.

A hasonló jövőbeli hibák elkerülésének érdekében, a kormány egy 2012-ben kiadott rendeletében [7] pontosan meghatározza a hulladékgazdálkodással járó nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségeket. A hulladéklerakóknak minden, a vonatkozó jogszabályban meghatározott hulladéktípusról – ha abból egy évben 5 tonnánál többet kezelnek - nyilvántartást és anyagmérleget kell vezetniük, amelyről az illetékes minisztériumnak minden tárgyévet követő év március 1-ig adatszolgáltatást kell nyújtaniuk (az adatszolgáltatás egy alkalommal korrigálható a tárgyévet követő év szeptember 1-ig).

Az OHT nyilvántartásai alapján hazánk jól halad a kitűzött 70%-os újrahasznosítási ráta elérése felé. (2. táblázat)

Építési-bontási hulladék	2010	2011
Keletkezett hulladék (tonna/év)	3 053 144	3 269 451
Újrahasznosított (tonna/év)	1 840 400	1 956 791
Újrahasznosítási arány (%)	60,3	59,9

2. táblázat - Magyarországon keletkezett építési-bontási hulladékok [1]

Összességében elmondható, hogy az eddigi eredmények mellett a teljes siker eléréséhez nagymértékű szemléletváltásra van szükség. Az építési-bontási hulladékokra nem mint terhekre, a jogszabályokban meghatározott kötelező kellemetlenségekre, hanem mint potenciális nyersanyagokra kell tekintenünk. Újrahasznosítási lehetőségeikre kísérletekkel alátámasztott módszereket kell kidolgozni, ám ehhez a teljes építőipari szektor támogatására és elfogadó, együttműködő magatartására van szükség.

4. Szakirodalmi háttér

4.1. Építőipari hulladékok újrahasznosítása

Hazánkban a hulladékanyagok újrahasznosításra való előkészítésének egyik vezető kutatója Csőke Barnabás, a Miskolci Egyetem professzora. Cikkében [8] építési hulladékok építési és útbontási célra való előkészítésével foglalkozik.

2005-ös publikációjában arról ír, hogy az újrahasznosítás gazdaságosságát elsősorban a deponálási díjak határozzák meg [1]. Hollandiában például a deponálási költségek egy nagyságrenddel magasabbak, mint az újrahasznosítás költségei. Ez a helyi adókedvezményeknek, beruházás-támogatásoknak, nyereségi- és forgalmi adómenteségnek és a felhasználói adókedvezményeknek köszönhető.

Az építési hulladékokat négy alapvető kategóriába sorolja:

1. Építési törmelék
2. Kitermelt föld
3. Építéshelyi hulladékok (konténerhulladék)
4. Útbontási törmelékek

Csőke szerint az építési hulladékok újrahasznosíthatóságát három peremfeltétel határozza meg:

1. műszaki minőség (összehasonlítva a primer – osztályozott, zúzott kő/kavics/homok - nyersanyagokkal)
2. környezettel való összeférhetőség
3. primer ásványi anyagokkal szembeni gazdasági versenyképesség.

Felhívja a figyelmet, hogy a tisztítás és osztályozás során kiemelt figyelmet kell fordítani a finomrésze, mely gyakran tartalmaz szennyező anyagokat (talajt, nehézfémeket, sókat, szerves anyagokat), melyek nagymértékben ronthatják – akár teljesen tönkre is tehetik – a belőlük készített új anyagot.

Az előkészítés során különböző gépi berendezések végzik az anyagok osztályozását. A méret szerinti válogatást, illetve a szennyezőanyag mentesítést szitákkal, míg az előkészítést, végtermék előállítását törőberendezésekkel végzik. „A technológiai folyamatokban a törés rendszerint több lépcsőben történik. Az építési hulladékok aprításában három törőberendezés játszik kitüntetett szerepet: a pofástörő, az ütő-hengeres törő és a röpítőtörő.” [8]

Korjakins és társai [9] dolomit hulladék újrahasznosítási lehetőségeivel foglalkoztak. Írásuk szerint az utóbbi években nagy mennyiségű alacsony frakciójú (por-szerű) dolomit hulladék halmozódott fel Litvániában, melynek újrahasznosítása megoldatlan kérdés. Egyetlen kimerült dolomitbánya rekultivációja során több mint 10 millió m³ hulladékkal kell számolni.

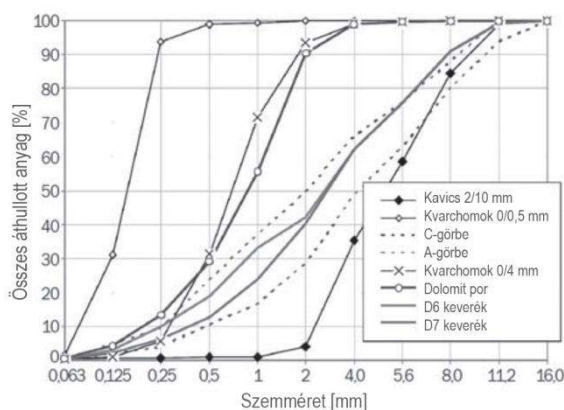
A kutatás során a dolomitpor beton adalékanyagként való használhatóságát tesztelték. A nyers hulladékgazdag előkészítése homogénre keveréssel és (tömegállandóságig) szárítással történt. A betonösszetételek tervezése előtt a kutatók izzítási veszteség méréssel meghatározták az adalékanyag szervesanyag tartalmát és azt a következtetést vonták le, hogy az anyag kellően tiszta a beton adalékanyagként való használathoz.

A röntgen diffrakciós vizsgálatok alapján az általuk felhasznált anyag ásványi összetételét tekintve legnagyobb részben dolomit, kis részben tartalmaz egyéb ásványokat (2,5%-ban kvarcot és 1,5%-ban kalcitokat). Megjegyzendő, hogy ezek az ásványok sem károsak a betonra, így használhatóak adalékanyagként.

A vizsgált betonkeverék tervezése során a kutatás változó paramétere a keverékekben a relatív dolomit por-tartalom volt az összes finomrész-tartalom függvényében. Öt különböző dolomit tartalmú keverék (4. ábra) készült ezzel a tervezési eljárással, illetve két további – referenciaként – a modern betontechnológiában használatos szemeloszlási görbén és finomsági moduluson alapuló betonösszetétel meghatározási eljárással (5. ábra).

Keverék	Dolomit adalékanyagú keverékek					Normál beton	
	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Dolomit por adagolása a teljes finomrész %-os arányában	0	25	50	75	100	0	100
Betonösszetételek [kg/m ³]							
Portlandcement	380	380	380	380	380	350	350
Kavics, 2/10 mm	–	–	–	–	–	1038	1038
Kvarchomok 0/4 mm	1324	1000	676	331	–	–	–
Kvarchomok 0/0,5 mm	234	177	120	59	–	138	–
Remina dolomit por	–	381	762	1169	1558	–	–
Plavinas dolomit por	–	–	–	–	–	–	724
Keverővíz	245	256	260	264	269	212	224

4. ábra – Betonösszetételek [9] alapján



5. ábra - Adalékanyag szemeloszlási görbéi [9] alapján

A keverékek víz-cement tényezőinek meghatározása a frissbeton konzisztencia függvényében történt. A cél az volt, hogy az összes keverék konzisztenciája azonos legyen – így a víz-cement tényező 0,6 és 0,75 között változott.

A vizsgált keverékek szabvány – 28 napos – jellemző nyomószilárdsága 27-32 N/mm², szilárd testsűrűsége 2170-2340 kg/m³ között változik. A keverékek 100-150 fagyás-olvadási ciklust képesek elviselni. (6. ábra)

Keverék	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Dolomit por adagolása a teljes finomrészt %-os arányában	0	25	50	75	100	0	100
Beton teljesítményjellemzői							
Testsűrűség [kg/m ³]	2196,0	2170,0	2229,0	2173,0	2229,0	2301,0	2335,0
Nyomószilárdság 7 napos korban [MPa]	16,5	16,0	16,0	16,4	17,4	19,5	20,8
Nyomószilárdság 28 napos korban [MPa]	27,0	27,1	26,8	28,4	28,6	32,3	31,5
Vízfelvétel [%]	6,8	8,2	8,3	8,0	7,8	–	–
Elviselt fagyási ciklusok	F100	F100	F100	F100	F100	F150	F150

6. ábra - Betonkeverékek műszaki teljesítményjellemzői [9] alapján

Az eredmények szerint a dolomit tartalmú betonok közel azonos fagyállóságot és nyomószilárdságot mutatnak a hagyományos, kvarchomokkal készített betonokkal. A dolomit adalékanyag keverékek vízfelvétele és nyomás alatti vízbehatolása nagyobb a hagyományos kvarchomok-betonokénál. Fontosnak tartom megjegyezni azonban, hogy az így készített keverékek agresszív, savas környezetben nem ellenállóak.

Az eredmények alapján a dolomit hulladék – bizonyos felhasználási helyeken - megfelelő helyettesítőanyagként szolgálhat a kvarchomok helyett betonokban.

A téma hangsúlyosságát mutatja, hogy a Nemzetközi Betonszövetség (**fib**) Magyar Tagozata 2005-ben egy műszaki irányelvet [10] adott ki, mely bontási-, építési- és építőanyag gyártási hulladékok újrahasznosításával készülő betonkeverékek műszaki teljesítőképességét és tervezési elveit tárgyalja.

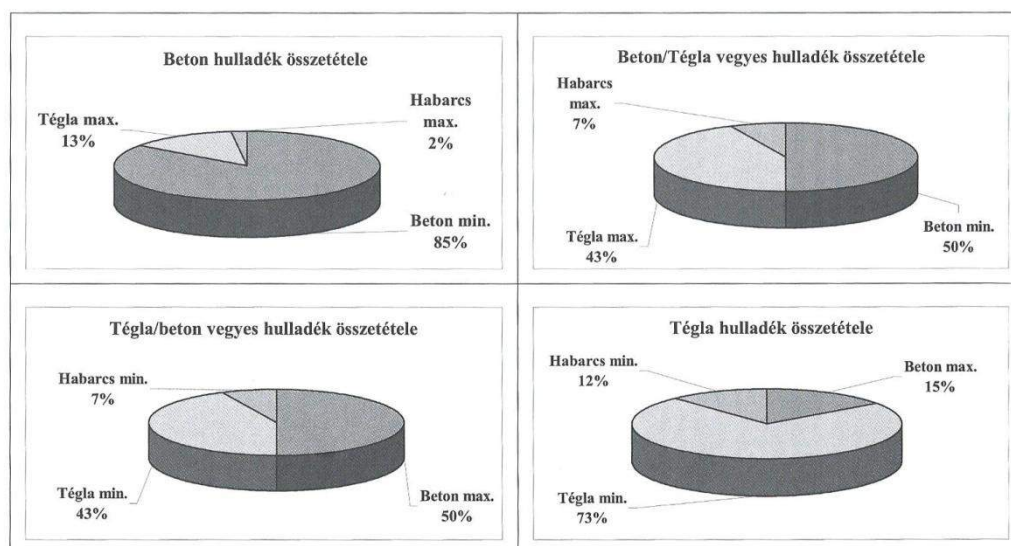
Az irányelv részletesen kitér a beton alkotóelemeinek műszaki megfelelőségére:

- cement: Hulladék adalékanyaggal készülő betonokban az MSZ EN 197-1:2000 [I] szabvány szerinti CEM I tiszta portlandcement, CEM II összetett portlandcement és CEM III kohósalak cement használatát javasolják. Használható még továbbá az MSZ 4737-1:2002 [II] szerinti szulfátálló (S) és mérsékelten szulfátálló (MS) cement is.
- újrahasznosított adalékanyag: Az irányelv kiemeli, hogy a jó minőségű adalékanyag előállításához nélkülözhetetlen a szelektív bontás. Ez összhangban van a megfelelő kormányzati irányelvvel [1], ám bizonyos esetekben megengedhető egyéb anyagoknak is a hulladékhalmazban hagyása (pl. pórusbeton falazat esetén a vakolat és/vagy a falazóhabarcs). Az adalékanyagokat az irányelv összetételük szerint négy osztályba

sorolja: beton-, beton/tégla (több benne a beton) vegyes-, téglabeton (több benne a téglabeton) vegyes-, téglabeton hulladék (7, 8. ábra).

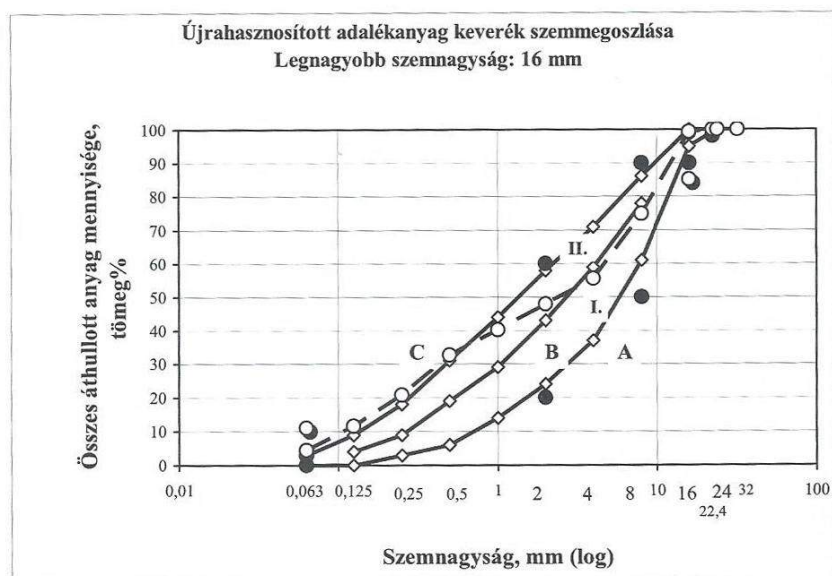
Az újrahasznosított adalékanyagok csoport beosztása az építőanyagok szerinti összetétel alapján	Beton szemek (b)	Tégla szemek (t)	Habarcscs szemek (h)
	aránya az újrahasznosított adalékanyag 4 mm szemmagyság feletti tartományában, tömeg%		
Beton hulladék	85 - 100	0 - 13	0 - 2
Beton/tégla vegyes hulladék	50 - 85	13 - 43	2 - 7
Tégla/beton vegyes hulladék	15 - 50	43 - 73	7 - 12
Tégla hulladék	0 - 15	73 - 86	12 - 14
feltételezve, hogy akkor	$b_1 - b_2$	$t_1 - t_2$	$h_1 - h_2$
	$b_1 + t_2 + h_2 = 100$ $b_2 + t_1 + h_1 = 100$ $h_1 = t_1/6$		
Például téglabeton/beton vegyes hulladék esetén:			
ha $b_1 = 15$, $t_2 = 73$, $h_2 = 12$		akkor $b_1 + t_2 + h_2 = 100$	
vagy ha $b_2 = 50$, $t_1 = 43$, $h_1 = 7$		akkor $b_2 + t_1 + h_1 = 100$	
vagy ha $t_1 = 43$		akkor $h_1 = t_1/6 \approx 7$	

7. ábra - Hulladék adalékanyagok osztályozása összetételük alapján [10]



8. ábra - Különböző összetételű adalékanyagok [10]

A beton hulladék közönséges, a beton/tégla- ritkán közönséges, többnyire könnyű, a téglabeton- és a téglabeton hulladék leggyakrabban könnyű adalékanyagok számításba. Az irányelv meghatározza az adalékanyag halmazokon végzendő vizsgálatokat is. Az adalékanyag halmaz szemeloszlására vonatkozó előírások megegyeznek az MSZ 4798-1:2004 [III] szabványban támasztott követelményekkel. A szemeloszlási görbe (9. ábra) kiléphet az A és C görbék által meghatározott területből, akár lépcsős is lehet.



9. ábra - Példa hulladék adalékanyagok esetén elfogadott szemeloszlási görbére [10]

- keverővíz: A szükséges keverővíz mennyiséget két részletből kell meghatározni: alap- és többletvízből. Az alap keverővíz a cementmennyiség és a víz-cement tényező szorzata. A többletvíz az adalékanyag rövid idejű vízfelvételével megegyező mennyiség. E két mennyiség összege adja a keverőgéphez adagolandó vízmennyiséget. A keverővíz ivóvíz minőségű kell legyen.
- betonerősítő szál: „Az újrahasznosított adalékanyagú beton tulajdonságainak javítására, mint a friss beton állékonyságának javítására, a szilárduló beton repedés-érzékenységeinek csökkentésére, a szilárd beton szívósságának fokozására, szilárdságának kedvező befolyásolására stb. acél-, műanyag-, szén-szálakat lehet alkalmazni.” [10]

A hulladékhalmaz előkészítésének lépéseire külön kitértek az irányelv szerzői. A törőberendezések közül említik a:

- pofás törőt (fajlagos üzemi költsége alacsony, törete durva, szemhiányos) [8]
- röpítő törőt (törete folyamatos, szemalakja zömök) [8]
- kalapácsos törőt (fajlagos üzemi költsége magas, törete durva, sok finomrészt tartalmaz)
- kúpos törőt (fajlagos üzemi költsége közepes, töretének finomrésztartalma közepes).

Az irányelvről részletes összegző cikksorozat (Balázs, Kausay) is megjelent a Vasbetonépítés folyóiratban [11] [12].

4.2. Pórusbeton hulladék

Mint azt témaválasztásom indoklásánál kifejtettem, pórusbeton hulladékkal rendkívül kevesen foglalkoztak. Hosszas kutatómunkám során rendkívül kevés olyan szakcikket találtam, amiben ténylegesen a pórusbeton hulladék újrahasznosíthatóságát tárgyalták.

Topcu és Seridemir [13] kutatásának célja az volt, hogy bizonyítsák, a pórusbeton adalékanyagok könnyűbeton előállítható laboratóriumi vizsgálatok nélkül is, pusztán egy modell számításaira hagyatkozva. Az ANN (Artificial Neural Network) modelleket 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 szemmagyságú zúzott pórusbetont, illetve kvarckavicsot használtak 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 $\sim 22-25$ N/mm²; 100%-os pórusbeton adalékanyag tartalom esetén $\sim 12-15$ N/mm²), az ultrahang terjedési sebességét az anyagban, és rugalmassági modulusát (50%-os pórusbeton adalékanyag tartalom esetén $\sim 4-4,75 \times 10^4$ N/mm²; 100%-os pórusbeton adalékanyag tartalom esetén $\sim 3,4-3,8 \times 10^4$ N/mm²).

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

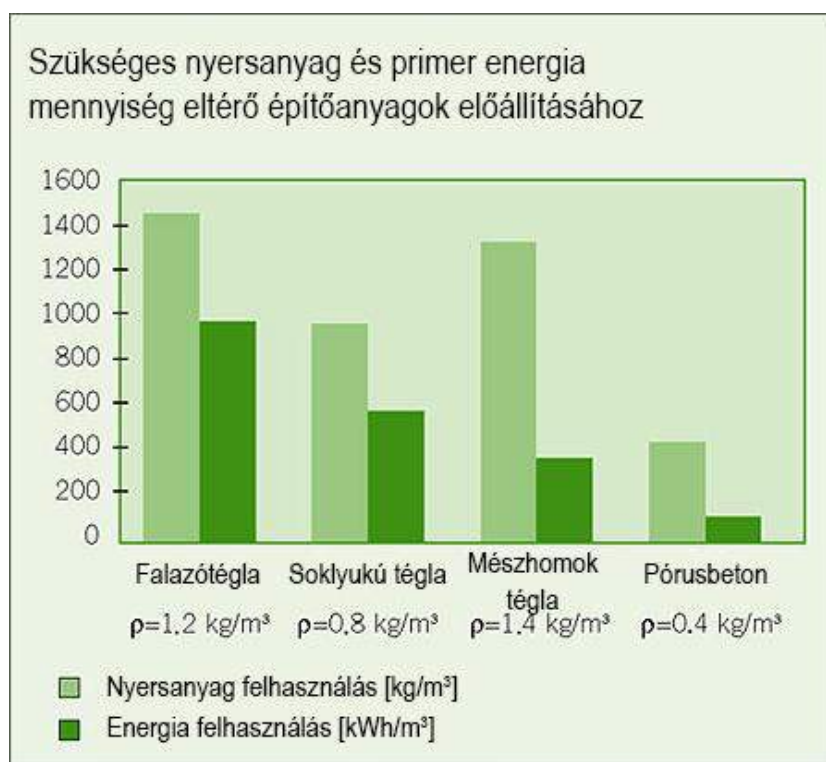
Sinica és társai [14] a környezettudatosság oldaláról közelítették meg a pórusbeton falazóanyagokból keletkező hulladék kérdését. A kutatás tárgya zúzott pórusbeton adalékanyaggal készített könnyűbeton volt.

A vizsgálatokhoz 2,5/10 mm szemcseméretű zúzott pórusbeton szemcséket használtak adalékanyagként és sikerült előállítaniuk egy 850 kg/m³ testsűrűségű 4,0 N/mm² 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 a puccolánosság javítására SiO₂ port adagoltak. A keverékekből készített mintákon nyomószilárdsági, testsűrűségi, hidrotechnikai és hővezetési vizsgálatokat, végeztek, illetve róluk elektronmikroszkópos fotókat készítettek.

Eredményeik szerint 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 50µm vastag cementkő burok zárja körbe, szoros kötéseket alakítva ki az egyes szemek között.

Nielsen és társai [2] az újrahasznosítás lehetőségeivel, és a hulladéklerakó depóniákba kerülő pórusbeton hulladék környezeti hatásaival foglalkoztak.

Kiemelik, hogy a pórusbeton már előállítási technológiáját tekintve is egy környezetbarát anyag. Még jobb lenne azonban, ha az újrahasznosítás lehetőségei is mélyebben kutatottak lennének.



10. ábra - Pórusbeton és egyéb építőanyagok előállítási forrásszükségei [2] alapján

Tanulmányukban több újrahasznosítási/újrafelhasználási lehetőséget is megfogalmaznak a pórusbetonnal kapcsolatban:

1. Új pórusbeton termékek gyártása a hulladékból
2. talajok és rézsűk stabilizációja során való újrafelhasználás
3. macskaalomként való újrafelhasználás
4. beton/esztrich adalékanyagként való újrahasznosítás.

A pórusbetont előállító üzemek 100%-ban vissza tudják forgatni a gyártás során keletkezett hulladékukat a gyártási technológiába. Több üzem az egészen apróra zúzott, tiszta hulladékfrakciókat macskaalomként értékesíti. Nevetségesnek tűnhet, de így fajlagosan jóval több bevételük származik az anyagból, mintha falazóelemként értékesítenék az építőipari szférában.

Alacsony testsűrűsége alapján alkalmas nem teherviselő betonszerkezetek (pl. esztrichek, feltöltések) készítésére.

A tanulmány szerzői felhívják a figyelmet a pórusbetonból kioldható szulfátokra, melyeknek a külső térben történő felhasználás során környezetkárosító hatása lehet. Ennek megelőzése érdekében a külső térben való alkalmazás esetén javasolják a pórusbeton szemek cementbázisú mátrixba való ágyazását, mely segíti a szulfátkioldódás megelőzését.

Hartmann és Buhl cikke [15] a pórusbeton egy új, vegyipar számára hasznosítható módon való újrahasznosításával foglalkozik.

A szerzők felhívják a figyelmet a pórusbeton újrahasznosításának fontosságára. A hulladéklerakókba kerülő pórusbetonból ugyanis káros szulfátok és egyéb vegyületek oldódhatnak ki [2], melyek föld- és talajvízszennyezést okoznak. Az így szennyezett talajvíz a felszín alatti betonszerkezetekbe bejutva szulfátkorróziót idézhet elő.

A pórusbeton, vegyi összetételét tekintve alapvetően SiO_2 -ből (45 Mol%), CaO -ból (30 Mol%) és Al_2O_3 -ból (5 Mol%) áll. Ezen kívül tartalmaz Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , MgO és SO_3 kristályokat. A kutatók felismerték, hogy ezekből az alkotóelemekből nagy mennyiségben nyerhetők ki az ún. zeolitsoport bizonyos tagjai, melyeket a vegyipar előszeretettel alkalmaz ioncserefolyamatoknál, nedvszívó testekként, vagy különböző reakciók katalizátoraként.

A kutatás alapja, hogy a fent említett kioldódási tulajdonságot kihasználva először gyenge savakkal kinyerik a kívánt zeolitokat a hulladékból, majd sav-bázis reakcióval szintetizálják a sókat.

Shui és társai dehidratált pórusbeton zúzalék és pernye felhasználásával készítettek cementbázisú keverékeket [16].

Az adalékanyagként használni kívánt pórusbeton hulladékot $75\text{ }\mu\text{m}$ -nél kisebb szemekre zúzták, majd a port $900\text{ }^\circ\text{C}$ -ra hevítették, így távolítva el a felesleges nedvességtartalmat. A hidratációs folyamatot röntgen-diffrakciós eljárással követték, a hidratáció során felszabaduló hő és a cementmátrixba beépülő nem illékony kristályvíz mennyiségének függvényében.

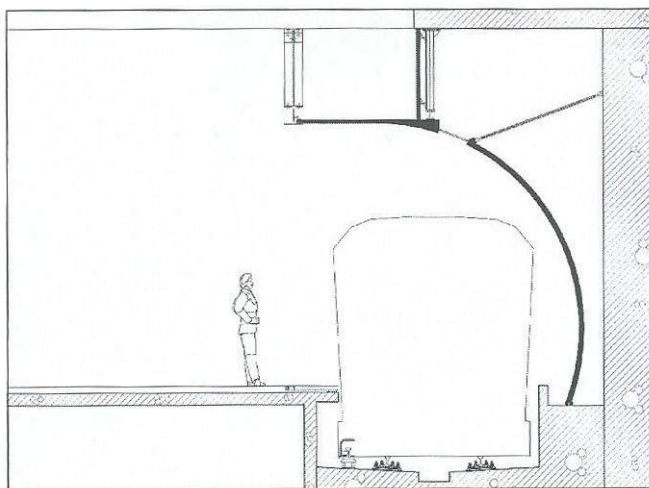
Az előkészítés során azt tapasztalták, hogy a legjobb minőségű dehidratált alapanyagot a zúzott hulladék $700\text{ }^\circ\text{C}$ -on való égetésével kapják. Az így előállított alapanyag legnagyobb részében $\beta\text{-C}_2\text{S}$ (β -wallastonit) – mely a tobermorit nevezetű agyagásványból alakult át [17] - és CaO .

A vizsgálatok során azt tapasztalták, hogy minél nagyobb mennyiségben adagolnak pernyét a keverékhez, a hidratációs hő és a kötött vízmennyiség annál alacsonyabbá válik. A legnagyobb nyomószilárdságot a $700\text{ }^\circ\text{C}$ -on égetett alapanyaggal érték el, ez 28 naposan közel 18 N/mm^2 volt.

4.3. Beton falburkolatok

Az utóbbi évek – évtizedek – egyik legjelentősebb építőipari beruházása Magyarországon a 4-es metróvonal építése volt. Az állomások kialakítása mind építészeti, mind mérnöki szempontból nagy kihívást jelentett a tervezők és a kivitelezők számára is. Kozák és Magyar [18] a metró három állomásán (Fővám tér, Szent Gellért tér, Tétényi út) elhelyezett különféle beton burkolatok betontechnológiai tervezésével és tűzvédelmi kérdéseivel foglalkozik.

A tervezés során az építészek a metró kocsik fölé boruló íves betonpaneleket álmodtak meg az állomásokra (11. ábra).



11. ábra - Íves panelek [18]

A betonösszetételek a panelek mérete (egy-egy panel 4,2 m magas és 50 cm széles) és tűzállósági követelményei alapján lettek meghatározva. A betontechnológia alappilléreit jelentette a cement nedves őrlése, a polipropilén szál adagolás, illetve az öntömörödő viselkedést lehetővé tevő negyedik generációs folyósítószer. A keverékekhez CEM I 52,5 fehér cementet, osztályozott homokot és kavicsot, PP szálakat és Viscocrete folyósítószerrel használtak. A keverés során az első lépés a cement nedves őrlése és a szálak keverése volt, utána következett az adalékanyag és keverővíz hozzáadása. A keverékek 400 kg/m^3 cementadagolással, a tűzállósági követelmények miatt 3 kg/m^3 műanyagszál adagolással, Bayferrox vasoxid pigment betonfestékkel készültek. A formázás gyártmányterv alapján készített egyedi acél sablonokban történt. A jellemző 28 napos hajlító-húzószilárdság $8,1 \text{ N/mm}^2$, a 28 napos nyomószilárdság $52,2 \text{ N/mm}^2$ volt. A panelek felületének egyedire formázása betonmatricával történt. Ennek lényege, hogy a kívánt mintázat negatívját egy gumiszőnyegből állítják elő, majd ezt a felületet kötéslassítóval kezelve elhelyezik a zsaluzat belső oldalára. A kizsaluzás után a kötéslassítóval kezelt felületről nagynyomású vízzel a kevésbé kötött cementbőr kimosható, így előáll a kívánt mintázat.

Magyari egy másik cikkében [19] a szálerősítéssel készült előregyártott homlokzati burkolóelemek múltjával, jelenével és jövőjével foglalkozik. Magyarországon az első hasonló elemek gyártása az 1980-as évek elején kezdődött. Az organikus építészet képviselői a 90-es évek elején ismerték fel a technológiában rejlő építészeti lehetőségeket és kezdték azt alkalmazni. A cikk több, az elmúlt 20-25 év során épült több jelentős épületen (A Pázmány Péter Katolikus Egyetem piliscsabai auditorium maximuma, a budapesti Angyal Hotel, a Lehel téri, illetve a Fehérvári úti piac, etc.) keresztül mutatja be a technológia fejlődését és az előregyártott elemek alkalmazhatóságának sokoldalúságát.

Az előregyártott homlokzati burkolóelemek egyik legelső alkalmazási példája hazánkban a Szentkirályi út 18. sz. alatt álló irodaépület. Az itt beépített panelek legkisebb vastagsága 20 mm, a rögzítési helyeken minimum 50 mm. A legnagyobb alkalmazott elemméret $1,00 \times 1,50 \text{ m}$. A betonkeverékhez, melyből a panelek készültek, PP és alkáli-álló üvegszálakat vegyesen alkalmaztak. A betonkeverékek szabványos jellemző nyomószilárdsága $46,3 \text{ N/mm}^2$ volt.

A piliscsabai egyetemenél alkalmazott betonpanelek 80 milliméteres vastagsággal és maximum 2,40x0,50 méteres méretekkkel készültek. A cikk a többi példaként említett épület panelvastagságát és méreteit is megemlíti: Angyal Hotel – panelvastagság: 80 mm, maximális panelméret: 1,22x3,30 m (a legnagyobb panelek tömege meghaladta a 4 tonnát); Lehel-téri csarnok – panelvastagság: 80 mm, maximális panelméret: 1,50x1,84 m; Szegedi Tudományegyetem Információs Központja – panelvastagság: min. 45 mm, maximális panelméret: 0,82x1,80 m; Fehérvári úti vásárcsarnok – panelvastagság: 70 mm; maximális panelméret: 1,50x3,30 m.

A fent említett épületek homlokzatán alkalmazott elemeket ugyanaz a cég készítette. A tervezett keverékekbe 40 mm hosszú és 0,18 mm átmérőjű polipropilén szálakat adagoltak. A keverékekbe bedolgozott legnagyobb adalékanyag frakció 4/8 mm volt, a kötőanyag CEM I 52,5 szürke vagy fehér portlandcement. A beton 1 napos nyomószilárdsága $14,0 \text{ N/mm}^2$, a szabványos 28 napos nyomószilárdság $53,8 \text{ N/mm}^2$ volt.

Kozák, Magyarai és Tassi cikke [20] a homlokzatokon elhelyezett polipropilén szál adagolású látszóbeton elemek széleskörű alkalmazhatóságával foglalkozik, ezt egy tűzgátló homlokzati kötényelem vizsgálataival illusztrálja. A szerzők szerint a magyar építőipari gyakorlatban a szálerősített betonok közül a PP szálal készülő keverékek a legelterjedtebbek. Ezen betontípus közkedveltségét bemutatva több épületet is hoznak például, melyeknek homlokzatára műanyagszál erősítésű látszóbeton panelek kerültek elhelyezésére: a Prestige Towers irodaház Budapesten; egy többszintes oktatási épület Pécsen; a Semmelweis Egyetem budapesti oktatási főépülete. A homlokzatok minden épület esetében átszellőztetett rétegrenddel készültek, a panelek acél rögzítőelemek segítségével kerültek elhelyezésre.

A cikk fő témája a szegedi József Attila Tanulmányi és Információs Központ homlokzatán elhelyezett, függőleges homlokzati tűzterjedést gátló kötényelem, mely polipropilén szálerősítésű betonból készült. Az elemek előállítására tervezett betonkeverék a következő volt: 350 kg/m^3 CEM I 52,5 fehér cement, 416 kg/m^3 0/4 milliméteres folyami homokot, 833 kg/m^3 4-8 milliméteres osztályozott kavicsot, 5,25 % (1,5 cement m%) Melment L-40 folyósítószer és 1 kg/m^3 Politon BV-40 polipropilén szál. Egy elem tömege 540 kg volt, a panelek helyükre való emelését három, a gyártás során az elemekbe betonozott M12-es kampós végű menetes szár tette lehetővé. A tűzállósági vizsgálatokhoz 30 és 60 mm vastag paneleket készítettek, a vizsgálatokat 60 napos korban végezték. Az elemek közül egyik sem melegedett 450°C fölé, a tűzállósági teszt elérte a várt eredményt.

5. Pórusbeton hulladék, mint adalékanyag

5.1. Felhasznált alapanyag

A kutatás során Ytong P2-05 (12. ábra) falazóelemek gyártása során keletkezett gyári hulladékot használtuk adalékanyagként.

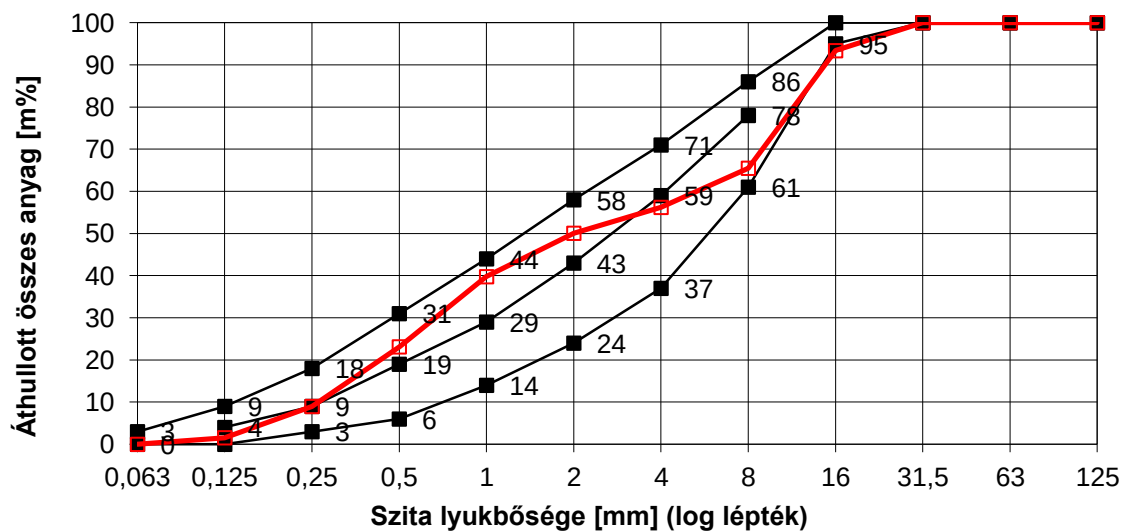
Ytong tervezési alapadatok					
Műszaki jellemzők	Jel	Mértékegység	Forte P4-0,6	Classic P2-0,5	Lambda P2-0,35
Anyagjellemzők					
Testsűrűség					
- névleges testsűrűség	ρ_t	kg/m^3	600	500	350
- számítási érték tervezéshez	ρ_{sz}		800	700	490
Hőtágulási együttható	α_t	K^{-1}	8×10^{-6}	8×10^{-6}	8×10^{-6}
Rugalmassági modulus	E_o	N/mm^2	2000	1750	1250
Páradiffúziós tényező	δ	g/msMPa	0,019	0,027	0,035
Páradiffúziós ellenállási szám	μ		5/10	5/10	5/10
Fajhő	χ	J/kgK	1000	1000	1000
Zsugorodás - számítási érték tervezéshez:	ϵ_{zs}	mm/m	0,15	0,15	0,15
Éghetőség	-	-		A1	
Fagyállóság*	-	-		Nem fagyálló	

12. ábra - Ytong falazóelemek műszaki tulajdonságai [22]

Napjainkra a hazai pórusbeton épületek még nem érték el tervezett élettartamukat, a komolyabb bontási munkálatok még nem kezdődtek meg, így nem áll rendelkezésre tömegében bontott falazóelem törmelék. Kérdés lehet, hogy a bontás során előálló pórusbeton hulladékhalmaz milyen hatásokkal alkalmazható az egyéb anyagú szennyezések (vakolat, habarcsok, festékek, etc.) miatt. A válasz egyszerű: amikor a pórusbetonból épült épületek tömeges bontása megkezdődik, a hulladékgazdálkodási előírások már teljes mértékben kötelezővé fogják tenni a szelektív bontást, a bontott anyag tisztítását és összetevőnként való válogatását. [1] Így a technológiai folyamat végén egy, a tiszta gyártási hulladékot megközelítő tisztaságú anyaghalmaz áll majd a rendelkezésünkre, melyet a jelen kutatásban tárgyaltakkal azonosképpen kezelhetünk majd beton adalékanyagként. Elképzelhető természetesen, hogy olyan hulladékból állítsunk elő adalékanyagot, mely habarcs- és vakolattörmelék is tartalmaz – ez nagy előnyt jelentene az újrahasznosítás szempontjából. Ilyen irányú kísérletek egy további kutatási fázis célkitűzéseként szerepelnek terveink között.

5.2. Az adalékanyag előkészítése

A szakirodalomban ajánlottak [8] – és a laboratóriumi lehetőségek – szerint a pórusbeton hulladékot pofás törőgéppel zúzva készítettük elő a bedolgozásra. Az első kutatási fázisban az így kapott adalékanyag halmazt további feldolgozás nélkül dolgoztuk be a betonkeverékekbe. Ennek az adalékanyag halmaznak a szemeloszlását az alábbi szemeloszlási görbe (13. ábra) (vörös vonal) szemlélteti.



13. ábra - Adalékanyag szemeloszlás

Jelen, második kutatási fázisban az első törési fázison átesett adalékanyag halmazt hat frakcióra (0/0,25 mm; 0,25/1 mm; 1/2 mm; 2/4 mm; 4/8 mm; 8/16 mm) szétszítáltuk (14, 15. ábra).



14. ábra - Pórusbeton adalékanyag frakciók



15. ábra - Pofás törő



16. ábra - Sztasor

A betonkeverékekben alkalmazott adalékanyag szemeloszlását a B-görbe szerint állítottuk be. Az előkészítés során a pofás törővel (15. ábra) előállított adalékanyag halmazban a 2/4 milliméteres frakció jelentősen kisebb arányban fordult elő, mint az a bedolgozáshoz szükséges lenne, ezért további zúzási módszereket próbáltunk ki a megfelelő anyaghalmoz előállítására. A rendkívül nagy mennyiségben előálló 8/16 milliméteres frakciót Los-Angeles (16. ábra), illetve Mikro-Deval (17. ábra) készülékekkel próbáltuk tovább zúzni a kívánt 2/4 milliméteres szemcseméret előállítása érdekében. Sajnálatos módon egyik készülék sem volt alkalmas a megfelelő méret beállítására, a durva 8/16-os szemekből a közepes szemcseméret „átugrásával” finom por frakciójú adalékanyag állt elő.



17. ábra - Los Angeles készülék



18. ábra – Mikro-Deval készülék

5.3. Adalékanyagon végzett vizsgálatok

5.3.1. Nedvességtartalom, nedvességfelvétel

A zúzás előtti nedvességtartalmat szabályos téglatest alakú próbatesteken határoztuk meg. Az elkészített testeknek meghatároztuk a méreteit, illetve tömegét, majd tömegállandóságig szárítottuk őket klímaszekrényben. Így meghatározhatóvá vált a testek eredeti egyensúlyi nedvességtartalma. Ezután a próbatesteket víz alá helyeztük (tömegállandóságig víztelítettük), majd ismét meghatároztuk a geometriájukat és a tömegüket.

A részletes mérési eredményeket az 1. számú melléklet tartalmazza.

5.3.2. Adalékanyag szemcse-testsűrűség és vízfelvétel

Mivel az adalékanyag nagy látszólagos porozitással rendelkezik, rendkívül fontos a szemcse-testsűrűség és vízfelvétel meghatározása. Ennek figyelmen kívül hagyása a betonkeverék tervezésében jelentős hibákat okoz. A nagy vízfelvétellel rendelkező adalékanyag ugyanis elszívja a pépből a víz-cement tényezőből meghatározott keverővíz mennyiséget és rontja a hidratációs fokot, valamint a beton konzisztenciája bedolgozásra teljességgel alkalmatlan lesz.

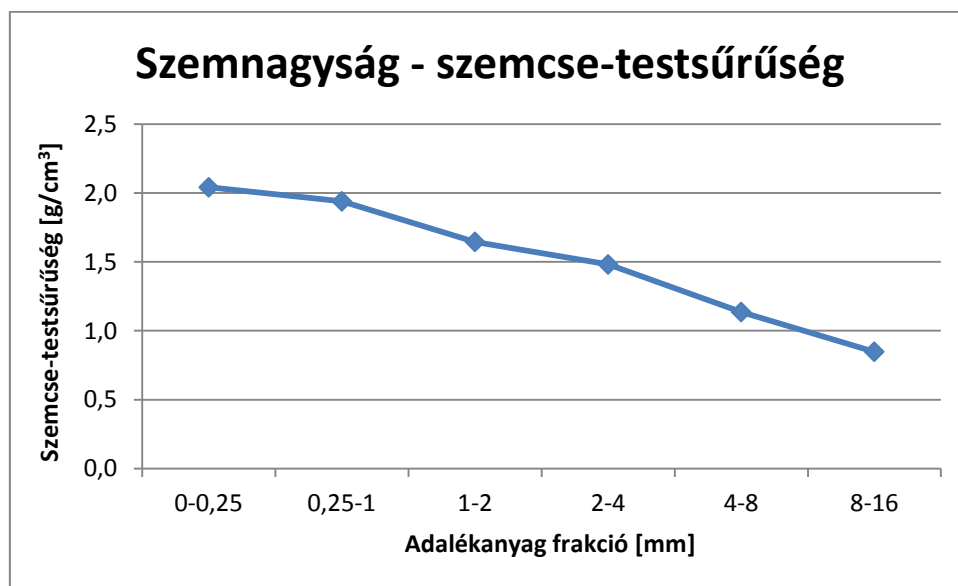
Mivel a zúzás során az adalékanyag fajlagos felülete lényegesen megnőtt az előző pontban részletezett, szabályos próbatestekhez képest, elkerülhetetlen a vízfelvétel

meghatározása az összes szétválasztott adalékanyag frakción. A vizsgálatokat a vonatkozó szabványok [IV] [V] szerint, piknométer segítségével végeztük. A durva frakcióknak (1/2 mm; 2/4 mm; 4/8 mm; 8/16 mm) meghatároztuk a szemcse-testsűrűségét, illetve fél- és 24 óra elteltével a vízfelvételét. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az adalékanyag szemek fél óra alatt felveszik a telítési vízmennyiség 80-85 %-át, így – a szakirodalomban [10] ajánlottaknak megfelelően - ezeket az értékeket tekintettük a betontervezés során mérvadónak (3. táblázat).

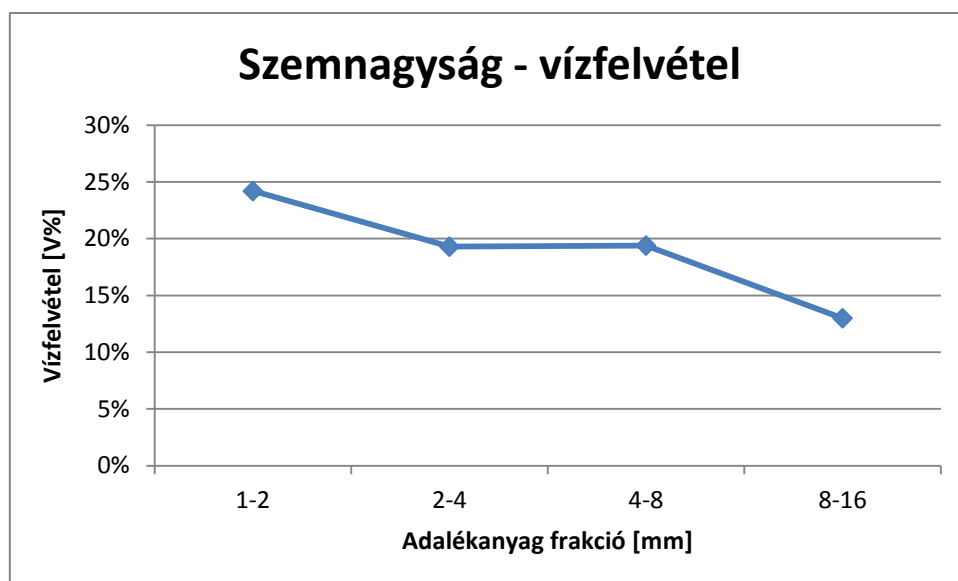
A finom frakcióknak (0/0,25 mm; 0,25/1 mm) nincsen mérhető vízfelvétele, így ezeknek csak a porsűrűségét határoztuk meg. A finom frakciók képesek azonban a felületükön jelentős mennyiségű vizet megkötni – ennek a beton keverésekor jelentős szerepe van.

Szemnagyság [mm]	Vízfelvétel [m%]	Vízfelvétel [V%]	Szemcse-testsűrűség [g/cm ³]
0/0,25	0	0	2,041
0,25/1	0	0	1,939
1/2	14,7%	24,2%	1,645
2/4	13,0%	19,3%	1,481
4/8	17,1%	19,4%	1,136
8/16	15,3%	13,0%	0,848

3. táblázat - Adalékanyag porsűrűség, szemcse-testsűrűség és vízfelvétel vizsgálatok eredményei



19. ábra - Adalékanyag szemnagyság - szemcse-testsűrűség



20. ábra - Adalékanyag szemnagyság - vízfelvétel

A vizsgálatok részletes mérési eredményei megtalálhatók a 2. mellékletben.

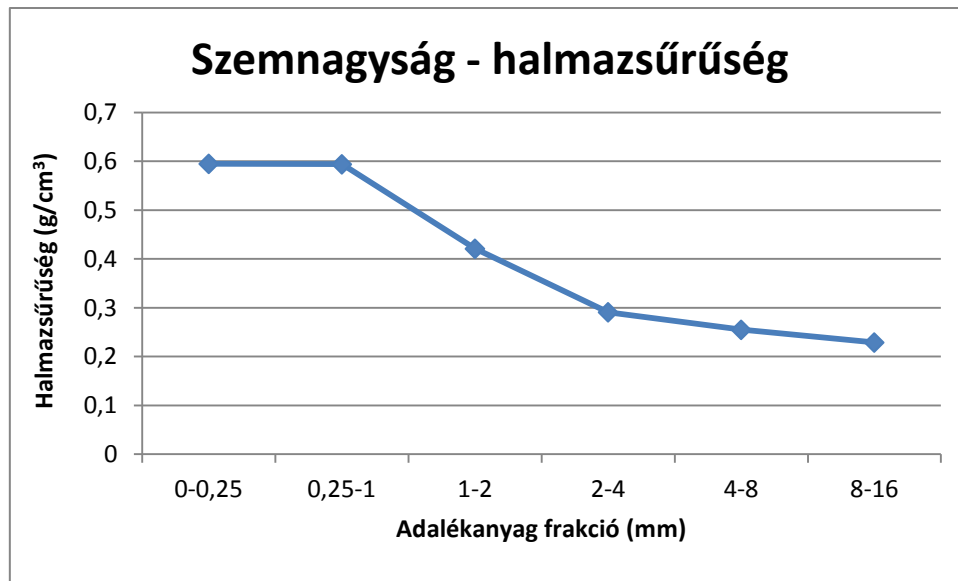
5.3.3. Adalékanyag halmazsűrűség

A betonkeverékek tervezéséhez nélkülözhetetlen adat az adalékanyag frakciók halmazsűrűségének meghatározása – ezeknek az adatoknak az alapján tudjuk a kívánt szemeloszlási görbe adatai alapján meghatározni a betonkeverékbe ténylegesen adagolandó adalékanyag mennyiségeket. A vizsgálatokat a vonatkozó szabványok [IV] [V] szerint végeztük.

Az első kutatási fázis során problémát jelentett a halmazsűrűségi vizsgálatoknál, hogy a mintavétel során a durva szemcsék fölött a finom frakciók átboltozódtak, irreálisan nagy hézagokat hagyva a mintában – ezáltal pontatlan mérési eredményeket kaptunk. Ezt akkor úgy korrigáltuk, hogy a mintákat - a szabvány [IV] [V] előírásaitól eltérve – rázogatóssal tömörítettük. Így jutottunk olyan valós mérési eredményekhez, melyeket a betonkeverékek tervezése során felhasználtunk. A második kutatási fázis során ilyen problémánk nem adódott, mivel az adalékanyagot frakciókra osztályoztuk, így a halmazsűrűségi mérésekre vett minták kellően homogének voltak, nem volt szükség a mérés során a szabvány előírásaitól való eltérésre.

Szemnagyság [mm]	Halmazsűrűség [g/cm ³]
0/0,25	0,595
0,25/1	0,594
1/2	0,421
2/4	0,291
4/8	0,255
8/16	0,229

4. táblázat - Adalékanyag szemnagyság - halmazsűrűség



21. ábra – Szemnagyság - halmazsűrűség

A pontos mérési eredményeket a 3. melléklet tartalmazza.

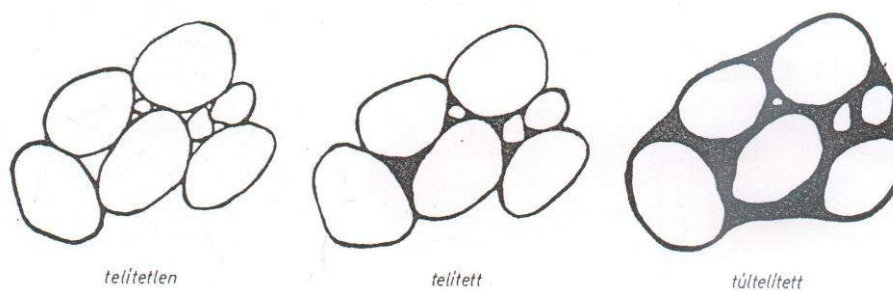
6. Pórusbeton adalékanyagos beton tervezése, keverése

6.1. Betonkeverékek tervezése

Az első kutatási fázis során a keverékek tervezési metodikájának alapja a péptelítettség volt. Ennek lényege, hogy az adalékanyag halmazsűrűségéből és szemcse-testsűrűségéből meghatározzuk a hézagosságot, majd a hézagokat tetszőleges arányban cementpéppel töltjük ki.

$$\text{Hézagosság} = 1 - \frac{\text{Halmazsűrűség}}{\text{Testsűrűség}}$$

Amennyiben a cementpép kitöltés 100%-os, úgy telített, ha kisebb, mint 100%, telítetlen-, ha pedig nagyobb, mint 100%, akkor túltelített betonkeverékről beszélhetünk (22. ábra)



22. ábra - Betonok belső szerkezete telítettségük függvényében [23]

A könnyűbetonok sajátossága, hogy a terheket a betonban a cementkő hordja – ellentétben a közönséges betonokkal, ahol a teherviselésben az adalékanyag és a cementkő is részt vesz. Ennek megfelelően a szakirodalom [24] a teherhordó funkcióra tervezett könnyűbetonoknál javasolja a beton túltelítetre való tervezését. Az első kutatási fázis során ennek eleget téve két túltelített, egy telített és egy telítetlen keveréket készítettünk és vizsgáltunk. Ezen keverékek cementtartalma 500-650 kg/m³ között változott.

Jelen kutatási sorozatban a betonkeverékeket burkolati célra terveztük, ennek megfelelően nyomószilárdsági követelményt – az önhordáson kívül – nem támasztottunk. Ebből következett, hogy a cementtartalom kiválasztásakor a szilárdsági teljesítmény maximalizálása helyett gazdaságossági szempontokat tartottunk szem előtt. Igyekeztünk azt a minimális cementtartalmat megközelíteni, mely mellett a minimális szilárdsági, ütésállósági, és hajlító-húzószilárdsági követelmény még megfelelően kielégíthető. Így – a szakirodalmak [18] [19] [20] javaslatait is szem előtt tartva - három lépcsőben határoztuk meg a cementadagolást: 350, 400, 450 kg/m³-es keverékeket készítettünk.

A keverékekben az adalékanyag szemeloszlását a B-görbe szerint állítottuk be (13. ábra).

Az első kutatási fázis során a hővezetési tényező méréshez csiszolt felületű, 300x300x30 milliméteres próbatestekre volt szükség. Ezek a próbatestek voltak azok, melyeken a csiszolt felület struktúráját látva a burkolati alkalmazhatóság ötletét adták. A testeket a vizsgálatok után a laboratóriumban tároltuk és fél év elteltével a teljes felületen pókhálómintás hajsza-repedéseket fedeztünk fel. Ennek megelőzése érdekében a burkolati célra tervezett keverékekbe műanyag szálerősítést terveztünk [18] [19] [20].

A keverékeket az alábbi kutatási mátrix szerint állítottuk össze (23. ábra).

Betonkeverék	Víz - cement tényező	Cement mennyiség [kg/m³]	Cement típus (CEM I 52,5)	Adalékanyag	Szálerősítés [kg/m³]	Színezék (5 cem m%)
I	0,4	350	Szürke	Zúzott pórusbeton	1,5	vörös
II			Fehér			sárga
III		400	Szürke			sárga
IV			Fehér			vörös
V		450	Szürke			-
VI			Fehér			-
Ref_sz		400	Szürke	Kvarckavics és		sárga
Ref f			Fehér	kvarchomok		-

23. ábra - Kutatási mátrix a jelenlegi kutatási fázishoz

A pontos összetételek megtekinthetők a 4. mellékletben.

6.2. Beton keverése

A betonkeverékek előállítása Zyklos típusú kényszerkeverőben (24. ábra) történt. A beton keverése során már az első kutatási fázisban sok nehézségbe ütköztünk. Az első, pórusbetonos próbakeverés alkalmával az adalékanyag vízfelvételekor számított értékek alapján

meghatározott többletvíz mennyiséget a keverékhez adagolva még mindig egy földnedves, bedolgozhatatlan konzisztenciájú keveréket kaptunk (ábra).



24. ábra – Zyklos típusú kényszerkeverő



25. ábra - Földnedves keverék

Megpróbáltuk a konzisztenciát folyósító adalékszerrel beállítani, ám a keverékben szemmel láthatóan szárazon maradt pórusbeton szemek a folyósítót is felszívták, így az nem tudta kellően kifejteni a kívánt hatást.

A próbálkozások során arra a megállapításra jutottunk, hogy a számított adalékanyag vízfelvételnél azért sokkal nagyobb a keverék vízigénye, mert a finomrész (0/1 milliméteres frakciók), bár pórusokkal nem rendelkeznek, ezért vízfelvétele sincs, a felületén jelentős vízmennyiséget képes megkötni. Több keverésen keresztül nyert tapasztalataink alapján arra jutottunk, hogy a B-görbe szerint beállított adalékanyag halmaz vízigénye 50 m%.

Ezek után meg tudtuk határozni azt a keverési metodikát, mely a legmegfelelőbb a pórusbeton adalékanyaggal készülő betonkeverékek esetén. Első lépésben a durva, látszólagos porozitásból adódó vízfelvétellel rendelkező szemfrakciókat (1/16 mm) adagoltuk a keverőbe. A durva frakciókkal együtt a tervezett száladagolás is hozzáadásra került. A szálat a durva szemekkel szárazon elkevertük a minél homogénebb eloszlás érdekében. Ezek után hozzáadtuk a keverékhez a durva frakciók 50 m%-nak megfelelő mennyiségű vizet, majd az egészet elkevertük. Következő lépésben a finom adalékanyag frakciók (0-1 mm) és tömegük 50 %-nak megfelelő többletvíz került elkeverésre. Végül a keverékhez hozzáadtuk a cementet, a – bizonyos keverékeknél betervezett – színezőanyagot, illetve a víz-cement tényező alapján számított keverővizet. Ezzel a keverési módszerrel elértük, hogy az adalékanyag vízfelvételét tökéletesen ki tudtuk elégíteni, így az nem jelentett további problémát a keverék konzisztenciájának beállítása során és a víz-cement tényezőt is a kívánt értéken tudtuk tartani.

A keverések során alapvető célunk volt, hogy a készített betonok egy egységes, jól bedolgozható konzisztenciával rendelkezzenek. Ezt folyósító adalékszerrel értük el, a konzisztenciát területméréssel határoztuk meg. Az elérni kívánt területi mérték a 40 cm volt.

A betonkeverékeket zsaluleválasztó olajjal kezelt acél sablonokba dolgoztuk be vibrációs rázóasztal segítségével.

A keverések során mértük a frissbeton testsűrűséget, majd a tervezett és mért testsűrűség arányával korrigáltuk a betonösszetételeket.

A pontos összetételek megtalálhatóak az 5. mellékletben.

6.3. Próbatestek tárolása

A mintákat 24 órás korban kiszalasztuk és 20 ± 2 °C hőmérsékletű, mészhidráttal kezelt vízbe helyeztük, ahol 25 napos korig tároltuk őket. 25 napos korban a próbatesteket a víz alól kiemeltük, majd a megfelelő vizsgálatokhoz előkészítettük (szükség esetén vágtuk, csiszoltuk). Ezek után 2 napra 40 ± 2 °C hőmérsékletű légkeveréses szárítószekrénybe helyeztük őket. 27 napos korban a mintákat a szárítószekrényből kivettük és 20 ± 2 °C hőmérsékletű, 60 ± 5 % relatív páratartalmú laborlevegőn tároltuk 24 órán keresztül. Így az összes minta elérte a tömegállandóságot, beállt az egyensúlyi nedvességtartalmuk. A vizsgálatokat 28 napos korban végeztük el.

7. Laboratóriumi vizsgálatok

A műkövek terminológiájának meghatározását az MSZ EN 14618:2009 [VI] szabvány tárgyalja. E szerint:

- Műkő: Ipari termék, mely változó szemméretű adalékanyagok (rendszerint természetes kövek) és egyéb, ezekkel kompatibilis anyagok segítségével, kötőanyaggal készül. A kötőanyag lehet gyanta, cement-bázisú, vagy e kettő keveréke. Adalékanyagként használhatóak természetes vagy újrahasznosított kövek és egyéb adalékok, például zúzott kerámia, üveg, etc. A feldolgozási folyamat nem visszafordítható.
- Műkőből készült termék: Olyan félkész, műkőből készült blokk vagy lap formájú termék, melyből kész felületek állíthatók elő. A műkőből készült termék terminológiája alá esik minden építészetileg fal vagy padlóburkolásra készült műkölap, mely később vágható/nem vágható. A műkőből készült termékek felülete impregnálható a nyitott pórusok lezárásának érdekében. A termékek gittel tömíthetőek, így javíthatóak az egyes természetes kövekből és egyéb adalékanyagokból származó felületi hibák.

Ezen terminológia szerint kijelenthető, hogy az általunk készített betonkeverékek vizsgálhatóak a műkövekre vonatkozó szabványok alapján.

A falburkolásra készülő műkövek tervezésével és vizsgálatával az MSZ EN 15286:2013 [VII] szabvány foglalkozik. Jelen vizsgálatok során mi is ezt a szabványt vettük mérvadónak. A szabvány a kölapokat mérettűrésük és alkalmazástechnikai szempontjaik alapján két osztályba sorolja:

- A. Osztály: Kisebb mérettűréssel készülő kőlapok, melyek alkalmazhatók kül- és beltéri falak burkolására, felületük lehet sima vagy textúrás, rögzítésük történhet mechanikus módszerekkel, vagy ragasztva.
- B. Osztály: Nagyobb mérettűréssel készülő kőlapok melyek alkalmazhatók kül- és beltéri falak burkolására, felületük lehet sima vagy textúrás, rögzítésük csak mechanikus módszerekkel történhet. Ennek oka, hogy így kiküszöbölhetőek a vastagságbeli eltérések és elérhető a burkolt felület teljes síkba hozatala.

A mérettűrések pontos meghatározása után a szabvány a műkölapokon végzendő vizsgálatokat részletezi, rövid leírások mellett a pontos vizsgálati szabványokra hivatkozik. A vizsgálatok alapját az MSZ EN 14617 szabvány adja, a pontos vizsgálati szabványok ennek fejezeteit képezik.

7.1. Nyomószilárdság

A műkövek nyomószilárdsági vizsgálatait az MSZ EN 14617-15:2005 [VIII] szabvány határozza meg. A vizsgálatokhoz a szabvány 70x70x70 mm élhosszúságú, kocka alakú próbatesteket (26. ábra) ír elő. A megfelelő kiértékelhetőség érdekében legalább 6 próbatestet szükséges vizsgálni. Mivel a laboratóriumban nem áll rendelkezésre a szabvány által előírt próbatestek készítésére megfelelő sablon, ezért a próbatesteket 70x70x250 mm élhosszúságú hasábok szeletelésével állítottuk elő. A vizsgálatok során a terhelési sebesség – a szabvány előírásai szerint – 1 kN/s volt.



26. ábra - Nyomószilárdsági vizsgálathoz készített próbatestek 27. ábra - Tönkrement nyomószilárdsági próbatest

A nyomószilárdság (f_c) a törőerő (F) és a nyomott felület (A) hányadosa:

$$f_c = \frac{F}{A} [\text{N/mm}^2]$$

A mérési eredményeket az 5. táblázat tartalmazza.

Keverék	Testsűrűség [kg/m ³]	Nyomószilárdság [N/mm ²]
I	1170	6,0
II	Nem vizsgált keverék	
III	1250	7,0
IV	1067	2,6
V	1230	8,9
VI	1063	2,5
Ref_sz	2360	85,9
Ref_f	2301	65,9

5. táblázat- Betonkeverékek testsűrűsége és nyomószilárdsága

A pontos vizsgálati eredmények megtalálhatóak a 6. mellékletben.

7.2. Ütésállóság

Az ütésállósági vizsgálat a szabvány (MSZ EN 14617-9:2005 [IX]) szerint egy adott átmérőjű, adott tömegű (m) fémgolyó egyre magasabbról a próbatestre való ejtegetésével végzendő (28. ábra). Az ütésállóságot a becsapódáskor elnyelt energia (L), illetve a becsapódás magasságának (h) mértékében adjuk meg. Az egyenletben a „g” a földfelszínen mérhető gravitációs gyorsulás értéke (9,806 m/s²).

$$L = m \times g \times h \text{ [J]}$$



28. ábra - Ütésállósági vizsgálat



29. ábra - Tönkrement ütésállósági próbatest

A mérési eredményeket a 6. táblázat tartalmazza.

Keverék	Ejtési magasság [cm/1 cm vtg]	Elnyelt energia [J/1 cm vtg]
I	14,7	13,0
II	Nem vizsgált keverék	
III	16,7	14,7
IV	10,4	9,2
V	14,9	13,1
VI	12,3	10,8
Ref_sz	12,9	11,4
Ref_f	17,6	15,5

6. táblázat - Ütésállósági eredmények

A mérési eredményeket a próbatestek eltérő vastagsága miatt az összehasonlíthatóság érdekében 1 cm próbatest vastagságra fajlagosítottuk. (6. táblázat)

A részletes mérési eredmények megtekinthetők a 7. mellékletben.

7.3. Hajlító-húzószilárdság

A hajlító-húzószilárdsági vizsgálatokat az MSZ EN 14617-2:2008 [X] jelű szabvány szerint végeztük. A vizsgálatokat 70x70x250 mm élhosszúságú hasáb alakú próbatesteket írnak elő. A vizsgálathoz legalább öt próbatest mérési eredményeire van szükség. A vizsgálat során a hasábokat középen koncentrált erővel terheljük, amíg a törés be nem következik.

A hajlító-húzószilárdság értékei a keresztmetszeti geometriából, a vizsgálati berendezés geometriájából és a törőerőből határozhatóak meg.

$$f_m = \frac{3Fl}{2bh^2} \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

f_m – hajlító-húzószilárdság

F – törőerő

l – a próbatest alátámasztási pontjai közti fesztávolság

b – a próbatest keresztmetszetének szélessége (terhelésre merőleges méret)

h – a próbatest keresztmetszetének magassága (terheléssel párhuzamos méret)

A mérési eredményeket a 7. táblázat tartalmazza.

Keverék	Hajlító-húzó szilárdság [N/mm ²]
I	1,5
II	Nem vizsgált keverék
III	1,9
IV	0,6
V	2,5
VI	0,8
Ref_sz	9,0
Ref_f	12,9

7. táblázat - Ütésállósági eredmények

Kiemelendő, hogy míg a kvarchomok és kvarckavics adalékanyaggal készített etalon keverékek rendkívül rideg módon, hirtelen mentek tönkre (30. ábra), addig a burkolóanyagokból készített, pórusbeton felhasználású keverékeknel a tönkremenetel jóval duktilisabban következett be (31. ábra).



30. ábra - Kavicsbeton próbatétel tönkremenetele



31. ábra - Pórusbeton adalékanyagos próbatétel tönkremenetele

A részletes mérési eredmények megtekinthetők a 8. mellékletben.

7.4. Fagyállóság

A műkövek fagyállósági vizsgálataira vonatkozó előírásokat az MSZ EN 14617-5:2012 [XI] jelű szabvány tartalmazza. A vizsgálat a fagyasztott és etalon (20 °C-on, víz alatt tárolt) próbatestek hajlító-húzószilárdságának összehasonlításán alapszik. A vizsgálathoz öt fagyasztott és öt etalon, 70x70x250 mm élhosszúságú hasábra van szükség. A fagyasztott próbatesteket 25 fagyási-olvadási ciklusnak kell kitenni.

A fagyállósági állandó (KM_{f25}) a fagyasztott (RM_f) és etalon (R_f) próbatestek hajlító-húzószilárdsági teljesítménycsökkenését jelzi.

$$KM_{f25} = \frac{RM_f}{R_f} \times 100$$

A vizsgált könnyű adalékanyagok keverékeken már 10 fagyási ciklus után (32. ábra) is szabad szemmel látható fagyási károk voltak észlelhetők. A próbatestek 25 fagyási ciklus

során bekövetkezett károsodása olyan súlyos volt, hogy a hajlító-húzó szilárdságuk nem mutatott mérhető értéket (33. ábra).



32. ábra - 10 fagycikluson átesett próbatest



33. ábra - 25 fagycikluson átesett próbatest

7.5. Hővezetési tényező

A hővezetési tényező mérése az Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratóriumában, az ISO 8302:1991(E) [XII] szabvány szerint Taurus TLP 300 (34. ábra) típusú géppel történt. A mérés pontossága érdekében sima, párhuzamos felületű, nedvességmentes próbatestekre van szükség, ezért előkészítésként a próbatesteket vizes csiszolókoronggal (35. ábra) egyenletes felületűre csiszoltuk, majd tömegállandóságig 40°C-on szárítószekrényben tároltuk.

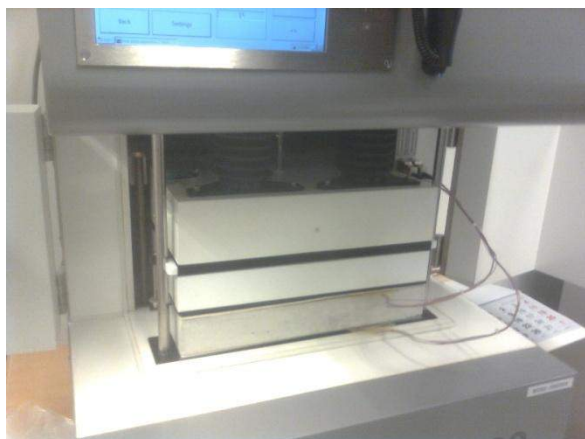


34. ábra - Taurus TLP 300

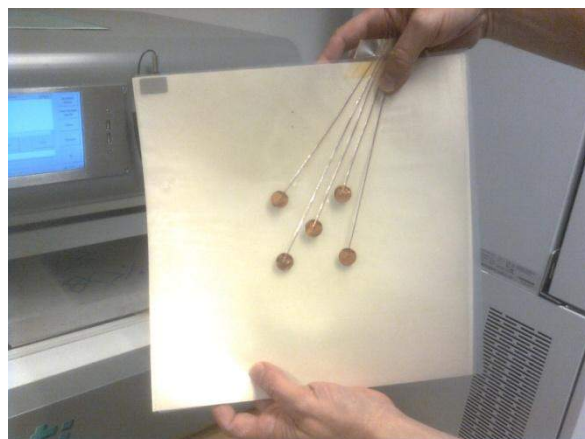


35. ábra - Vizes csiszolókorong

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 próbatestre, a műszerbe való helyezése után 180 N erővel rászorítjuk (36. ábra) a 2 oldalon elhelyezett mérőfóliákat, melyeken öt-öt darab termoelem (37. ábra) található.



36. ábra - Műszerbe beszorított próbatest



37. ábra - Termoelemek

A vizsgálat kezdetekor a próbatest két mért oldalán 10 K hőmérsékletkülönbséget alakítunk ki. A mérés egy 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 három mérési fázisból áll.

A mérési eredményeket a 8. táblázat tartalmazza.

Keverék	Hővezetési tényező [W/mK]
I	0,28
II	Nem vizsgált keverék
III	0,35
IV	0,27
V	0,36
VI	0,38
Ref_sz	Nem vizsgált keverék
Ref_f	1,14

8. táblázat - Betonkeverékek hővezetési tényezője

A pontos mérési jegyzőkönyvek megtekinthetők a 9. mellékletben.

7.6. Vegyi összetételek elemzése

A vizsgálatok megkezdése előtt, miután a próbatesteket a tároló kádakból kiemeltük, a II jelű, pórusbetonnal és fehér cementtel készített keverékből előállított próbatesteken szemmel látható repedéshálózatot (38. ábra) észleltünk. A repedések a szulfátkorrózió átesett próbatestek tönkremeneteléhez hasonló képet mutattak, a próbatesteknek semmiféle mérhető szilárdsága nem volt, kézzel morzsolhatóak voltak (39. ábra).

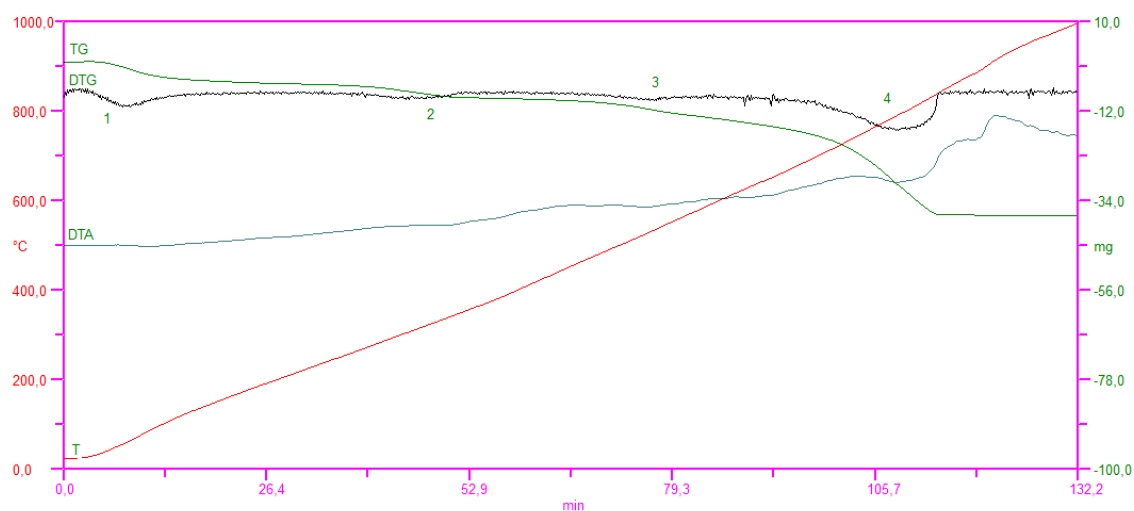


38. ábra – Pókhálós repedéshálózat

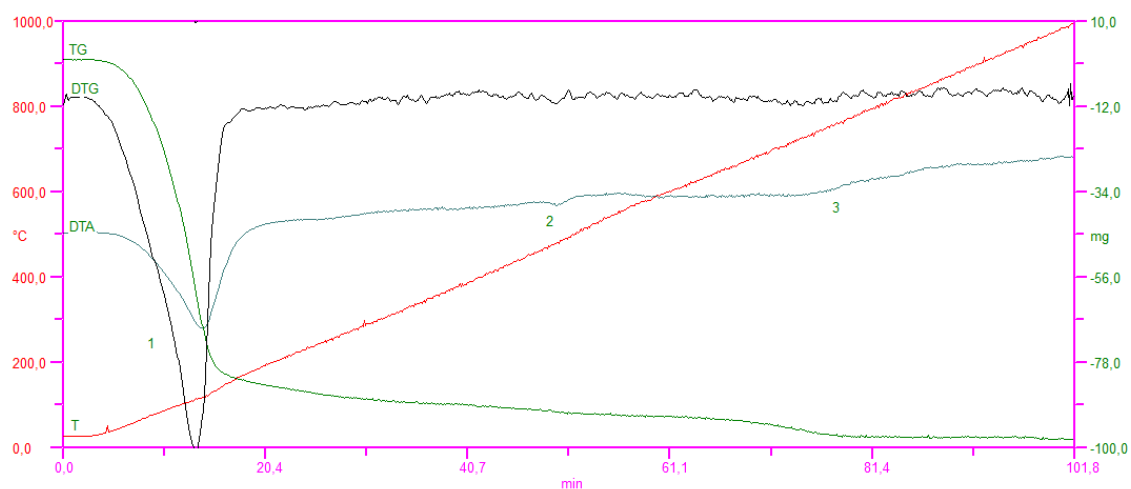


39. ábra - Kézzel morzsolható próbatest

Eleinte úgy gondoltuk, hogy a jelenséget a fél év tárolás után felhasznált sárga vasoxid alapú betonszínező pigment okozta, melyet a keverékhez adagoltunk. A feltételezés igazolása érdekében a pigmenten (40. ábra) és a II jelű keverék egyik próbatestéből vett beton mintán (41. ábra) derivatográfiai vizsgálatot végeztünk.



40. ábra - Sárga pigment derivatogrammja



41. ábra - II jelű betonkeverék derivatogrammja

A vizsgálati diagramon szereplő görbék jelentése:

- T – vizsgálati hőmérséklet
- TG – mintán tapasztalt tömegcsökkenés
- DTA – minta hőkapacitás változása
- DTG – TG görbe első deriváltja

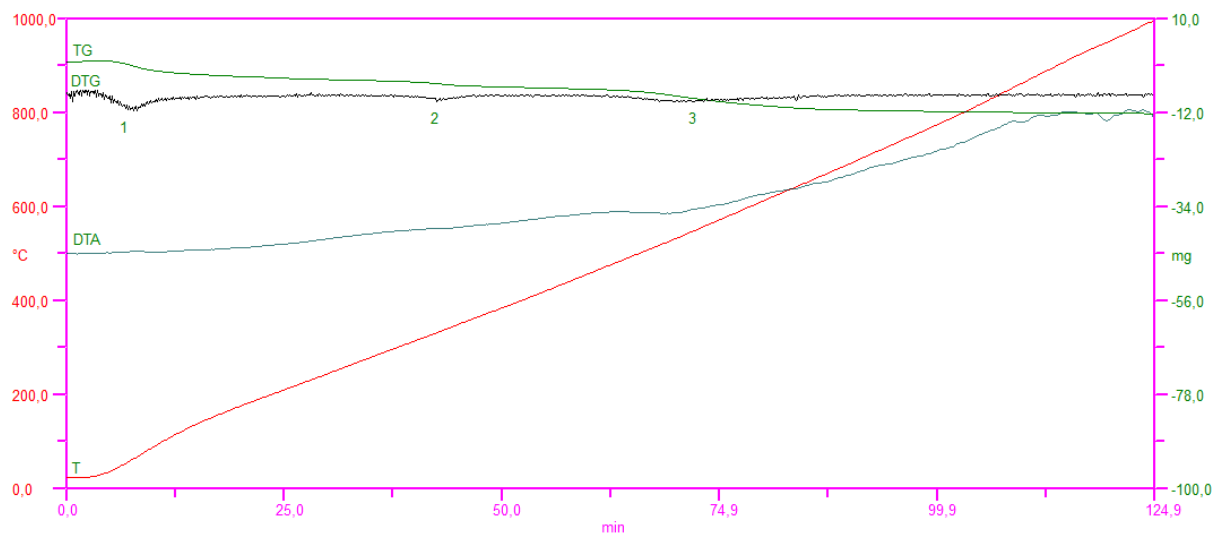
A vizsgálat kiértékelése a DTG görbe szerint történik. A görbén tapasztalható „csúcsok” egy-egy anyagösszetevő elbomlását jelölik, ezek alapján állapítható meg a minta anyagösszetétele. A sárga vasoxid pigment csúcsai szerint a minta összetétele:

1. nedvességtartalom
2. goethite ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) [25]
3. agyag szerkezeti vize
4. agyagmárga CaCO_3 tartalma

A beton minta összetétele:

1. nedvességtartalom
2. portlandit
3. CaCO_3

Mivel egyik mintában sem találtunk olyan alkotóelemet, ami a tapasztalt duzzadási tönkremenetelért felelős lehet, a vörös pigmentet is derivatográfál vizsgáltuk (42. ábra).



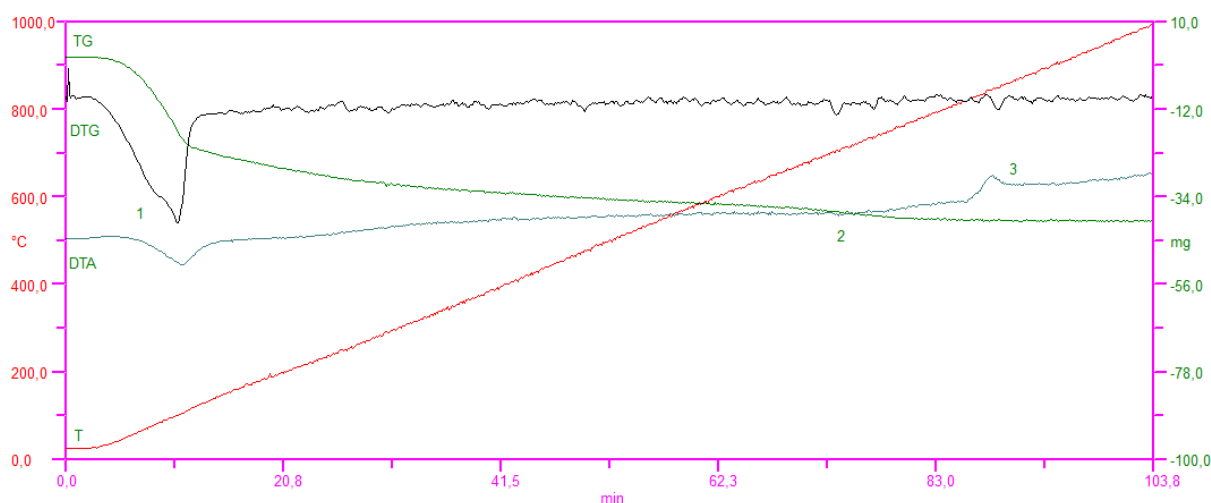
42. ábra - vörös pigment derivatogrammjá

A derivatogramm szerint a vörös pigment összetétele:

1. nedvességtartalom
2. goethite
3. anyag szerkezeti vize

A két minta között csupán a 4-es csúcs, az agyagmárga CaCO_3 tartalma a különbség, mely a sárga színért felelős, ám duzzadási korróziót nem okozhat a betonban.

A fehér cementtel készített IV, VI és Ref_f jelű keverékeken a laboratóriumi vizsgálatok elvégzése közben azt tapasztaltuk, hogy a pórusbeton adalékanyag (IV és VI) keverékek a II jelűhöz hasonlóan – bár attól, a cementtartalom növekvésével arányosan kisebb mértékben – duzzadtak és repedtek voltak, szilárdságuk lényegesen alacsonyabb volt az azonos cementtartalommal, de nem fehér, hanem szürke cementtel készített keverékekénél. A kvarchomok és kvarckavics adalékanyaggal és fehér cementtel készített (Ref_f) keveréken ezzel szemben nem volt tapasztalható a repedéshálózat megjelenése és a szilárdság csökkenése. Ebből arra következtettünk, hogy a problémát a pórusbeton és a fehér cement között létrejövő kémiai reakció során keletkező valamely vegyi anyag okozhatja. Ezért a pórusbeton kémiai összetételét is meghatároztuk (ábra).



43. ábra - Pórusbeton derivatogramja

A pórusbeton adalékanyag kémiai összetétele a derivatogramm alapján:

1. gipsz
2. CaCO_3
3. tobermorit [17]

Az általunk használt fehércement összetétele az alábbi táblázatban látható (9. táblázat):

Vizsgált jellemző	Mért érték		Követelményérték	
	t ö m e g s z á z a l é k		MSZ 4702/6	DIN 1164/1
	1 minta	2 minta		
Sósavban oldhatatlan maradék	0	0	--	max. 3
Izzítási veszteség	3,68	2,00	--	--
SiO ₂	20,36	20,62	--	--
CaO	64,70	64,75	--	--
MgO	2,44	2,51	max. 5	max. 5
Al ₂ O ₃	4,57	4,82	--	--
Fe ₂ O ₃	0,27	0,28	max. 0,6	--
SO ₃	3,82	3,91	max. 4,5	max. 4
CaO _{szabad}	5,88	3,79	--	--
Cl _{szabad}	0,016	0,014	--	max. 0,1
CO ₂ [*]	2,49	1,08	--	max. 2,5
TI	0,88	0,87	min. 0,85	
AM	16,92	17,21		
SM	4,20	4,04		
$\text{CaO\%-CaO}_{sz}\% - 1,65\text{Al}_2\text{O}_3\% - 0,35\text{Fe}_2\text{O}_3\% - 0,7\text{SO}_3\%$				
Telítési tényező (TI)= $\frac{2,8\text{SiO}_2\%}{\text{Al}_2\text{O}_3\% - \text{Fe}_2\text{O}_3\%}$				
Aluminát modulus (AM) $\frac{\text{Al}_2\text{O}_3\%}{\text{Fe}_2\text{O}_3\%}$ Szilikát modulus: $\frac{\text{SiO}_2\%}{\text{Al}_2\text{O}_3\% + \text{Fe}_2\text{O}_3\%}$				
SM = $\frac{\text{SiO}_2\%}{\text{Al}_2\text{O}_3\% + \text{Fe}_2\text{O}_3\%}$				

9. táblázat - Fehércement kémiai összetétele

A fehér cement összetételében az egyik rendkívül szembeötlő érték az aluminát modulus, amely itt megközelítőleg 17. Ez az érték a szulfátálló cementeknél 0,7. Ezek alapján az értékek és anyagösszetételek alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a pórusbetonnal és fehér cementtel készülő keverékekben a pórusbeton gipsztartalma reagál a cement kalcium-aluminát-hidrát tartalommal és ettringitet képez, mely nem szilárdsághordozó, képződése pedig nagymértékű térfogatváltozással jár, melyet a beton belső szerkezete nem képes felvenni, így repedések keletkeznek. A pontos reakcióegyenlet:



A reakció során ettringit triszulfát keletkezik, mely később átalakul ettringit monoszulfáttá ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaSO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), mely már stabil vegyület, nem alakul tovább. Ez az átalakulás nem jár további térfogattöbblettel.

A fehér cementtel és pórusbetonnal készített keverékek a bennük képződő ettringit miatt duzzadtak meg, repedeztek össze és emiatt nem rendelkeztek számottevő szilárdsággal. Ezért a vizsgált adalékanyagból csak szulfátálló cementtel lehet betont készíteni.

8. Vizsgálatok kiértékelése, megállapítások

8.1. Mechanikai szempontok

Ebben a fejezetben a szürke cementtel készült betonkeverékek műszaki teljesítőképességét részletezzük.

A pórusbetonos keverékek **nyomószilárdsága 6-9 N/mm²** között változik. Ez kevésnek tűnhet a referencia keverék 85 N/mm²-hez képest, ám kiemelendő, hogy a pórusbetonos keverékeket nem teherhordó, hanem burkolati célra terveztük. Ez alapján a mért nyomószilárdság értékek megfelelően kielégítik az **önhordóság** követelményét.

A pórusbetonos keverékek szilárd **testsűrűsége 1170-1250 kg/m³**, mely a referencia keverék 2360 kg/m³ sűrűségének csaknem a fele. Ez jelentős önsúlycsökkenést jelent mind a megszokott műkövekkel, mind fal- és homlokzatburkolásra közkedvelten alkalmazott természetes kövek, pl. gránit (2500-2850 kg/m³), márvány (2400-2600 kg/m³) forrásvízi mészkő (2200-2400 kg/m³), durva mészkő (1600-1800 kg/m³), etc. szemben.

A pórusbetonos burkolóelemek hajlító-húzó szilárdsága **1,5-2,5 N/mm²**, mely szintén alacsonyabb, mint a referencia keverék 9,0 N/mm²-es értéke. Amit fontos azonban kiemelni, a próbatestek tönkremenetelének módja. A referencia keverék próbatestei rideg, teljes keresztmetszeten átmenő töréssel mentek tönkre, míg a pórusbetonos keverékeknél a repedés megjelenésekor az sosem szelte át a teljes keresztmetszetet, a tönkremenetel **duktilis** volt, a próbatestek még jelentős alakváltozási tartalékkal rendelkeztek. Fontos megjegyezni, hogy ez a különbség nem a keverékekhez adagolt műanyag szálerősítésnek köszönhető, a referencia keverékbe ugyanis a pórusbetonnal készült keverékekbe adagolttal megegyező mennyiségű szálát kevertünk!



44. ábra - Repedést áthidaló PP szálak

Az ütésállósági vizsgálatok szintén a fent említett jelenséget igazolták. A pórusbetonos keverékek a referenciánál nagyobb energiát voltak képesek elnyelni, jobb **szívóssággal** rendelkeztek. Ezen tulajdonság nagy előnyt jelent a falburkolati alkalmazásnál. Az esetleges

szilárdsági tönkremenetel esetén a burkolólapok még rendelkeznek maradó teherbírással, mely lehetővé teszi a biztonságos javítást és a hirtelen elpattanó, teljes keresztmetszetükben átrepedő lapokkal ellentétben a lehulló törmelék sem okoz károkat, sérüléseket.

A fagyállósági vizsgálatok nem hoztak meglepő eredményt. A pórusbetonos keverékek csiszolt felületén nagy mennyiségű nyitott pórus található, melyeket a fagyás során a jég könnyen szétfeszített, így a keverékek **nem** tekinthetők **fagyállónak**. Ez alapján a pórusbetonnal készített beton anyagú burkolólapokat kiegészítő felületkezelés – póruslezáró hidrofóbizálás – nélkül nem javasoljuk külső térben, homlokzatokon alkalmazni.

8.2. Hő- és páratechnikai szempontok

A pórusbetonnal készített keverékek **hővezetési tényezője 0,29-0,40 W/mK**, mely jelentősen kisebb a referencia keverék 1,35 W/mK-es értékénél. A tisztább látás és jobb érzékeltethetőség érdekében az alábbi táblázatban összefoglaltam néhány gyakori építőanyag lambda értékeit (45. ábra). (Az értékek csak tájékoztató jellegűek, nagyságrendileg szemléltetik az anyagok hővezetési tulajdonságait! Egy termék tényleges lambdája ezektől kis mértékben eltérhet.)

Építőanyag	Hővezetési tényező [W/mK]
Vályog	0,7-0,85
Kavicsbeton	1,2-1,4
Fa	0,15-0,3
PUR hab	0,035-0,045
Üveggyapot	0,045-0,06
EPS	0,03-0,05
Márvány	3,5
Gránit	3,5
Kisméretű tömör tégal	0,8-0,9
B30 falazóelem	0,6-0,7
Táblaüveg	0,7-0,8
PTH 30 N+F	0,17
Ytong P2-05	0,12

45. ábra - Népszerű építőanyagok lambdája

A pórusbeton adalékanyag keverékek kiszáritott állapotukhoz képest egyensúlyi nedvességtartalmuk eléréséig képesek **15-20 m% nedvességet felvenni** a levegőből. Ezen tulajdonságuk remekül alkalmassá teszi a belőlük készült burkolólapokat belső terek komfortos páratartalmának beállítására.

8.3. Javasolt alkalmazási területek

A burkolati célra készített keverékeket két felhasználási helyzetbe javasoljuk:

- **Beltéri alkalmazás:** Az általunk fejlesztett betonkeverékekből készíthetők előregyártott burkolólapok, vagy akár öntött válaszfalak. Az előregyártott lapok végleges felületet alkotnak, miután a kívánt helyen elhelyezik őket, a monolit technológiával készülő design-vászfalakat pedig még egy csiszolásnak kell alávetni, hogy végleges, texturált felületüket elnyerjék. Az előregyártott panelek elhelyezhetők a hátszerkezetre ragasztással, vagy mechanikai rögzítéssel is. A beltéri alkalmazásnak két nagy alapvető előnye van:
 1. Az alacsony hővezetési tényezőjű anyag kellemes, kézmeleg tapintást biztosít a közönséges betonok, természetes kövek emberi bőr által hidegnek érzékelt tapintásával szemben.
 2. Szorpciós tulajdonságaiknak köszönhetően a keverékek képesek beállítani a belső terek felhasználók számára kellemes légnedvességtartalmát, komfortos viszonyokat teremteni.
- **Kültéri alkalmazás:** A pórusbeton adalékanyag keverékek – amennyiben ragasztva kerülnek elhelyezésre a homlokzatra – hőtechnikai tulajdonságaikat kamatoztatva hőszigetelő burokként is tudnak viselkedni a hátszerkezet előtt. A kültéri alkalmazás feltétele a nyitott pórusfelületek lezárása hidrofóbizáló bevonattal. A megfelelő hőtechnikai viselkedés érdekében az előregyártott lapokat zárt hézagképzéssel kell elhelyezni. A hézagokat a lapok lambdáját megközelítő hővezetési tényezőjű anyaggal kell kitölteni.

Egyéb alkalmazási lehetőségek:

- Pórusbeton adalékanyaggal készíthető **hőszigetelő-teherhordó** funkciójú **könnyűbeton** keverék, mely akár falazóelemként, akár monolit szerkezetként alkalmazható. [21]
- Alacsony testsűrűsége – és ebből kifolyólag a belőle készített szerkezetek önsúlycsökkenése – miatt javasoljuk **feltöltések, teherelosztó betonlemezek, aljzatbetonok, esztrichek** készítésére.

További fejlesztési célkitűzések:

- A betonkeverés során tapasztalt nagy adalékanyag vízfelvétel kiküszöbölése érdekében tervezzük az adalékanyag durva szemének nyitott víz által járható pórusait valamilyen módon (pl. cementtejbe forgatás útján) lezárni, így minimalizálni a plusz keverővíz adagolást. Ez által javulhatnak a műszaki paraméterek és egyszerűbbé válhatna a betonkeverékek előállítása.
- A vizsgált betonkeverékek nagy látszólagos porozitása miatt új fejlesztési célnak tűztük ki kis szem nagyságú pórusbeton adalékanyaggal **szárító- és/vagy sólekötő vakolatok** készítését.

9. Gazdaságossági és környezetvédelmi szempontok

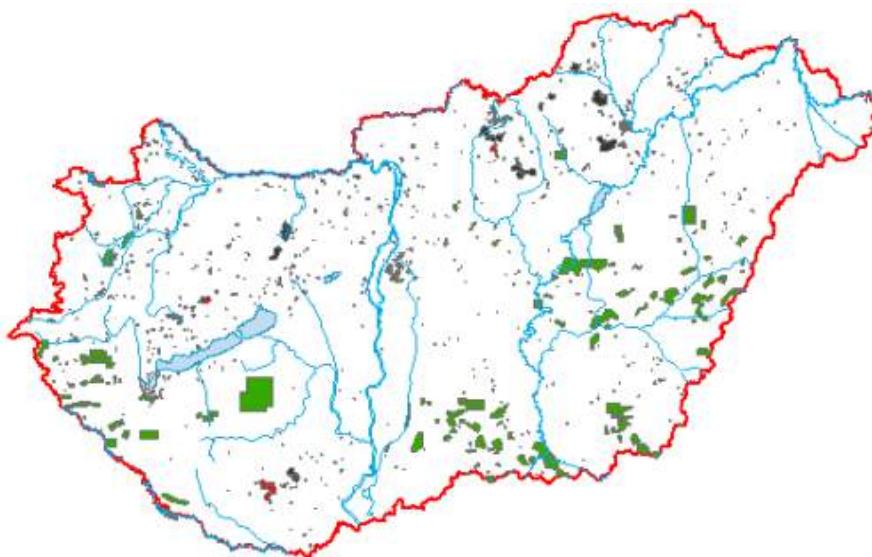
Egy új technológia megjelenésekor még a műszaki paraméterek pontosabb vizsgálata előtt – sajnálatosan – leggyakrabban a következő kérdés hangzik el: „Mennyibe is kerül?” Bizonyos esetekben ez helyén való, ám vannak helyzetek, amikor nem helyezhetjük a pénzügyi szempontokat minden elé – ilyen például a környezetvédelem.

Az újrahasznosított adalékanyagoknak első sorban az elmúlt évtizedek mérnöki gyakorlatába „bebetonozódott”, jól megszokott természetes, bányászott adalékanyagokkal – kvarchomok, kvarckavics, egyéb természetes zúzott kövek – kell versenyezniük. Ezek a közönséges adalékanyagok több évszázados múltra tekintenek vissza – szemmel látható referenciákkal rendelkeznek -, alkalmazástechnikájuk kiforrott, nagy biztonsággal jár. Nem véletlen, hogy annyira közkedveltek. De mint minden érmének, ennek a helyzetnek is van egy másik oldala.

Ahhoz, hogy a betonipar igényeit ki tudja elégíteni, napjainkban, hazánkban több mint 800 kavics és homokbánya üzemel, 200 km²-t meghaladó területen. Emellett országunk területén majdnem 300 bezárt betonipari adalékanyag bánya található [26]. A bányaipart szabályozó törvények értelmében a bányászati tevékenység nem folytatható előzetes rekultivációs tervek nélkül. „A bányavállalkozók már a bányászati tevékenység megkezdését engedélyező eljárás során, a bányafelügyeletnek benyújtott műszaki üzemi tervben kötelesek a bányauzem tervezett bányászati tevékenységét meghatározásával egyidejűleg a bánya bezárását követően tervezett tájrendezési feladatokat előrevetíteni.” [27] A műszaki üzemi terv elbírálása során a bányafelügyelet ellenőrzi a megszűnt bánya föld alatti és egyéb föld feletti létesítményeinek közcélra való hasznosítási lehetőségeit. Amennyiben erre lehetőség van, a létesítmények nem kerülnek a rekultiváció során bontásra, hanem átalakításukat a bányafelügyelet engedélyezi és felügyeli [27]. Remek példa erre az Egyesül Királyság területén, Cornwallban lévő szénbánya területén létrehozott botanikus kert [28], melyet az eredeti szénbánya meddőhányóin alakítottak ki, több melléképület megtartásával és hasznosításával. „A bányarekultiváció pozitívuma tehát nemcsak az, hogy a területet újrahasznosítása folytán újra alkalmassá válik mezőgazdasági, erdőgazdasági művelésre, hanem egy eszköz arra, hogy az emberi tevékenység károsító hatására terméketlenné vált földterület újra bekerüljön a természet körforgásába.” [27] Ennek azonban ára van.

Hazánkban egy-egy bányameddő rekultivációja 20-25 millió forintba kerül [29]. A bányameddők – amellett, hogy a természeti környezet látképét durván elcsúfítják – komoly környezetszennyezési kockázatot is hordozhatnak magukban. Egy Európai Unió direktíva [30] szerint a tagállamoknak 2012. május 1-ig publikus leltárt kellett készíteniük a veszélyes bányászati hulladékkezelő objektumokról. A leltár készítésének alapvető célja, hogy veszélyességi osztályokba sorolja az inert bányahulladék tárolókat azért, hogy pl. a kolontári vörösiszap katasztrófához hasonló eseményeket elkerüljünk. Az elkészült leltár szerint országunkban 511 bezárt veszélyes bányahulladék objektum található (ércbányák-, bauxitbányák-, szénbányák meddői, valamint vörösiszap- és fűrősiszap-zagytározók) [31]. Ezek az értékek azonban nem tükrözik a teljes bezárt bányamennyiséget – köztük a nem

veszélyes hulladékokat előállító kavics, homok, agyag, etc. bányákat -, melyek összmenyisége meghaladhatja a tízezer darabot [29]. (46. ábra)



46. ábra - Bányatelkek Magyarországon

Ezeket az értékeket összevetve látható, hogy a bányarekultiváció témakörében százmilliárdos nagyságrendű költségekről beszélhetünk, melynek nagy része az államot terheli (a bezárt meddők nagy része állami tulajdonban van [32]).

Az újrahasznosított betonadalékanyagok legnagyobb előnye abban rejlik, hogy előállításukhoz nincs szükség bányászati tevékenység folytatására, nem jelentenek további környezeti terhelést. A hulladékok előkészítéséhez közel azonos gépállományra van szükség, mint a bányászott adalékanyagok betonba való bedolgozhatóságának alkalmassá tételéhez, szállítási és a felhasználás előtti tárolási költségei a két anyagtípusnak szintén megegyeznek (sőt, a hulladékok még olcsóbban is elérhetők lehetnek, amennyiben a keletkezési helyükön kerülnek újrahasznosításra). Annak fő oka, hogy az építőipari gyakorlat még mindig a bányászott adalékanyagokat alkalmazza legnagyobb tömegben, kettős: egyrészt, ezen anyagok alkalmazástechnikája épült be leginkább a technológiai, mérnöki gyakorlatba, a felhasználók ezekhez vannak hozzászokva, ezekben bíznak. Másrészt, a hulladékanyagok közül sok nem rendelkezik még a megfelelő kutatási háttérrel, alkalmazástechnikájuk nem kellően kutatott.

A feldolgozott hulladékanyagok beton adalékanyagként való alkalmazásának szélesítésére többértű összefogásra lenne szükség. Mérnöki oldalról szükség van az egyes hulladékok alkalmazhatósági feltételeinek megfelelő kutatására, a kutatások laboratóriumi eredményekkel, kísérletekkel való alátámasztására. A kivitelezők oldaláról bizalomra a szolgáltatott, publikált eredményekkel szemben, azok alkalmazásának megkezdése. Államigazgatási oldalról pedig a jogszabályok és rendeletek útján való kötelezvények állítása mellett fontos a megfelelő támogatói rendszer kialakítása, hogy kellő ösztönző erővel szolgáljon a mérnökszféra számára az új technológiák alkalmazásához.

Ez által többek között egy pénzügyi körforgás lenne kialakítható, mely során az immár a szükségtelen bányarekultivációkból megspórolt összegek az építőipar kutatói és kivitelezői szférájába lennének visszaforgathatók támogatások formájában. Ez a körfolyamat nagymértékben hozzájárulna Földünk élhető állapotban való megtartásához, hogy a jövő generációk is egy egészséges környezetben nőhessenek föl.

10. Összefoglalás

Kutatásunk során tiszta (egyéb anyagokat nem tartalmazó) pórusbeton hulladékból zúzással előállított adalékanyaggal burkolati célra készített betonkeverékek műszaki teljesítőképességét vizsgáltuk laboratóriumi kísérletekkel. Tudományos kutatási eredményeink alapján az alábbi megállapításokat tettük:

- A beton keverése során kiemelten fontos a pórusbeton adalékanyag – beton adalékanyagtól - szokatlanul nagy mértékű vízfelvételének kielégítése. Ellenkező esetben a beton bedolgozhatatlanul merev konzisztenciájú lesz. Ennek legmegfelelőbb módjára konkrét keverési metodikát dolgoztuk ki, melynek lényege, hogy a keverés elején mind a durva mind a finom adalékanyag szemhalmaz vízigényét kielégítjük.
- A pórusbetonnal készült betonkeverékek szívóssága a normál betonoknál jobb, tönkremenetelük duktilisabb, így ütésállóságuk is kedvezőbb.
- A pórusbetonnal készült keverékek csiszolt felülete esztétikus, szép megjelenésű.
- A keverékek anyagukban vasoxid festékekkel színezhetők, ezt több színnel is teszteltük.
- Kedvezőtlen fagyállósági tulajdonságai miatt a pórusbeton adalékanyaggal készült betonkeveréket kültérben nem javasoljuk alkalmazni.
- Laboratóriumi kísérletek során fényt derítettünk arra is, hogy nagy alumínát modulusú cementtel és pórusbeton adalékanyaggal készített betonkeverékben az adalékanyagból kioldódó szulfáttartalom ettringit képződést eredményez, mely a próbatestek pókhálószerű repedéseit okozza, ezért kis alumínátmodulusú (szulfátálló) cementek alkalmazását javasoljuk.
- Nyomószilárdsági és hajlító-húzószilárdsági teljesítőképessége alapján a pórusbetonos keverékek önhordók, teherhordó célra alkalmazásukat nem javasoljuk.
- A pórusbeton adalékanyag keverékek hővezetési tényezője a közönséges kavicsbetonoknál lényegesen kedvezőbb, az anyag felülete kézmeleg tapintású. Ez különösen előnyös az emberi komfortérzet szempontjából belső burkolatok készítésénél.
- A pórusbeton adalékanyag keverékek szorpciós tulajdonságaik révén alkalmasak nagy mennyiségű légnedvesség felvételére, így beltéri alkalmazás esetén képesek a belső levegő páratartalmának komfortos beállítására.

A témában megjelentetett publikációk

- Jankus Bence, Fenyvesi Olivér, Józsa Zsuzsanna: Ytong, a sokarcú építőanyag, http://www.ytong.hu/hu/content/hirek_new_1677_1940.php, 2013. május 10.
- Jankus Bence, Fenyvesi Olivér, Józsa Zsuzsanna: Újrahasznosított pórusbeton adalékanyagként való alkalmazhatósága könnyűbetonban, XVII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia – ÉPKO 2013, pp140-145, ISSN: 1843-2123, 2013. június 15.
- Jankus Bence, Fenyvesi Olivér: Design burkolat újrahasznosított pórusbeton hulladékból, Meddő? Hulladék? NEM! HASZONANYAG! 2014 - Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtár, vol 17, pp 119-129, ISSN: 1789-0454 ; 2014. május 15.
- Jankus Bence, Fenyvesi Olivér: Igényes burkolat újrahasznosított pórusbeton adalékanyagok könnyűbetonból, XVIII. Nemzetközi Építéstudományi Konferencia – ÉPKO 2014, pp 129-132, ISBN: 1843-2123, 2014. június 12.
- Fenyvesi Olivér, Jankus Bence, Karina Kash, Kenéz Ágnes, Rácz Annamária, Kovács Éva: Ipari és építési hulladékok felhasználása a betontechnológiában, Ipari szimbiózis workshop, Budapest, 2014. szeptember 16.

Köszönetnyilvánítás

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

Külön köszönetet szeretnék mondani:

- A kísérletek során alkalmazott anyagok biztosításáért:
 - o A Xella Magyarország Kft.-nek (adalékanyag), különösképp Márta Tibornak
- Az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék Anyagvizsgáló és Kőzetfizika Laboratórium összes dolgozójának, különösképpen:
 - o Takács Krisztiánnak és Pálincás Bálintnak, akik az adalékanyag előkészítése, a beton keverése és a laboratóriumi vizsgálatok során segítettek munkámat
 - o Mlinárik Lillának és Csányi Erika Tanárnőnek, akik a vegyi vizsgálatok során voltak segítségemre
- Az Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium munkatársainak, Dr. Várfalvi János és Orbán Tamás Tanár Úrknak, akik a hővezetési tényező méréseket végezték.
- Külön köszönöm konzulensemnek, Dr. Fenyvesi Olivér Tanár Úrnak, aki időt és energiát nem kímélve segítette munkámat.

Irodalomjegyzék

- [1] – Országos Hulladékgazdálkodási Terv (OHT) 2014-2020 (bázisév: 2011)
- [2] – Peter Nielsen, Jeroen Vrijders, Kris Broos, Mieke Quaghebeur: Recycling of autoclaved aerated concrete (AAC) (2012), *Vision on technology* - <http://www.swedgeo.se/upload/Kurser/Konferenser/WASCON/Presentations/k7.%20Peter%20Nielsen%20rev.pdf>, letöltés ideje: 2014.10.10.
- [3] – Kausay Tibor: Gázbeton-pórusbeton (2002), *BETON*, X.évf., 7-8. szám, 25. oldal, ISSN: 1218-4837
- [4] – 2000/532/EK biztonságtechnikai előírás
- [5] – 45/2004. (VII. 26.) BM-KvVM együttes rendelet az építési és bontási hulladék kezelésének részletes szabályairól
- [6] – 2012. évi CLXXXV. törvény - a hulladékról
- [7] – A Kormány 440/2012. (XII. 29.) rendelete - a hulladékkal kapcsolatos nyilvántartási és adatszolgáltatási kötelezettségekről
- [8] – Csőke Barnabás: Építési hulladékok előkészítése építési, utépítési célra (2005), *Építőanyag*, 57. évf. 2005/2. szám, pp 39-42, ISSN: 0013-970X
- [9] – Alexandrs Korjakins, Genadijs Sahmenko, Diana Bajare, Sergejs Gaidukovs, Danuta Pizele: Producing of concrete by using a dolomite waste as an alternative filler (2009), *Építőanyag*, 61. évf. 2009/2. szám, pp 44-47, ISSN: 0013-970X
- [10] - BV-VM 01:2005 (H) – Beton és vasbetonépítési műszaki irányelv: Betonkészítés bontási, építési és építőanyag gyártási hulladék újrahasznosításával (2005), *fib Magyar Tagozata*, ISBN: 963 420 846 0
- [11] – Dr. Balázs L. György, Dr. Kausay Tibor: Betonkészítés beton- és téglahulladék újrahasznosításával – 1. rész: Újrahasznosított adalékanyagok (2007), *Vasbetonépítés*, IX. évf. 2. szám, pp 38-44, ISSN: 1419-6441
- [12] – Dr. Balázs L. György, Dr. Kausay Tibor: Betonkészítés beton- és téglahulladék újrahasznosításával – 2. rész: Betontervezés és betontulajdonságok (2007), *Vasbetonépítés*, IX. évf. 4. szám, pp 106-116, ISSN: 1419-6441
- [13] – Ilker Bekir Topcu, Mustafa Seridemir: Prediction of properties of waste AAC aggregate concrete using artificial neural network (2007); *Computational Materials Science*, vol. 41, No. 1, pp 117-125, ISSN: 0927-0256
- [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); *Materials Science (Medziagotyra)*, Vol. 15, No.4., pp 356-362; ISSN 1392-1320

- [15] – Andrea Hartmann Josef C. Buhl: Reaction Behavior of Autoclaved Aerated Concrete and Sodium Aluminate at Mild Alkaline and Acid Hydrothermal Conditions: Model for AAC Recycling (2012), *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 24, No. 4, pp 441-450, ISSN 0899-1561/2012/4-441-450/\$25.00
- [16] – Shui Zhonghe, Lu Yianxin, Tian Sufang, Shen Peiliang, Ding Sha: Preparation of New Cementitious System using Fly Ash and Dehydrated Autoclaved Aerated Concrete (2014), *Journal of Wuhan University of Technology-Mater. Sci. Ed.*, Vol. 29, No. 4, pp 726-732
- [17] – A gázbeton zsugorodás csökkentésének lehetősége homok adagolással – Tudományos vizsgálati jelentés (1989), Budapesti Műszaki Egyetem Építőanyagok Tanszéke, p 64
- [18] – Kozák János, Magyarai Béla: A budapesti négyes metróvonal építése 4: FRC burkolatok a négyes metró három állomásán, Budapesten (2013); *Vasbetonépítés*; XV. évf. 2. szám; pp 53-56, ISSN: 1419-6441
- [19] – Magyarai Béla: Fibre reinforced concrete elements applied on facades (2005), Keep concrete attractive – *fib* Symposium proceedings, vol 1, pp 86-91, ISBN 963 420 837 1 Ö
- [20] – Kozák János, Magyarai Béla, Tassi Géza: PPFRC cornice and wall covering (2011), Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures – Central European Congress on Concrete Engineering proceedings, pp 393-396, ISBN 978-963-313-036-0
- [21] – Jankus Bence: Újrahasznosított pórusbeton adalékanyagú könnyűbeton – TDK dolgozat (2012), <http://tdk.bme.hu/EMK/DownloadPaper/Porusbeton-adalekanyagukonnyubeton1>, letöltés ideje: 2014.10.13.
- [22] – Az Ytong falazóelemek műszaki tulajdonságai, <http://www.ytong.hu/hu/content/1208.php>, letöltés: 2014.10.13.
- [23] – Balázs György: Építőanyagok és kémia (1984), *Tankönyvkiadó*, ISBN: 963 17 7956 4
- [24] – Ujhelyi János: A könnyűadalékos beton fajtái, összetételének tervezése és a beton készítése (1960); *Felsőoktatási Jegyzetellátó Vállalat*
- [25] – Erdey-Grúz Tibor: Vegyszerismeret - Loczka Alajos közreműködésével átdolgozott és bővített 3. kiadás (1963), *Műszaki Könyvkiadó*
- [26] – Anda Angéla, Burucs Zoltán, Kocsis Tímea: Agrár-környezetvédelmi Modul - Talajvédelem-talajremediáció: Bányarekultiváció I. (2009), http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:Xe6xOsvQL0gJ:www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_agrarkornyezetvedelem/089_talaj.ppt+&cd=7&hl=hu&ct=clnk&gl=hu, letöltés ideje: 2014.10.19.
- [27] – Holló Dóra: Tájrendezés a bányákban, <http://www.kkvhaz.hu/cikk/229-tajrendezes-a-banyakban>, KKVHÁZ Zrt, letöltés ideje: 2014.10.19.
- [28] – Andre Horvath: A cornwalli Édenkert, avagy egy különleges bányarekultiváció (2013), <http://eletsepitok.hu/a-cornwalli-edenkert-avagy-egy-kulonleges-banyarekultivacio/#.VEQzlfmsWSo>, letöltés ideje: 2014.10.19.
- [29] – Hargitai Miklós: Vontatottan halad a bányarekultiváció (2001), nol.hu bányarekultiváció, <http://nol.hu/archivum/archiv-19273-8660>, letöltés ideje: 2014.10.19.

[30] – 2006/21/EK - AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS irányelve az ásványi nyersanyag-kitermelő iparban keletkező hulladék kezeléséről és a 2004/35/EK irányelv módosításáról

[31] – Kiss János, Papp Zoltán Andor, Detzky Gergely, Vértesy László: Bezárt hulladékkezelő objektumok nyilvántartása, és kockázati besorolása (2014), *Meddő? Hulladék? NEM! HASZONANYAG! 2014* – Mérnökgeológia-Közetmechanika Kiskönyvtár vol 17, pp 27-31, Hantken Kiadó, ISBN 978-615-5086-06-12

[32] – MBFH Honlap/Nyilvántartások/Bányatelkek adatbázisa, <http://www.mbfh.hu/home/html/index.asp?msid=1&sid=0&hkl=147&lng=1>, letöltés: 2014.10.19.

[33] – Kausay Tibor: Kötőanyagok IV. Hidraulikus kötőanyagok: Cement 3. Hidratáció (2008), *BETON*, XVI. évf. 3. szám, pp 16-18, ISSN: 1218 - 4837

[34] – Kausay Tibor: Kötőanyagok IV. Hidraulikus kötőanyagok: Cement 2. Klinkerásványok (2008), *BETON*, XVI. évf. 1. szám, pp 12-13, ISSN: 1218 - 4837

Szabványjegyzék

[I] – MSZ EN 197-1:2000: Cement. 1. rész: Az általános felhasználású cementek összetétele, követelményei és megfelelőségi feltételei

[II] – MSZ 4737-1:2002: Különleges cementek. 1. rész: Szulfátálló cementfajták

[III] – MSZ 4798-1:2004: Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelőség, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon

[IV] – MSZ EN 1097-6:2000: Kőanyag-halmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 6. rész: A testsűrűség és a vízfelvétel meghatározása

[V] – MSZ 18282-2:1987: Építési kőanyagok mintavétele és vizsgálati rendszere. Mintavétel és vizsgálati terv közetértékeléshez

[VI] – MSZ EN 14618:2009: Műkövek. Fogalommeghatározások és osztályozás

[VII] – MSZ EN 15286:2013: Műkövek. Kőlapok falburkolásra (kültéri és beltéri)

[VIII] – MSZ EN 14617-15:2005: Műkövek. Vizsgálati módszerek. 15. rész: A nyomószilárdság meghatározása

[IX] – MSZ EN 14617-9:2005: Műkövek. Vizsgálati módszerek. 9. rész: Az ütésállóság meghatározása

[X] – MSZ EN 14617-2:2008: Műkövek. Vizsgálati módszerek. 2. rész: A hajlítószilárdság meghatározása (hajlító-húzó szilárdság)

[XI] – MSZ EN 14617-5:2012: Műkövek. Vizsgálati módszerek. 5. rész: A fagyállóság meghatározása

[XII] – ISO 8302:1991 (E): Thermal insulation -- Determination of steady-state thermal resistance and related properties -- Guarded hot plate apparatus

Mellékletek

- 1. melléklet – Vizsgálati jegyzőkönyvek szabályos pórusbeton próbatesteken végzett nedvességtartalom és vízfelvétel méréséről
- 2. melléklet – Vizsgálati jegyzőkönyvek pórusbeton adalékanyagon végzett porsűrűség, szemcse-testsűrűség és vízfelvétel méréséről
- 3. melléklet – Vizsgálati jegyzőkönyvek pórusbeton adalékanyagon végzett halmazsűrűség méréséről
- 4. melléklet – Betonösszetételi lapok
- 5. melléklet – Betonozási jegyzőkönyvek
- 6. melléklet – Vizsgálati jegyzőkönyvek beton próbatestek nyomószilárdság méréséről
- 7. melléklet – Vizsgálati jegyzőkönyvek beton próbatestek ütésállósági méréséről
- 8. melléklet – Vizsgálati jegyzőkönyvek beton próbatestek hajlító-húzószilárdság méréséről
- 9. melléklet – Vizsgálati jegyzőkönyvek beton próbatestek hővezetési tényező méréséről

1. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

szabályos próbatesteken mért 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: 2014.09.05

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%	6,3%
2	1088	1880	0,579	15,3%	7,5%
3	1109	1949	0,569	13,7%	6,7%

Vizsgálat ideje: 2014.09.04

Víztelített 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%	19,8%
2	1535	1880	0,816	39,9%	19,6%
3	1597	1949	0,819	40,1%	19,7%

Vizsgálat ideje: 2014.09.06

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

2/A. melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag porsűrűség vizsgálatáról

$m_{w+p} =$ 169,318 g
 $m_p =$ 64,533 g

$V_p =$ 104,79 ml

Adalékanyag frakció:

0-0,25

Szemcse testsűrűség vizsgálat

Minta	m_a [g]	m_{p+a} [g]	m_{p+w+a} [g]	$V_{\text{víz fönn}}$ [ml]	V_{szem} [ml]	ρ_t [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1. minta	3,482	68,015	171,080	103,066	1,719	2,025	2,041
2. minta	3,440	67,972	171,008	103,036	1,749	1,966	
3. minta	2,856	67,388	170,834	103,446	1,339	2,133	

Vizsgálat ideje: 2013.09.20. - 2013.09.21.
Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence
Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

2/B. melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag porsűrűség vizsgálatáról

$m_{w+p} =$ 169,318 g
 $m_p =$ 64,533 g

$V_p =$ 104,79 ml

Adalékanyag frakció:

0,25-1

Szemcse testsűrűség vizsgálat

Minta	m_a [g]	m_{p+a} [g]	m_{p+w+a} [g]	$V_{\text{víz fönn}}$ [ml]	V_{szem} [ml]	ρ_t [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1. minta	3,523	68,056	171,032	102,976	1,809	1,947	1,939
2. minta	2,504	67,037	170,605	103,568	1,217	2,058	
3. minta	3,023	67,555	170,672	103,117	1,668	1,812	

Vizsgálat ideje: 2013.09.20. - 2013.09.21.
Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence
Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

2/C. melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag szemcse-testsűrűség és vízfelvétel vizsgálatáról

$m_{w+p} =$ 869,8 g
 $m_p =$ 244 g

$V_p =$ 625,80 ml

Adalékanyag frakció:

1-2

Szemcse testsűrűség vizsgálat

Minta	m_a [g]	m_{p+a} [g]	m_{p+w+a} [g]	$V_{\text{víz fönn}}$ [ml]	V_{szem} [ml]	ρ_t [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1. minta	56,0	300,0	892,0	592,0	33,8	1,657	1,645
2. minta	54,0	298,0	890,8	592,8	33,0	1,636	
3. minta	52,0	296,0	890,1	594,1	31,7	1,640	

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	592,0	599,7	13,8%	22,8%	600,60	15,4%	25,4%
2. minta	592,8	599,9	13,1%	21,5%	600,80	14,8%	24,2%
3. minta	594,1	600,6	12,5%	20,5%	601,40	14,0%	23,0%
			13,1%	21,6%		14,7%	24,2%

Vizsgálat ideje: 2013.09.20. - 2013.09.21.
Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence
Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

2/D. melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag szemcse-testsűrűség és vízfelvétel vizsgálatáról

$m_{w+p} = 869,8$ g
 $m_p = 244$ g

$V_p = 625,80$ ml

Adalékanyag frakció:

2-4

Szemcse testsűrűség vizsgálat

Minta	m_a [g]	m_{p+a} [g]	m_{p+w+a} [g]	$V_{\text{víz fönn}}$ [ml]	V_{szem} [ml]	ρ_t [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1. minta	44,4	288,4	884,7	596,3	29,5	1,505	1,481
2. minta	45,3	289,3	884,2	594,9	30,9	1,466	
3. minta	43,0	287,0	883,6	596,6	29,2	1,473	

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	596,3	600,6	9,7%	14,6%	601,70	12,2%	18,3%
2. minta	594,9	600,1	11,5%	16,8%	601,00	13,5%	19,7%
3. minta	596,6	601,8	12,1%	17,8%	602,40	13,5%	19,9%
			11,1%	16,4%		13,0%	19,3%

Vizsgálat ideje: 2013.09.20. - 2013.09.21.
Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence
Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

2/E. melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag szemcse-testsűrűség és vízfelvétel vizsgálatáról

$m_{w+p} =$ 869,8 g
 $m_p =$ 244 g

$V_p =$ 625,80 ml

Adalékanyag frakció:

4-8

Szemcse testsűrűség vizsgálat

Minta	m_a [g]	m_{p+a} [g]	m_{p+w+a} [g]	$V_{\text{víz fönn}}$ [ml]	V_{szem} [ml]	ρ_t [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1. minta	50,4	294,4	876,1	581,7	44,1	1,143	1,136
2. minta	47,6	291,6	875,1	583,5	42,3	1,125	
3. minta	47,3	291,3	875,6	584,3	41,5	1,140	

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	581,7	587,1	10,7%	12,2%	589,20	14,9%	17,0%
2. minta	583,5	590,9	15,5%	17,5%	592,50	18,9%	21,3%
3. minta	584,3	591,4	15,0%	17,1%	592,60	17,5%	20,0%
			13,8%	15,6%		17,1%	19,4%

Vizsgálat ideje: 2013.09.20. - 2013.09.21.
Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence
Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

2/F. melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV adalékanyag szemcse-testsűrűség és vízfelvétel vizsgálatáról

$m_{w+p} =$ 3199,8 g
 $m_p =$ 733,3 g

$V_p =$ 2466,50 ml

Adalékanyag frakció:

8-16

Szemcse testsűrűség vizsgálat

Minta	m_a [g]	m_{p+a} [g]	m_{p+w+a} [g]	$V_{\text{víz fönn}}$ [ml]	V_{szem} [ml]	ρ_t [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1. minta	191,9	925,2	3161,8	2236,6	229,9	0,835	0,848
2. minta	198,0	931,3	3169,8	2238,5	228,0	0,868	
3. minta	191,1	924,4	3163,8	2239,4	227,1	0,841	

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	2236,6	2259,6	12,0%	10,0%	2264,80	14,7%	12,3%
2. minta	2238,5	2258,5	10,1%	8,8%	2267,10	14,4%	12,5%
3. minta	2239,4	2265,3	13,6%	11,4%	2271,70	16,9%	14,2%
			11,9%	10,1%		15,3%	13,0%

Vizsgálat ideje: 2013.09.20. - 2013.09.21.
Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence
Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

3/A. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

adalékanyag halmazsűrűség vizsgálatáról

Adalékanyag frakció: 0/0,25 mm

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	1211	99	1112	1855	0,599	0,595
2	1198		1099		0,592	
3	1198		1099		0,592	

Vizsgálat ideje: 2012.09.25

Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Adalékanyag frakció: 0,25/1 mm

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
4	1196	99	1097	1855	0,591	0,594
5	1202		1103		0,595	
6	1203		1104		0,595	

Vizsgálat ideje: 2012.09.27

Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

3/B. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

adalékanyag halmazsűrűség vizsgálatáról

Adalékanyag frakció: 1/2 mm

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	892	99	793	1855	0,427	0,421
2	868		769		0,415	
3	882		783		0,422	

Vizsgálat ideje: 2012.09.25

Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Adalékanyag frakció: 2/4 mm

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
4	635	99	536	1855	0,289	0,291
5	641		542		0,292	
6	643		544		0,293	

Vizsgálat ideje: 2012.09.27

Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

3/C. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

adalékanyag halmazsűrűség vizsgálatáról

Adalékanyag frakció: 4/8 mm

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
1	571	99	472	1855	0,254	0,255
2	571		472		0,254	
3	574		475		0,256	

Vizsgálat ideje: 2012.09.25

Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

Adalékanyag frakció: 8/16 mm

Minta sorszáma	Mért tömeg [g]	Edény tömege [g]	Anyag tömege [g]	Edény térfogata [cm ³]	Halmazsűrűség [g/cm ³]	Átlag [g/cm ³]
4	535	99	436	1855	0,235	0,229
5	521		422		0,227	
6	517		418		0,225	

Vizsgálat ideje: 2012.09.27

Szabvány száma: EN 1097-6:2000, MSZ 18282-2:1987

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence

4/A. Melléklet

Betonösszetételi lap

Betonzás jele:

I

Cement típusa:

CEM I 52,5 N (szürke)

Adalékanyag típusa:

Zúzott pórusbeton

Keverendő mennyiség: 28 liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: 70

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	350,0	9,80	3,100	112,9	333,5		
víz	140,0	3,92	1,000	140,0	133,4	v/c tényező	0,40
folyósító	3,9	0,108	1,100	3,5	3,7	adalékszer % cementre	1,1
színezék	17,5	0,49	1,284	13,6	16,7		
ada. 0/0,25	131,3	3,68	2,041	64,3	125,1		
ada. 0,25/1	277,3	7,76	1,939	143,0	264,2	Σ adalékanyag [l/m ³]	715,0
ada. 1/2	164,7	4,61	1,645	100,1	156,9		
ada. 2/4	169,4	4,74	1,481	114,4	161,4		
ada. 4/8	154,3	4,32	1,136	135,8	147,0		
ada. 8/16	133,4	3,73	0,848	157,3	127,1		
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0		
szálerősítés	1,5	0,042	0,000	0,0	1,4		
többletvíz	721,3	20,20	1,000	721	687,2		
Frisseton testsűrűség	1542	63		1000	1469		

4/B. Melléklet

Betonösszetételi lap

Betonozás jele:

II

Cement típusa: CEM I 52,5 N (fehér)

Adalékanyag típusa: Zúzott pórusbeton

Keverendő mennyiség: 28 liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: 50

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel			
cement	350,0	9,80	3,100	112,9	326,2			
víz	140,0	3,92	1,000	140,0	130,5	v/c tényező	0,40	
folyósító	2,6	0,074	1,100	2,4	2,4	adalékszer % cementre	0,75	
színezék	28,0	0,78	1,284	21,8	26,1			
ada. 0/0,25	130,0	3,64	2,041	63,7	121,2			
ada. 0,25/1	274,5	7,69	1,939	141,6	255,8	Σ adalékanyag [l/m ³]	707,9	
ada. 1/2	163,0	4,56	1,645	99,1	151,9			
ada. 2/4	167,7	4,70	1,481	113,3	156,3			
ada. 4/8	152,8	4,28	1,136	134,5	142,4			
ada. 8/16	132,1	3,70	0,848	155,7	123,1			
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0			
szálerősítés	1,5	0,042	0,000	0,0	1,4			
többletvíz	510,1	14,28	1,000	510	475,4			
Frisseton testsűrűség	1541	57		1000	1436			

4/C. Melléklet

Betonösszetételi lap

Betonzás jele:



Cement típusa: CEM I 52,5 N (szürke)

Adalékanyag típusa: Zúzott pórusbeton

Keverendő mennyiség: 28 liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: 55

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel			
cement	400,0	11,20	3,100	129,0	383,8			
víz	160,0	4,48	1,000	160,0	153,5	v/c tényező	0,40	
folyósító	4,0	0,112	1,100	3,6	3,8	adalékszer % cementre	1	
színezék	20,0	0,56	1,284	15,6	19,2			
ada. 0/0,25	124,3	3,48	2,041	60,9	119,3			
ada. 0,25/1	262,4	7,35	1,939	135,4	251,8	Σ adalékanyag [l/m ³]	676,8	
ada. 1/2	155,9	4,36	1,645	94,7	149,5			
ada. 2/4	160,4	4,49	1,481	108,3	153,9			
ada. 4/8	146,1	4,09	1,136	128,6	140,1			
ada. 8/16	126,3	3,54	0,848	148,9	121,1			
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0			
szálerősítés	1,5	0,042	0,000	0,0	1,4			
többletvíz	536,4	15,02	1,000	536	514,6			
Frisseton testsűrűség	1559	59		1000	1496			

4/D. Melléklet

Betonösszetéti lap

Betonozás jele:

IV

Cement típusa: CEM I 52,5 N (fehér)

Adalékanyag típusa: Zúzott pórusbeton

Keverendő mennyiség: 28 liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: 50

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel	
cement	400,0	11,20	3,100	129,0	362,6	
víz	160,0	4,48	1,000	160,0	145,0	v/c tényező 0,40
folyósító	1,6	0,045	1,100	1,5	1,5	adalékszer % cementre 0,4
színezék	30,0	0,84	1,284	23,4	27,2	
ada. 0/0,25	123,3	3,45	2,041	60,4	111,8	
ada. 0,25/1	260,3	7,29	1,939	134,2	235,9	
ada. 1/2	154,6	4,33	1,645	94,0	140,1	
ada. 2/4	159,0	4,45	1,481	107,4	144,2	
ada. 4/8	144,9	4,06	1,136	127,5	131,3	
ada. 8/16	125,2	3,51	0,848	147,7	113,5	
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0	
szálerősítés	1,5	0,042	0,000	0,0	1,4	
többlétvíz	483,6	13,54	1,000	484	438,4	
Frisseton testsűrűség	1559	57		1000	1413	

Σ adalékanyag [l/m³]

671,1

4/E. Melléklet

Betonösszetételi lap

Betonozás jele:



Cement típusa: CEM I 52,5 N (szürke)

Adalékanyag típusa: Zúzott pórusbeton

Keverendő mennyiség: 28 liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: 70

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	450,0	12,60	3,100	145,2	433,7		
víz	180,0	5,04	1,000	180,0	173,5	v/c tényező	0,40
folyósító	5,9	0,164	1,100	5,3	5,6	adalékszer % cementre	1,3
ada. 0/0,25	120,2	3,37	2,041	58,9	115,9	Σ adalékanyag [l/m ³] 654,5	
ada. 0,25/1	253,8	7,11	1,939	130,9	244,6		
ada. 1/2	150,7	4,22	1,645	91,6	145,3		
ada. 2/4	155,1	4,34	1,481	104,7	149,5		
ada. 4/8	141,3	3,96	1,136	124,4	136,2		
ada. 8/16	122,1	3,42	0,848	144,0	117,7		
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0		
szálerősítés	1,5	0,042	0,000	0,0	1,4		
többlévíz	660,3	18,49	1,000	660	636,4		
Frisseton testsűrűség	1579	63		1000	1522		

4/F. Melléklet

Betonösszetéti lap

Betonozás jele:

VI

Cement típusa:

CEM I 52,5 N (fehér)

Adalékanyag típusa:

Zúzott pórusbeton

Keverendő mennyiség: 28 liter

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: 70

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	450,0	12,60	3,100	145,2	408,7		
víz	180,0	5,04	1,000	180,0	163,5	v/c tényező	0,40
folyósító	0,0	0,000	1,100	0,0	0,0	adalékszer % cementre	0
ada. 0/0,25	121,2	3,39	2,041	59,4	110,1	Σ adalékanyag [l/m ³] 659,8	
ada. 0,25/1	255,9	7,16	1,939	132,0	232,4		
ada. 1/2	152,0	4,25	1,645	92,4	138,0		
ada. 2/4	156,4	4,38	1,481	105,6	142,0		
ada. 4/8	142,4	3,99	1,136	125,4	129,4		
ada. 8/16	123,1	3,45	0,848	145,2	111,8		
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0		
szálerősítés	1,5	0,042	0,000	0,0	1,4		
többletvíz	665,6	18,64	1,000	666	604,6		
Frisseton testsűrűség	1581	63		1000	1436		

4/G. Melléklet

Betonösszetételi lap

Betonzás jele:

Ref_sz

Cement típusa:

CEM I 52,5 N (szürke)

Adalékanyag típusa:

Kvarchomok és kvarckavics

Keverendő mennyiség:

28

Adalékanyag vízfelvétele [m%]:

0

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	400,0	11,20	3,100	129,0	389,6		
víz	160,0	4,48	1,000	160,0	155,8	v/c tényező	0,40
flyósító	2,8	0,078	1,100	2,5	2,7	adalékszer % cementre	0,7
homok	1084,2	30,36	2,650	409,1	1056,0		
kavics 4/8	349,1	9,78	2,650	131,8	340,1	Σ adalékanyag [l/m ³]	693,4
kavics 8/16	404,3	11,32	2,650	152,6	393,8		
szálerősítés	1,5	0,042	0,000	0,0	1,5		
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0		
Frisseton testsűrűség	2400	67		1000	2338		

4/H. Melléklet

Betonösszetételi lap

Betonzás jele:

Ref_f

Cement típusa: CEM I 52,5 N (fehér)

Adalékanyag típusa: Kvarchomok és kvarckavics

Keverendő mennyiség: 32

Adalékanyag vízfelvétele [m%]: 0

Tervezett összetétel	kg/m ³	kg/keverés	Sűrűség [g/cm ³]	l/m ³	Tényleges összetétel		
cement	400,0	12,80	3,100	129,0	399,1		
víz	160,0	5,12	1,000	160,0	159,6	v/c tényező	0,40
folyósító	7,0	0,224	1,100	6,4	7,0	adalékszer % cementre	1,75
homok	1078,2	34,50	2,650	406,9	1075,7	Σ adalékanyag [l/m ³] 689,6	
kavics 4/8	347,2	11,11	2,650	131,0	346,4		
kavics 8/16	402,0	12,87	2,650	151,7	401,1		
szálerősítés	1,5	0,048	0,000	0,0	1,5		
levegő	0,0	0,00	0,000	15,0	0,0		
Frisseton testsűrűség	2394	77		1000	2389		

5/A. Melléklet

Betonozási jegyzőkönyv

Összetétel: I betonösszetételi lap szerint

Betonozás ideje: 2014.03.28

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	17057	24164	7107	4800	1,481	1,469
2	12358	17279	4921	3375	1,458	

Betonozást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 30/30 cm
Vibrálás: 2* 30 sec

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Összetétel: II betonösszetételi lap szerint

Betonozás ideje: 2014.09.26

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	12497	17180	4683	3375	1,388	1,436
2	12302	16973	4671	3375	1,384	
3	17011	19468	2457	1600	1,536	

Betonozást végző személyek: Jankus Bence
Takács Krisztián

Keverési adatok:

Terület: 43/41
Vibrálás: 2* 30 sec

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Összetétel: III betonösszetételi lap szerint

Betonozás ideje: 2014.03.30

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	12380	16945	4565	4800	0,951	1,496
2	16977	23866	6889	3375	2,041	

Betonozást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 35/33 cm
Vibrálás: 2* 30 sec

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

5/B. Melléklet

Betonzási jegyzőkönyv

Összetétel: IV betonösszetételi lap szerint

Betonzás ideje: 2014.09.24

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	17003	19379	2376	1600	1,485	1,413
2	17044	18950	1906	1600	1,191	
3	17055	19553	2498	1600	1,561	

Betonzást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 38/38 cm

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Vibrálás: 2* 30 sec

Összetétel: V betonösszetételi lap szerint

Betonzás ideje: 2014.03.30

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	17040	24362	7322	4800	1,525	1,522
2	12337	17462	5125	3375	1,519	

Betonzást végző személyek: Jankus Bence
Takács Krisztián

Keverési adatok:

Terület: 30/29,5 cm

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Vibrálás: 2* 30 sec

Összetétel: VI betonösszetételi lap szerint

Betonzás ideje: 2014.09.22

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	17047	18577	1530	1000	1,530	1,401
2	17059	18403	1344	1000	1,344	
3	17007	18336	1329	1000	1,329	

Betonzást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 48/52 cm

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Vibrálás: 2* 30 sec

5/C. Melléklet

Betonozási jegyzőkönyv

Összetétel: Ref_sz betonösszetételi lap szerint

Betonozás ideje: 2014.03.28

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	17042	27999	10957	4800	2,283	2,338
2	12269	20349	8080	3375	2,394	

Betonozást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 30/30 cm

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Vibrálás: 2* 30 sec

Összetétel: Ref_f betonösszetételi lap szerint

Betonozás ideje: 2014.09.22

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	27301	33705	6404	2700	2,372	2,389
2	27388	33669	6281	2700	2,326	
3	27363	34026	6663	2700	2,468	

Betonozást végző személyek: Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverési adatok:

Terület: 38/40 cm

Terülmérés: MSZ 4798-1 szabvány szerint

Vibrálás: 2* 30 sec

6/A. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel: **I** jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma: 2014.05.01

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (szürke)

v/c=0,4

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Takács Krisztián

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszáritott tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszáritott	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszáritott
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
I	1	28	0,531	0,441	70,8	73,9	70,6	1438	1194	34,0	6,5	6,0	1454	1172
	2		0,518	0,411	70,8	73,9	67,9	1458	1157	35,0	6,7			
	3		0,526	0,417	73,0	70,8	69,2	1471	1166	35,0	6,8			
	4		0,509		70,3	72,0	69,0	1457		28,0	5,5			
	5		0,500		68,6	72,5	70,3	1430		24,0	4,8			
	6		0,501		67,4	72,0	70,1	1473		27,0	5,6			

6/B. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:



jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma:

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (fehér)

$v/c=0,4$

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszáritott tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszáritott	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszáritott
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
II	1	28	Nem vizsgált keverék											
	2													
	3													
	4													
	5													
	6													

6/C. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:



III jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma:

2014.05.03

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (szürke)

v/c=0,4

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Takács Krisztián

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszárított tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszárított	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszárított
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
III	1	28	0,514	0,421	65,8	72,7	70,9	1516	1241	35,0	7,3	7,0	1494	1253
	2		0,517	0,429	71,3	71,7	67,9	1489	1236	35,0	6,8			
	3		0,538	0,457	69,1	72,4	71,2	1510	1283	41,0	8,2			
	4		0,543		70,0	72,9	71,2	1494		36,0	7,1			
	5		0,532		70,9	72,7	69,2	1492		33,0	6,4			
	6		0,519		70,8	71,6	69,9	1465		32,0	6,3			

6/D. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

IV

jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma:

2014.10.20

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (fehér)

v/c=0,4

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszáritott tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszáritott	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszáritott
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
IV	1	28		0,400	72,9	73,0	71,5		1053	14	2,6	2,6		1067
	2			0,395	73,2	72,8	68,4		1084	12	2,3			
	3			0,412	70,3	76,5	73,8		1039	13	2,4			
	4			0,425	73,7	76,1	68,4		1109	15	2,7			
	5			0,415	74,0	76,2	69,5		1060	16	2,8			
	6			0,392	70,0	72,8	72,7		1057	13	2,5			

6/E. Melléklet
VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV
beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

V

jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma:

2014.05.03

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (szürke)

v/c=0,4

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Takács Krisztián

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszáritott tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszáritott	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszáritott
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
V	1	28	0,532	0,449	69,4	74,7	71,3	1439	1215	50,0	9,6	8,9	1417	1234
	2		0,529	0,452	68,0	75,1	71,6	1447	1236	50,0	9,8			
	3		0,528	0,465	69,2	75,3	71,4	1419	1250	37,0	7,1			
	4		0,496		70,3	74,6	71,8	1317		43,0	8,2			
	5		0,518		69,9	72,9	70,3	1446		48,0	9,4			
	6		0,513		68,9	73,8	70,3	1435		46,0	9,0			

6/F. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

VI

jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma:

2014.10.20

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (fehér)

v/c=0,4

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszáritott tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszáritott	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszáritott
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
VI	1	28		0,393	71,3	71,7	71,9		1070	11	2,2	2,5		1063
	2			0,381	70,9	72,4	71,8		1034	13	2,5			
	3			0,377	72,2	72,2	69,3		1043	15	2,9			
	4			0,395	70,3	72,3	71,9		1081	13	2,6			
	5			0,403	70,7	72,7	72,1		1087	12	2,3			
	6			0,382	71,7	72,1	69,4		1065	14	2,7			

6/G. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

Ref_sz

jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma:

2014.05.01

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (szürke)

v/c=0,4

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Takács Krisztián

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszáritott tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszáritott	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszáritott
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
Ref_sz	1	28	0,813		69,2	70,7	70,2	2367		415,0	84,8	85,9	2365	
	2		0,848		71,5	70,6	71,3	2356		438,0	86,8			
	3		0,847		70,5	72,3	70,9	2344		423,0	83,0			
	4		0,791		70,6	67,1	70,0	2385		433,0	91,4			
	5		0,820		68,5	71,3	70,8	2371		410,0	83,9			
	6		0,801		67,4	71,4	70,4	2364		410,0	85,2			

6/H. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek nyomószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

Ref_f

jelű betonösszetételi lap szerint

Törés dátuma:

2014.10.20

Szilárdság meghatározása 70×70×70 mm-es próbatesteken

Tárolás: 28 napig víz alatt

CEM I 52,5 (fehér)

v/c=0,4

Vizsgálatot végző személy: Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Szabvány: MSZ EN 14617-15:2005

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Szilárd tömeg	Kiszáritott tömeg	Hossz	Széles	Magas	Testsűrűség		Nyomó			Testsűrűség átlag	
					Nyomott felület			szilárd	kiszáritott	erő	szilárdság	átlag	szilárd	kiszáritott
		nap	kg	kg	mm			kg/m ³		kN	N/mm ²	N/mm ²	kg/m ³	kg/m ³
Ref_f	1	28		0,813	70,1	71,9	70,2		2298	267	53,0	65,9		2301
	2			0,790	69,3	71,0	70,0		2293	350	71,1			
	3			0,824	70,7	72,3	70,1		2297	347	67,8			
	4			0,799	67,9	71,3	70,9		2328	372	76,9			
	5			0,784	70,1	71,8	68,2		2286	266	52,9			
	6			0,816	69,7	71,8	70,8		2305	368	73,6			

7/A. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek ütésállósági vizsgálatáról

Összetétel: I betonösszetételi lap szerint

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005

Vizsgálat ideje: 2014.05.01.

Vizsgálatot végző személyek:

Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap

Jankus Bence

Tárolás: 28 napig víz alatt

Takács Krisztián

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési magasság	Golyó tömege	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
I	1	199,7	200,3	32,2	55	898	48,5	39,6
	2	199,8	200,1	25,6	35		30,8	
	3	199,9	200,0	30,4	40		35,2	
	4	200,2	200,1	33,2	50		44,0	

Összetétel: II betonösszetételi lap szerint

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005

Vizsgálat ideje: 2014.10.20.

Vizsgálatot végző személyek:

Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap

Jankus Bence

Tárolás: 28 napig víz alatt

Fenyvesi Olivér

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési magasság	Golyó tömege	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
II	1	Nem vizsgált keverék						
	2							
	3							
	4							

Összetétel: III betonösszetételi lap szerint

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005

Vizsgálat ideje: 2014.05.03.

Vizsgálatot végző személyek:

Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap

Jankus Bence

Tárolás: 28 napig víz alatt

Takács Krisztián

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési magasság	Golyó tömege	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
III	1	200,4	199,9	39,8	65	898	57,3	56,2
	2	200,0	200,2	34,4	50		44,0	
	3	199,6	200,5	36,7	65		57,3	
	4	199,2	200,8	40,8	75		66,1	

7/B. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek ütésállósági vizsgálatáról

Összetétel: **IV** betonösszetételi lap szerint
Vizsgálat ideje: 2014.10.20.
Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap
Tárolás: 28 napig víz alatt

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005
Vizsgálatot végző személyek:
Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési magasság	Golyó tömege	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
IV	1	198,8	200,4	30,9	35	898	30,8	29,4
	2	199,0	201,1	29,0	30		26,4	
	3	201,0	199,2	32,9	35		30,8	
	4	200,6	199,4	32,2	30		26,4	

Összetétel: **V** betonösszetételi lap szerint
Vizsgálat ideje: 2014.05.03.
Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap
Tárolás: 28 napig víz alatt

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005
Vizsgálatot végző személyek:
Jankus Bence
Takács Krisztián

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési	Golyó	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
V	1	199,5	200,0	32,4	55	898	48,5	39,6
	2	200,0	199,0	24,8	35		30,8	
	3	199,3	201,0	30,1	40		35,2	
	4	200,7	199,8	32,9	50		44,0	

Összetétel: **VI** betonösszetételi lap szerint
Vizsgálat ideje: 2014.10.20.
Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap
Tárolás: 28 napig víz alatt

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005
Vizsgálatot végző személyek:
Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési magasság	Golyó tömege	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
VI	1	201,1	200,2	21,9	35	898	30,8	25,0
	2	200,6	201,4	25,9	25		22,0	
	3	200,8	199,7	22,3	25		22,0	

7/C. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek ütésállósági vizsgálatáról

Összetétel: **Ref_sz** betonösszetételi lap szerint
Vizsgálat ideje: 2014.05.01.
Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap
Tárolás: 28 napig víz alatt

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005
Vizsgálatot végző személyek:
Jankus Bence
Takács Krisztián

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési magasság	Golyó tömege	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
Ref_sz	1	199,6	199,8	30,1	40	898	35,2	36,3
	2	199,7	200,6	38,2	45		39,6	
	3	200,8	199,2	29,8	40		35,2	
	4	199,9	200,2	30,3	40		35,2	

Összetétel: **Ref_f** betonösszetételi lap szerint
Vizsgálat ideje: 2014.10.20.
Próbatest névleges mérete: 200*200*30 mm alakú lap
Tárolás: 28 napig víz alatt

Szabvány: MSZ EN 14617-9:2005
Vizsgálatot végző személyek:
Jankus Bence
Fenyvesi Olivér

Keverék	Minta sorszáma	Hossz	Széles	Magas	Ejtési magasság	Golyó tömege	Elnyelt energia	Átlag
		mm			cm	g	J	J
Ref_f	1	201,2	199,8	25,4	45	898	39,6	41,1
	2	200,8	200,2	28,3	45		39,6	
	3	199,7	200,9	26,0	50		44,0	

8/A. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek hajlító-húzószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel: **I** jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (szürke)

Törés dátuma: 2014.05.01

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Takács Krisztián

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszeti tényező	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet				erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
I	1	28	70,4	72,1	210,0	59556,5	1,7	0,1	1,5	1,5
	2		71,2	73,5		62100,6	1,8	0,1	1,5	
	3		73,0	69,8		61994,0	1,5	0,1	1,3	
	4		70,5	72,7		60222,9	1,6	0,1	1,4	
	5		69,7	71,5		57892,2	1,9	0,1	1,7	

Összetétel: **II** jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (fehér)

Törés dátuma: 2014.10.20

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszeti tényező	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet				erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
II	1	28	Nem vizsgált keverék							
	2									
	3									
	4									
	5									

8/B. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek hajlító-húzószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

III

jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (szürke)

Törés dátuma:

2014.05.03

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Takács Krisztián

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszeti tényező	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet				erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
I	1	28	70,2	71,1	210,0	58397,3	2,3	0,121	2,1	1,9
	2		70,7	69,8		58149,1	2,5	0,131	2,3	
	3		72,1	70,6		61168,0	1,8	0,095	1,5	
	4		70,3	71,2		58646,1	1,9	0,100	1,7	
	5		69,5	70,8		56997,0	2,3	0,121	2,1	

Összetétel:

IV

jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (fehér)

Törés dátuma:

2014.10.20

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszeti tényező	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet				erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
I	1	28	72,6	74,3	210,0	65323,5	0,5	0,049	0,8	0,6
	2		73,4	75,8		68008,4	0,4	0,043	0,6	
	3		72,5	73,0		63924,6	0,4	0,040	0,6	
	4		72,7	74,9		66023,2	0,4	0,037	0,6	
	5		73,1	76,0		67641,2	0,3	0,032	0,5	

8/C. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV beton próbatestek hajlító-húzószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

V

jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (szürke)

Törés dátuma:

2014.05.03

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Takács Krisztián

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszeti tényező	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet				erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
I	1	28	69,8	71,6	210,0	58139,7	2,8	0,147	2,5	2,5
	2		71,1	72,4		60999,5	3,2	0,168	2,8	
	3		70,9	70,5		59065,0	2,6	0,137	2,3	
	4		69,9	71,1		57899,2	2,8	0,147	2,5	
	5		71,1	72,0		60662,5	2,9	0,152	2,5	

Összetétel:

VI

jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (fehér)

Törés dátuma:

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszeti tényező	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet				erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
I	1	28	71,5	73,2	210,0	62299,3	0,5	0,053	0,8	0,8
	2		71,8	72,4		62206,3	0,5	0,053	0,8	
	3		72,3	73,7		64200,5	0,4	0,042	0,7	
	4		71,4	73,0		62042,2	0,5	0,053	0,8	
	5		71,7	73,0		62539,2	0,4	0,042	0,7	

8/D. Melléklet

VIZSGÁLATI JEGYZŐKÖNYV

beton próbatestek hajlító-húzószilárdsági vizsgálatáról

Összetétel:

Ref_sz

jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (szürke)

Törés dátuma:

2014.05.01

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Takács Krisztián

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszet	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet			tényező	erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
I	1	28	70,1	70,4	210,0	57657,7	10,4	0,5	9,5	9,0
	2		69,6	70,6		56999,6	11,0	0,6	10,1	
	3		71,6	70,5		60237,1	10,2	0,5	8,9	
	4		71,2	70,0		59143,5	9,7	0,5	8,6	
	5		71,4	72,2		61345,5	9,2	0,5	7,9	

Összetétel:

Ref_f

jelű betonösszetételi lap szerint

CEM I 52,5 (fehér)

Törés dátuma:

v/c=0,4

Hajlító- húzószilárdság meghatározása 70×70×250 mm-es próbatesteken

Vizsgálatot végző személy:

Jankus Bence; Fenyvesi Olivér

Tárolás: 28 napig víz alatt

MSZ EN 14617-2:2008

Keverék száma	Sor szám	Törés kora	Magas	Széles	Támaszköz	Keresztmetszet	Hajlító		Hajlító-húzó	
			Keresztmetszet			tényező	erő	nyomaték	szilárdság	átlag
		nap	mm			mm ³	kN	kNm	N/mm ²	N/mm ²
I	1	28	70,1	71,8	210,0	58837,1	7,9	0,8	14,0	12,9
	2		70,8	73,1		61009,5	7,9	0,8	13,6	
	3		70,8	71,9		60101,6	7,7	0,8	13,4	
	4		70,8	71,1		59366,2	6,9	0,7	12,2	
	5		70,0	69,5		56709,5	6,1	0,6	11,3	

9/A. melléklet

Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék:

I

Minta vastagsága :

40,30 mm

Minta

Minta elnevezés: I. minta

Anyag

I. Minta

Minta méretei és tömege

(300 x300 x40,3) mm /3700 g

Vizsgálat ideje

08.10.2014

Műszer

TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement

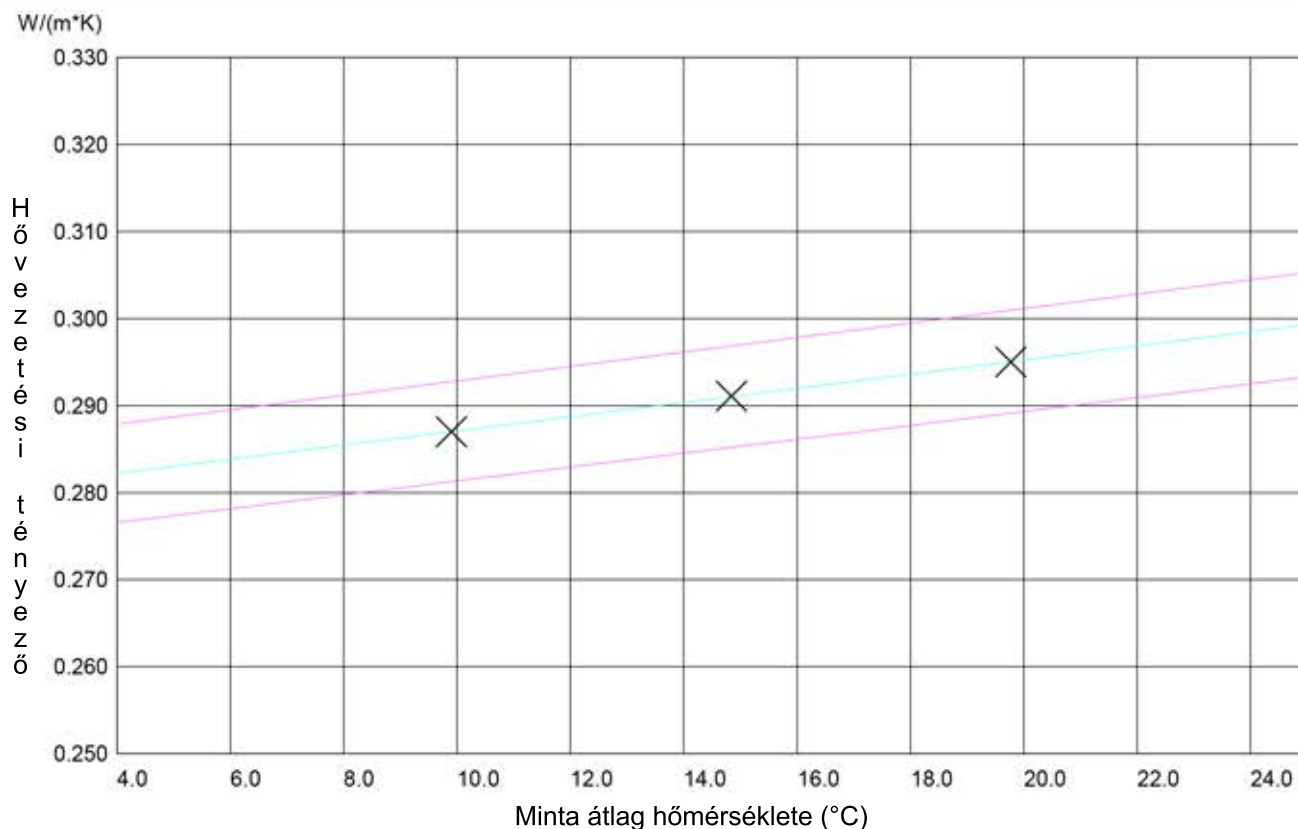
Megjegyzés

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	0.518	6.3	13.5	7.3	9.9	0.28699
2	0.525	11.2	18.5	7.3	14.8	0.29109
3	0.532	16.1	23.4	7.3	19.8	0.29501



Lambda (10°C) = (0.2871 +/-0.0086) W/(m*K) Lambda = 0.27897 + 0.000813 * MT W/(m*K)

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (2. tényező)

λ_z = W/(m*K)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

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

9/B. melléklet

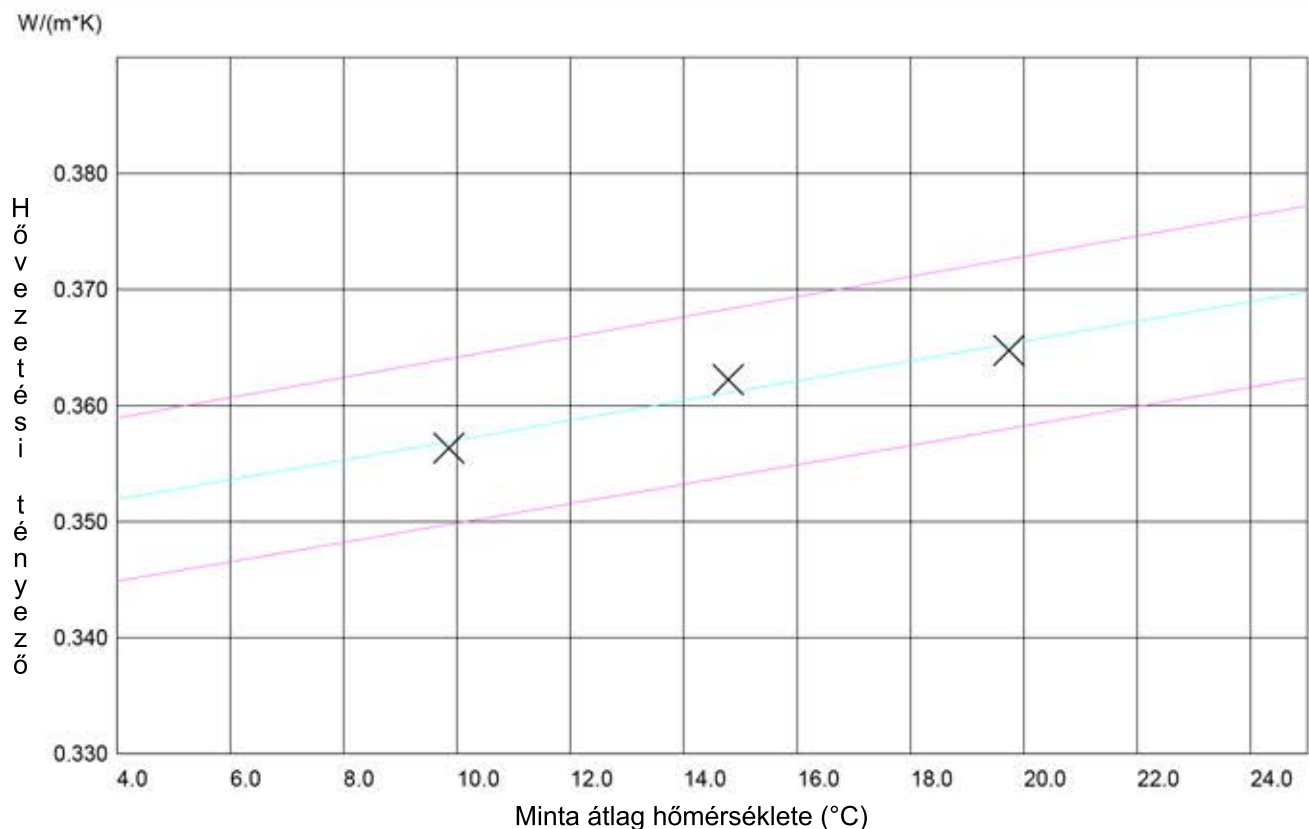
Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék: **III**

Minta vastagsága 40,20 mm
Minta elnevezés: III. minta
Minta Anyag III. Minta
Minta méretei és tömege (300 x300 x40,2) mm /4020 g
Vizsgálat ideje 09.10.2014
Műszer TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement
Megjegyzés MÉRÉS SZÁMA:2
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	0.606	6.4	13.3	6.8	9.9	0.35633
2	0.613	11.4	18.2	6.8	14.8	0.36223
3	0.618	16.3	23.1	6.8	19.7	0.36476



Lambda (10°C) = (0.3570 +/-0.0107) W/(m*K) Lambda = 0.34850 + 0.000853 * MT W/(m*K)

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (2. tényező) λ_z = W/(m*K)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

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

9/C. melléklet

Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék:

IV

Minta vastagsága

33,00 mm

Minta

Minta elnevezés: IV. minta

Anyag

IV. Minta

Minta méretei és tömege

(307 x308 x33) mm /3415 g

Vizsgálat ideje

17.10.2014

Műszer

TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement

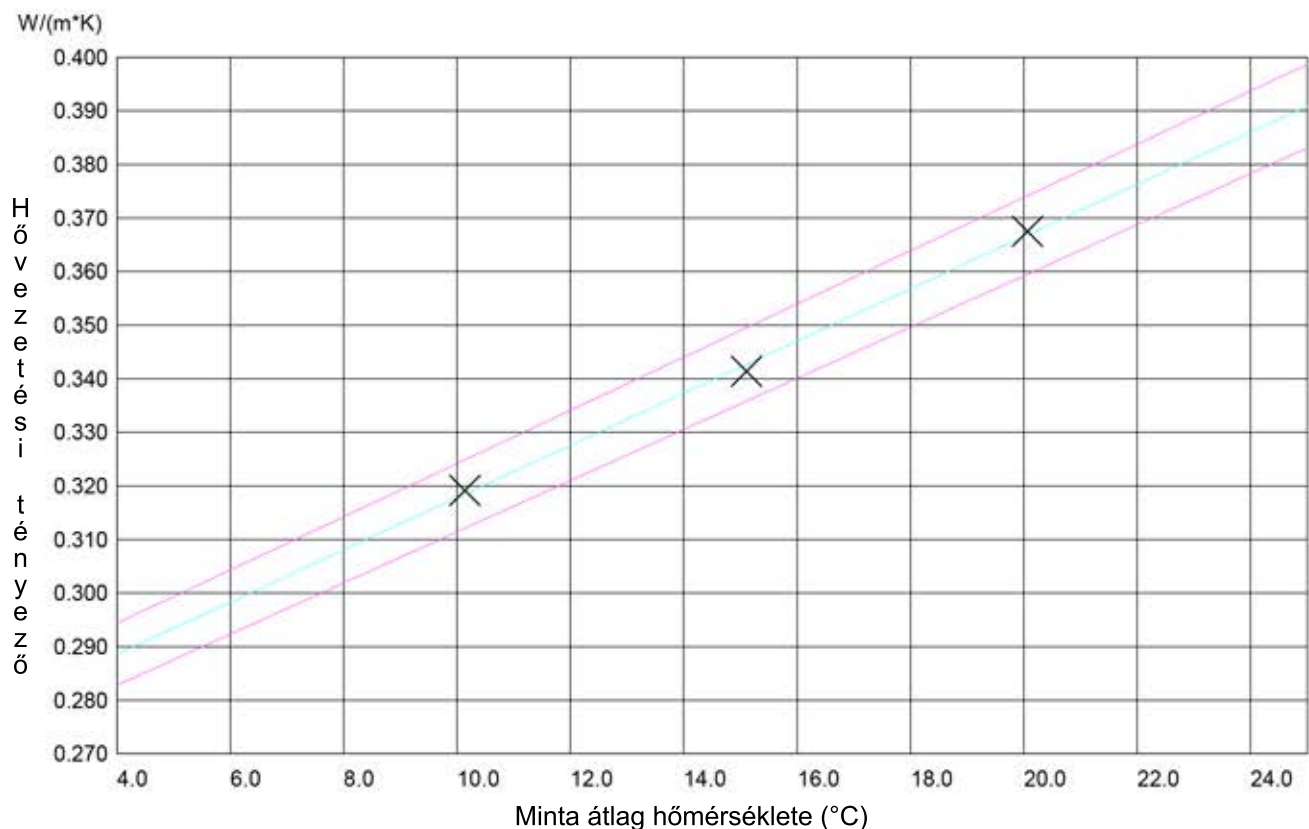
Megjegyzés

MÉRÉS SZÁMA:5

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	0.621	6.9	13.3	6.4	10.1	0.31915
2	0.644	12.0	18.2	6.2	15.1	0.34139
3	0.671	17.1	23.1	6.0	20.1	0.36751



Lambda (10°C) = (0.3178 +/-0.0095) W/(m*K) Lambda = 0.26911 + 0.004872 * MT W/(m*K)

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (2. tényező)

$\lambda_z = \text{W/(m}^{\circ}\text{K)}$

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

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

9/D. melléklet

Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék:

V

Minta vastagsága

40,10 mm

Minta

Minta elnevezés: V. minta

Anyag

V. Minta

Minta méretei és tömege

(300 x300 x40,1) mm /4020 g

Vizsgálat ideje

13.10.2014

Műszer

TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement

Megjegyzés

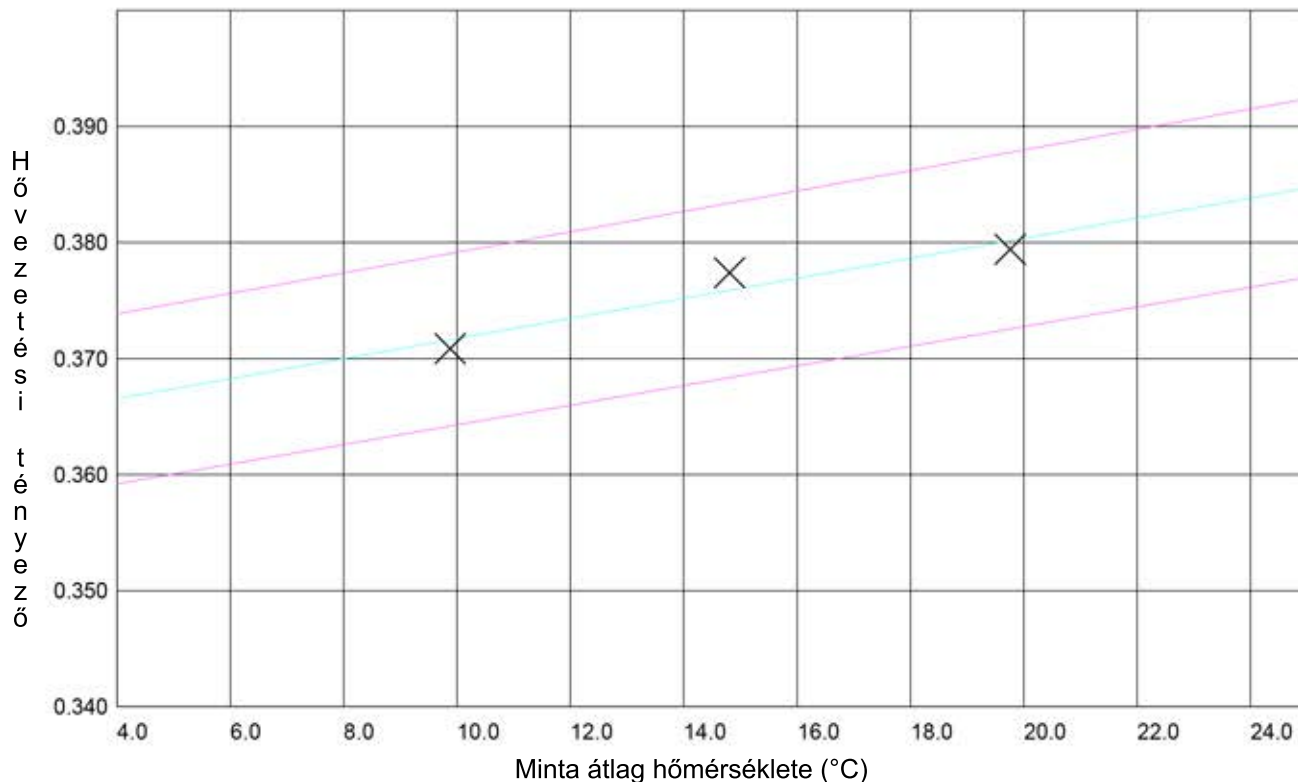
MÉRÉS SZÁMA:3

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	0.624	6.5	13.2	6.7	9.9	0.37086
2	0.633	11.4	18.2	6.7	14.8	0.37739
3	0.639	16.4	23.1	6.8	19.8	0.37941

W/(m*K)



Lambda (10°C) = (0.3717 +/-0.0112) W/(m*K) Lambda = 0.36307 + 0.000865 * MT W/(m*K)

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (2. tényező)

λ_z = W/(m*K)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

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

9/E. melléklet

Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék:

VI

Minta vastagsága

29,50 mm

Minta

Minta elnevezés: VI. minta

Anyag

VI. Minta

Minta méretei és tömege

(305 x306 x29,5) mm /3035 g

Vizsgálat ideje

16.10.2014

Műszer

TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement

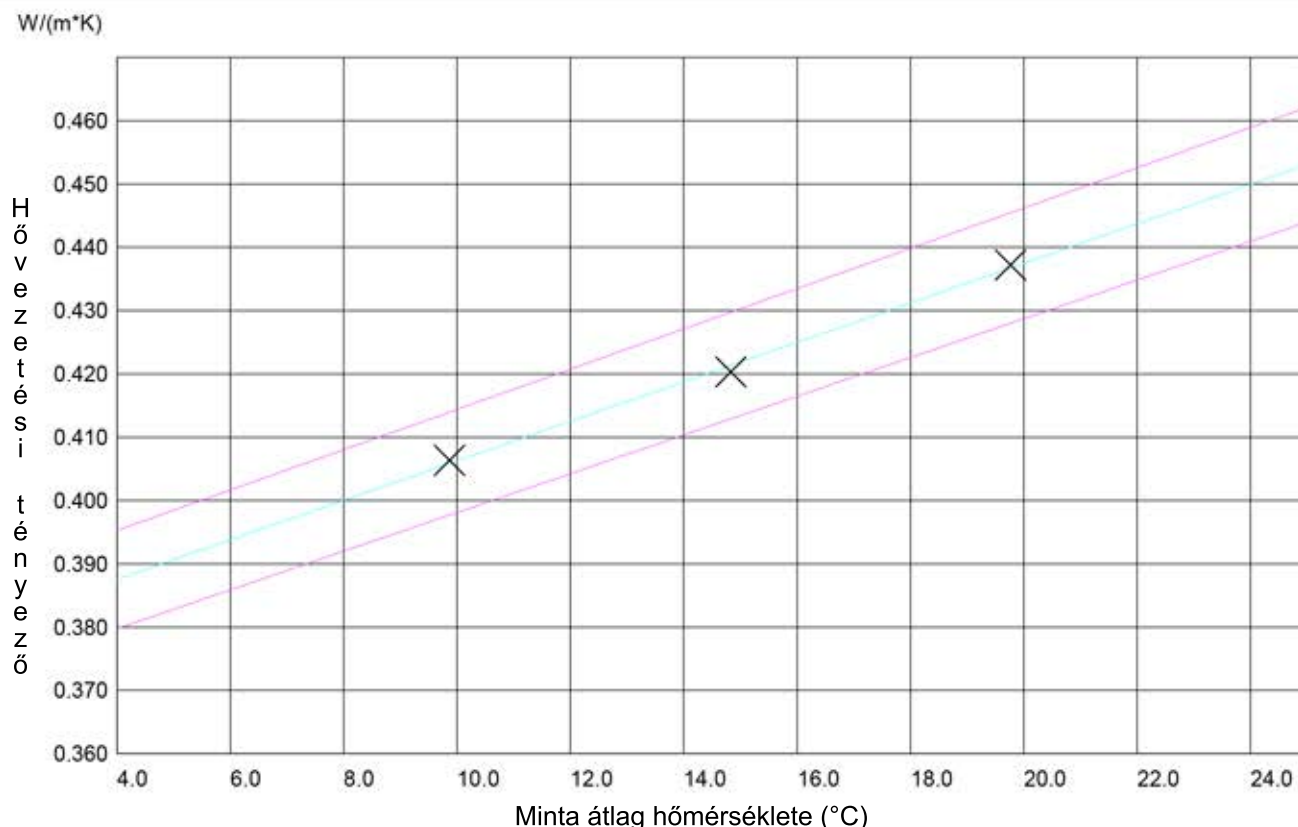
Megjegyzés

MÉRÉS SZÁMA:4

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/m²K)
1	0.791	7.0	12.7	5.7	9.9	0.40636
2	0.817	12.0	17.7	5.7	14.8	0.42034
3	0.839	16.9	22.6	5.7	19.8	0.43723



Lambda (10°C) = (0.4063 +/-0.0122) W/(m²K) Lambda = 0.37508 + 0.003119 * MT W/(m²K)

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (2. tényező)

λ_z = W/(m²K)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

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

9/F. melléklet

Vizsgálati jegyzőkönyv

hővezetési tényező vizsgálatáról

Keverék:

Ref f

Minta vastagsága

27,70 mm

Minta

Minta elnevezés: R. minta

Anyag

R. Minta

Minta méretei és tömege

(300 x301 x27.7) mm /5760 g

Vizsgálat ideje

20.10.2014

Műszer

TLP 300 - DTX-1P/1, One-plate measurement

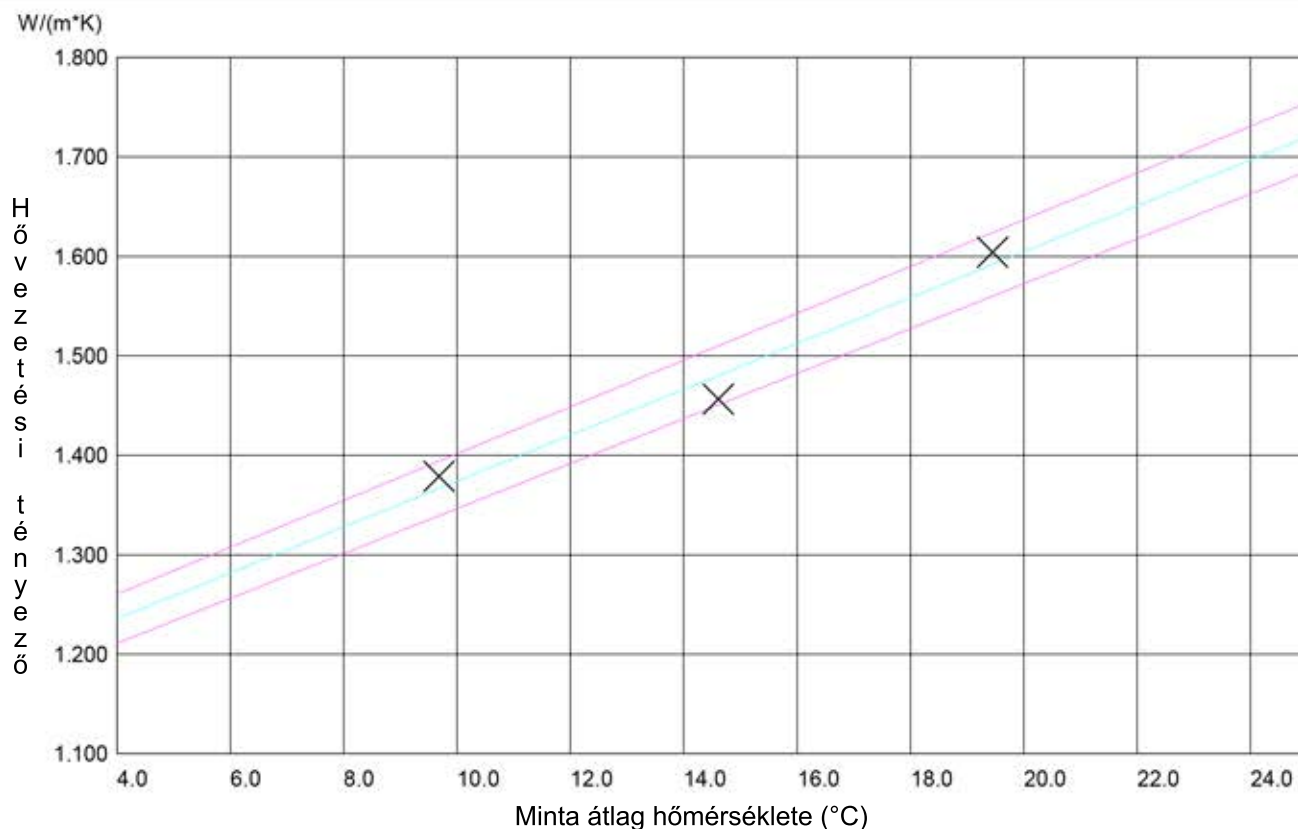
Megjegyzés

MÉRÉS SZÁMA:6

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	1.413	8.3	11.1	2.8	9.7	1.3788
2	1.459	13.2	16.0	2.8	14.6	1.4564
3	1.575	18.1	20.8	2.7	19.5	1.6042



Lambda (10°C) = (1.374 +/-0.041) W/(m*K)

Lambda = 1.14366 + 0.023053 * MT W/(m*K)

Eredmény +/- mérési bizonytalanság (2. tényező)

λ_z = W/(m*K)

BME Épületenergetikai és Épületgépészeti Tanszék Hőfizikai Laboratórium

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