



MISKOLCI EGYETEM



GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR

TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

BETONOK SZIVATTYÚZHATÓSÁGÁNAK VIZSGÁLATA

Németh Alexandra Kitti
IV. éves gépészmérnök hallgató

Tervezésvezető:
Dr. Marosné dr. Berkes Mária
egyetemi docens
Mechanikai Technológia Tanszék

Miskolc, 2012

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés	3
1. Előzmények, Célkitűzés.....	5
2. Irodalomkutatás	7
2.1. A beton típusa	7
2.2. A beton alkotóelemei	8
2.2.1. Cement.....	8
2.2.2. Adalékanyagok	9
2.2.3. Kiegészítő anyagok	11
2.2.4. Betonadalékszerek.....	12
2.3. Betongyártás.....	13
2.4. A betonszivattyúzás gyakorlati háttere	16
2.5. A betonszivattyúzás elméleti háttere	19
2.5.1. A konzisztencia	22
3. Kísérleti munka	26
3.1. A transzportbeton előállítását megelőző vizsgálatok.....	26
3.1.1. A szitavizsgálat	26
3.1.2. Anyag-iszap tartalom vizsgálat.....	29
3.1.3. Halmazsűrűség-vizsgálat	31
3.2. A beton összetétele	32
3.2.1. Eredeti receptúra	35
3.2.2. Módosított receptúrák (Megoldási javaslatok)	35
3.2.2.1. I. Javaslat: Mészkelet hozzáadásával tervezett receptúra	36
3.2.2.2. II. Javaslat: 0-1-es frakciójú homok adagolásával tervezett receptúra.....	37
3.2.2.3. III. Javaslat: Örlött pernye adagolásával tervezett receptúra	39
3.2.2.4. Vegyszerek alkalmazása	40
3.2.2.5. Egyéb lehetséges megoldások.....	41
3.2.3. A választott megoldás	42
3.3. Vizsgálatok a leggyártott betonon	42
3.3.1. Terület-mérés.....	42
3.3.1.1. A terület vizsgálat menete	43
3.3.2. A levegő-tartalom meghatározása.....	45
3.3.2.1. A vizsgálat menete	46
3.3.3. Nyomószilárdság meghatározása.....	47
3.3.3.1. A nyomószilárdság meghatározásának menete.....	49
Összefoglalás	52
Irodalomjegyzék.....	55
Mellékletek	

A bemutatott kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

BEVEZETÉS

A beton története egészen az őskorig datálható, amikor a mész kötőképességét elődeink felfedezték. Meglehetősen tömeges és szinte mindennapi használata csak később kezdődött meg, mára azonban a beton életünk nélkülözhetetlen építőanyagává vált. Technológiájának ismerete és fejlesztése napjaink aktuális műszaki feladatainak egyike.

Dolgozatom elsődleges célja egy aktuális ipari probléma nevezetesen a transzportbetonok szivattyúzhatóságának vizsgálata, a szivattyúzhatóság javítási lehetőségeinek keresése.

A téma szakmai háttérének bemutatása érdekében munkám során részletesen ismertetem a beton gyártási folyamatát és beépítési technológiáját, különös tekintettel a beépítéskor gyakran alkalmazott szivattyúzási művelet nehézségeire.

A betonszivattyú alkalmazása akkor válik szükségessé, amikor a megközelítés akadályokba ütközik, illetve amikor az épület szerkezete miatt nem lehetséges, hogy a betont a mixerből közvetlenül bejuttassuk a munkaterületre. A beton továbbítása a betonszivattyúhoz kapcsolt hidraulikus karra szerelt csővezetéseken keresztül történik. Alkalmazását a nagy vízszintes és függőleges távolságok áthidalása tette lehetségessé. A szivattyú használata meglehetősen költséges, de ha a körülmények megkövetelik, nem lehet elhagyni használatát.

Nem minden transzportbeton továbbítható betonszivattyúval. A nem megfelelően megválasztott betonreceptúra lelassíthatja a kivitelezési munkálatokat így megnövelheti a munkaidőt és a költségeket, és akár dugulást is okozhat a csővezetékben, amely a több millió forint értékű szerkezetet tönkretelhet. A szivattyúzható beton fontos tulajdonsága, hogy kellően mozgékony, jó összetartó képességű és péptelített legyen. A receptúra megválasztása során figyelembe kell venni a kivitelezés technológiáját, az építményt, amely a legyártott betonból készül, továbbá a felmerülő költségeket.

Ez utóbbi követelményhez kapcsolódóan már a receptúra tervezésekor figyelembe kell venni a felhasználandó alapanyagok költségeit. Az összetételt tehát lehetőség szerint úgy kell megtervezni, hogy a költségeket minimalizáljuk, de a betonnal szemben támasztott elvárásokat maximálisan

kielégítsük. Egy jól megválasztott betonreceptúrával a kivitelezéssel kapcsolatos költségeket is jelentősen csökkenteni lehet.

Dolgozatom központi témája a betonszivattyú működése, a szivattyúzási művelet helye a technológiai folyamatban és annak vizsgálata, hogy a transzportbetonok helyszíni szivattyúzhatóságát hogyan befolyásolhatjuk kedvezően a beton összetételén keresztül. A felmerült problémára több megoldást is kidolgoztam, amelyek közül a költségek és a rendelkezésre álló alapanyagok figyelembevételével a szakmai gyakorlatom helyszínéül szolgáló egyik cég, a Holcim Hungária Zrt. nyíregyházi telephelyén legyártották azt a receptúrát, amely a korábban meghatározott feltételeket a legteljesebb mértékben kielégítette.

1. ELŐZMÉNYEK, CÉLKITŰZÉS

A dolgozatom témájául szolgáló problémával és annak megoldási lehetőségeivel a nyári szakmai gyakorlatom helyszínéül szolgáló Holcim Hungária Zrt. nyíregyházi gyáregységénél ismerkedtem meg, ahová 2012. július 12-én megrendelés érkezett 45 m^3 beton gyártására és kiszállítására. A rendelt beton típusa: C16/20-X0v(H)-24-F3 volt.

A cég legyártotta a megrendelt, és egyébként teljesen átlagos, jól ismert minőségű betont, majd kiszállította megrendelő nyíregyházi építkezésének helyszínére.

A szivattyúzás megkezdését követően a csővezeték rövid idő alatt eldugult. Ennek oka, mint utólag kiderült, az volt, hogy a megrendelő nem értesítette a betonüzemet, hogy a betont betonszivattyú segítségével szeretné továbbítani, vagyis a megrendelt anyaggal szemben támasztott egyik legfontosabb követelmény nem volt ismert a gyártó számára.

A mixert visszahívták a helyszínről, majd ezt követően a beton összetételének meghatározásáért felelős labor egy másik receptúra választása mellett döntött. Ennek az új receptúrának ugyanazzal a betonjellel kellett rendelkeznie, mint az eredetinek, de egy fontos további követelményt is ki kellett elégítenie, azaz, hogy legyen péptelített, ami a betonpumpa segítségével történő továbbítás fontos feltétele.

A dolgozat célja az előbb említett minőségű beton receptúrájának megváltoztatása az adalékanyag-váz módosítása nélkül, és a péptelítettség elérése.

E probléma megoldására több elméleti megoldástervezetet is kidolgoztam, amelyek közül betontechnológus szakemberek segítségével, gazdaságossági szempontok, valamint a felhasználandó alapanyagok elérhetőségének figyelembe vételével kiválasztásra került a megvalósítandó receptúra. A kiválasztott beton összetétel a gyakorlatban is megvalósítható, hiszen nem tartalmaz olyan összetevőket, amelyek nem találhatóak meg egy átlagos betonüzemben, ugyanakkor megfelel azoknak a követelményeknek, amelyeket egy mindennapos használatra előállított, szivattyúzható betonnal kapcsolatban elvárnak a felhasználók.

A kiválasztott receptúra alkalmazhatóságát természetesen vizsgálatokkal is alátámasztottam. Az elvégzett vizsgálatok a megfelelő szemeloszlású

adalékanyag kiválasztásától kezdve, a friss beton konzisztencia vizsgálatán át, a megszilárdult beton minősítéséig fontos szerepet játszanak mind a labor, mind a kivitelezők, mind a felhasználók szemszögéből.

Az előállított és a továbbiakban vizsgált transzportbetonra az 1. Táblázatban feltüntetett beépítési adatok érvényesek.

1. Táblázat: Beépítési adatok

Beépítési adatok	
Építmény megnevezése:	Társasház
Szerkezet neve:	Födém
Beépítés helye:	Nyíregyháza
Alkalmazott szabvány:	MSZ 12390-3:2002
Mintavétel helye:	Nyíregyháza
Mintavétel időpontja:	2012. júl. 12.
Vizsgálat helye:	Miskolc
Vizsgálati időpontok:	2012. júl. 19
	2012. aug. 16.

A beépítési adatok a megrendelt beton fontos azonosítói, amelyeket a gyártó nyilvántart, és amelyek végigkísérik a gyártmányt az előállítási technológia során.

2. IRODALOMKUTATÁS

A beton cementből, vízből, adalékanyagokból, illetve szükség esetén adalékszerekből álló kerámia kompozitnak tekinthető többfázisú anyag. A betont, mint minden más iparban használt anyagot, meghatározott szabványok, műszaki előírások, elfogadott számítási módszerek szerint kell tervezni, előállítani, szállítani, és a minőségét ellenőrizni. Magyarországon jelenleg az MSZ 4798-1:2004 szabvány vonatkozik a beton műszaki feltételeire, teljesítőképességére, gyártására és megfelelőségi feltételeire.

A dolgozat keretein belül vizsgált beton ún. transzportbeton. Transzportbeton az a beton, amely megrendelés alapján, valamelyik járatos szabvány, előírás szerint tervezett és készített friss betonkeverék, amelynek alapanyagait a transzportbeton-üzemben mérik ki, telepített vagy mobil berendezésben keverik össze, szállítóeszközzel szállítják, és a vevő felelős képviselőjének készre kevert állapotban adják át. Más megfogalmazásban: készre kevert friss állapotú szabványos minőségű betonkeverék, amelyet nem a betonkeverék felhasználója állít elő [1, 2].

2.1. A beton típusa

A beton jelölésében elsősorban azokat a tulajdonságokat adjuk meg, amelyek a felhasználó számára fontosak, ezek határozzák meg a beton típusát.

A jelölés jelentése a vizsgált beton – C16/20-X0v(H)-24-F3 – esetében a következő :

- *C16/20*: az előírt legkisebb jellemző nyomószilárdság. Értelmezése: 150 mm átmérőjű 300 mm magas hengeren mérve 16 N/mm², 150 mm élhosszúságú kockán mérve 20 N/mm²;
- *X0V(H)*: környezeti hatásoknak (nedvesség, karbonátosodás, fagyás/olvadás, kémiai korrózió, koptatóhatás vagy víznyomás) nem ellenálló, legfeljebb 35% relatív páratartalmú vagy levegőtől elzárt, száraz helyen lévő vasbeton;
- *24*: a legnagyobb szemcseméret (átmérő) értéke, azaz $D_{\max} = 24$ mm;

- *F3*: az ún. területre utaló szám, amelynek értéke az MSZ EN 12350-5:2009 értelmezése szerint jelen esetben 420-480 mm. Ez az érték a megszokott magyar megnevezéssel: képlékeny betont jelent.

Megállapítható, hogy a vizsgált beton átlagos felhasználásra készült és a betonüzemben könnyen előállítható [3, 4]

2.2. A beton alkotóelemei

A beton összetételének 70 – 80 %-át általában a különböző frakciókból álló adalékanyagok alkotják. A második legnagyobb térfogatszázalékkal rendelkező alkotórész 15 – 20 %-kal a víz. Ezt követi a cement 7 – 14 %-kal. A kiegészítő anyagok, mint például a kohósalak, a mészköliszt, stb. legfeljebb 2,5 %-ot tesznek ki. A legkisebb részt a különböző beton-adalékszerek alkotják kb. 0,5 %-nyi mennyiségükkel. Meg kell még említeni a levegőt, amely minden körülmények között jelen van a betonban, és mennyisége igen minimális, kb. 0,5-2 % [2, 5].

2.2.1. Cement

Cement a betongyártásban alkalmazott hidraulikus kötőanyag. Azokat a kötőanyagokat nevezzük hidraulikusnak, amelyekből vízzel keverve jól formázható pép keletkezik, és az így létrejött anyag vízben nem oldódik.

A cementek jelölése az MSZ EN 197-1:2011 szabvány szerint történik. Eszerint 5 cementfajtát különböztetünk meg, amelyekből összesen 27 különböző keverék készülhet. A cement típusoknak minősítésük során az MSZ EN 196 szabványt kell kielégíteniük.

A cement és a keverővíz reakcióját *cementhidratációnak* nevezzük. Ez a jelenség jelentős hőfejlődéssel jár. Az így keletkezett hő jelenléte vezet a kötések kialakulásához, valamint a cement fokozatos cementkővé szilárdulásához. A cementhidratáció során a cement *klinkerkristályaiból* két új anyag keletkezik: az egyiket a kalcium-szilikáthidrátokból (CSH) álló túszerű képződmények alkotják, a másikat pedig a kalcium-hidroxid (CaOH_2) kristályok sokasága. Ez a két anyag javítja a beton tömörségét, szilárdságát, tartósságát, véd a korrózió ellen, ugyanakkor ún. *mészkivirágzást* okoz, amely rontja a betonfelület minőségét.

Mész kivirágzás fogalmán azt a hibajelenséget értjük, amikor a beton kiszáradása után az oldott anyagok a víz elpárolgásával kiválnak, és a beton felületén fehér bevonatot képeznek. Ennek megjelenése a betonfelületeken különösen a látszóbetonoknál okoz problémát.

A cement kötése a víz hozzáadása után 1,5-2 órával kezdődik, és befejeződése 12 óra múlva várható. Ekkor nyeri el a beton az ún. *zöltszilárdságát*. Zöltszilárdság alatt azt az állapotot értjük, amikor a szerkezet már képes megtartani a saját súlyát, de még nem terhelhető.

A beton szövetszerkezete állandóan változik, beépítése után sem marad azonos. Ennek oka, hogy a levegőben található szén-dioxidot felszíne megköti, amelynek következménye, hogy a felszíni réteg kikarbonátosodik, és keménnyé válik [2].

2.2.2. Adalékanyagok

Az adalékanyag a beton azon alkotóeleme, amely a beton tömegének legnagyobb százalékát teszi ki. Elsődleges szerepe a szerkezet „vázának” kialakítása. Az adalékanyagok csoportjába tartozik például a homok és a kavics.

A beton-adalékanyagok lehetnek természetes (pl. homok, kavics) vagy mesterséges (pl. kazánsalak, kohósalak) eredetűek.

Az adalékanyagok hazai alkalmazását az MSZ 4798-1:2004 betonszabvány értelmezi. Ezek az MSZ EN 13055-1:2003 közhalmaz-szabványban említett beton-adalékanyagok.

A beton adalékanyagok csoportosítása történhet geometriai, fizikai, kémia vagy tartóssági szempontok alapján. E csoportosításoknak az esetek többségében termékminősítő vagy betontechnológiai szerepe van.

Az adalékanyagok a kavicsbányából szemnagyság szerint osztályozva, frakciókba sorolva kerülnek a betongyárba. Az adalékanyagok szemnagyságát az MSZ EN 12620:2002+A12008 szabvány szerint a névleges legkisebb (d) és a névleges legnagyobb (D) szemnagysággal jelölik. A szemnagyság ezen két szélső értékét a betonüzemekben is feltüntetik a tárolók falán.

A betonkeveréket a frakciók megfelelő arányú keverékéből állítják össze. A keverék az MSZ 4798-1:2004 szabvány [3] szerint a következő tulajdonságokkal jellemezhető:

- Szemmegoszlási görbe

A szemmegoszlási görbe a vizsgálószitákon átesett összes anyag tömeg%-ban, illetve eltérő testsűrűségű adalékanyagok esetén térfogat%-ban kifejezett mennyiségének ábrázolása a szemnagyság logaritmusának függvényében. A szemmegoszlási görbe lépcsős vagy folyamatos lehet.

- Legnagyobb szemnagyság

A legnagyobb szemnagyság alatt annak a szabványos (MSZ EN 933-1998), vizsgálószitának a legkisebb nyílását értjük, amelyen átszítva a fennmaradt összes anyag mennyisége legfeljebb 5 tömeg%, illetve ha az adalékanyag szemek testsűrűsége nem azonos, akkor legfeljebb 5 térfogat%.

Jele: D_{max} vagy D .

- Finomsági modulus

A finomsági modulus a betonadalékanyag szemmegoszlásának jellemzője, amelyet a 0,063 mm nyílású szitával kezdve növekvő lyukbőségű szitákon történő átszítálás után fennmaradt összes anyag tömegarányából, eltérő testsűrűségű adalékanyagok esetén térfogatarányából számítanak. A finomsági modulus értékét az adalékanyag logaritmikus szemmegoszlási görbéje fölötti területtel jellemzik, amelynek számszerű értéke annál kisebb, minél nagyobb hányadot képviselnek a finomabb szemnagyságú részek az adalékanyagban.

Jele: m .

- Egyenlőtlenségi együttható: $U_{70/10} = \frac{d_{70}}{d_{10}}$

A betonadalékanyag szemmegoszlásának egyenlőtlenségi együtthatója a szemmegoszlási görbe 70 tömeg%-os (ill. térfogat%-os) ordináta értékéhez tartozó szemnagyság (d_{70}) és a szemmegoszlási görbe 10 tömeg%-os (térfogat%-os) ordináta értékéhez tartozó szemnagyság (d_{10}) hányadosa.

Jele: $U_{70/10}$ [3, 6].

2.2.3. Kiegészítő anyagok

A kiegészítő anyagokat elsődlegesen a betonból hiányzó finomrésztartalom pótlására alkalmazzák. A beton finomrésztartalmán a 0,25 mm alatti átmérőjű finomhomok, cement és kiegészítő anyagok együttes mennyiségét értjük. Ezek az anyagok nagyon fontos (vagy pontosan meghatározott) szerepet játszanak abban, hogy a beton péptelített legyen, vagyis betonszivattyú segítségével továbbíthatóvá váljék.

Ha a betonban kellő mennyiségű finomrész található, akkor csökken az adalékanyag szemcséi között fellépő súrlódás, javul a beton bedolgozhatósága, csökken a kivérzésre (felületi vízkiválásra) való hajlandóság, továbbá az adalékszerek hatékonyabban fejtik ki hatásukat. Ezzel szemben a finomrész hiánya csökkenti a szilárdságot, növeli a vízáteresztő képességet és csökkenti a beton tartósságát is.

Magyarországon a transzportbetonok gyártásához többnyire kétféle kiegészítő anyagot alkalmaznak: a *kőszénpernyét* és a *mészkőlisztet*.

A mészkőliszt (MSZ EN 12620:2002+A1:2008 V), az egyik leggyakrabban alkalmazott kiegészítő anyag, amely az inaktív anyagok csoportjába sorolható. Az inaktív anyag olyan anyag, amelynek alkalmazása esetén nincs vegyi reakció, vagy csak felületi reakció van. Egyes szakmai nézetek szerint [4] azonban csak „kvázi-inertnek” minősíthetjük. Ennek oka, hogy feltehetőleg részt vesz a cement hidratációjában, másrészt kérdéses a mészkő taumazit (szulfátkárosodás) képződésben játszott szerepe is.

A mészkőliszt alkalmazása javítja a betonok bedolgozhatóságát, szivattyúzhatóságát, javul a kitöltő hatás, ezáltal csökken a porozitás. Adagolása akkor válik szükségessé, ha a rendelkezésre álló anyagban kevés a finomrész, ezáltal nehezkesse válik a bedolgozhatóság. Mivel a mészkőliszt szemcsenagysága 63 mikrométer alatti, így tökéletesen alkalmas a finomrész pótlására.

A mészkő kristályszerkezete közel azonos a cementkő kialakuló kristályszerkezetével. Mint már korábban említettük a mészkőliszt inert anyag, adagolásának mértéke nem a cementtartalom függvénye, hanem az adalékanyagban lévő finomrész mennyiségétől függ.

A mészkőliszt kiváltásának egyik lehetséges alternatívája a homokliszt felhasználása. Ez a szintén inert anyag azonban kevesebb finomszemcse részarányal rendelkezik, hiszen a mészkőlisztnél keményebb, nehezebben

örölhető, emiatt „szűkebb” mérettartományban mozgó szemcseszerkezetű, vagyis kevesebb benne a finomszemcsék részaránya, így nem tudja teljes mértékben pótolni a mészkölisztet. További hasonlósága a mészköliszttel, hogy egyes elméletek szerint [4] szintén kvázi-inert anyagnak tekinthető, ugyanis magas nyomáson és hőmérsékleten reagálhat a mészhidráttal kalcium-szilikát-hidrátokat képezve.

A transzportbetonok gyártásánál előszeretettel alkalmazott kiegészítő anyag a *pernye* (MSZ EN 450-1:2005+A1:2008), amelynek gömb alakú részecskéi javítják a beton szivattyúzhatóságát. Ezt az anyagot az MSZ 4798-1:2004 szabvány a puccolán-jellegű, trassz anyagok közé sorolja. A puccolán-jellegű anyagok közös jellemzője, hogy a betonban cementhidrát-szerű anyagokat képeznek, amelyek jelentősen hozzájárulnak a beton szilárdságának növekedéséhez. Csökkentik továbbá a porozitást, ezáltal javul a beton tartóssága is [2, 4, 6].

2.2.4. Betonadalékszerek

Betonadalékszer alatt az olyan folyékony vagy porformájú vegyi anyagot értjük, amelyet a cement tömegére számított legfeljebb 5% mennyiségben, keverés közben adagolnak a friss betonba annak érdekében, hogy a friss és/vagy szilárd beton tulajdonságait céltudatosan megváltoztassák.

Ezt a hatást az adalékszerek fizikai és/vagy kémiai hatása révén érjük el. Ezeket, az anyagokat elsősorban az ún. főhatásuk miatt adagoljuk, ezt jelöli az adalékszer neve. Azonban ezek a szerek sok esetben a beton más tulajdonságait is megváltoztatják, ezt nevezik mellékhatásnak.

A friss betonba kerülő adalékszereknek meg kell felelniük az MSZ EN 934-2:2009 szabványnak.

Az adalékszerek adagolása függ a cement típusától, mennyiségétől, őrlésfinomságától, a keverés módjától, időtartamától és egyéb tényezőktől.

A képlékenyítő és folyósító adalékszerek a leggyakrabban használt adalékszerek közé tartoznak. A képlékenyítőket és a folyósítókat sok esetben azonos anyagnak tekintik, azonban hatásuk jelentősen eltér. A legfőbb különbség köztük, hogy a képlékenyítők konzisztencia-növelő hatása gyengébb, míg a folyósítóké erősebb.

A beton konzisztencia fizikai fogalom, a folyadékok viszkozitásával rokon jelentőségű betontechnológiai kifejezés, amely a friss beton mozgással szembeni

ellenállását, belső súrlódását, alaktartását fejezi ki. A beton konzisztenciája elsősorban a friss beton keverhetőségét, szállíthatóságát, bedolgozhatóságát, tömöríthetőségét, állékonyságát befolyásolja, de hatással van a beton cement- és vízigényére, kötési-szilárdulási folyamatára, zsugorodására, a megszilárdult beton szövetszerkezetére (struktúrájára) vagy szilárdságára is.

A folyósítók alkalmazásának hatása kétféle lehet: az egyik esetben csökkentik a víztartalmat, miközben a konzisztencia változatlan, a másik esetben a víztartalom változatlan marad, azonban erősen javul a bedolgozhatóság.

A képlékenyítő adalékszerek hatóanyaga általában a ligninszulfonát.

A folyósító és a képlékenyítő az adalékszerek jelentősen csökkentik a keverővíz mennyiségét, ugyanakkor javítják a friss beton bedolgozhatóságát. Használatuk során nem csökken a kötési idő, illetve még meleg időben is képesek megnövelni a bedolgozhatóság időtartamát.

A transzportbetonok szállítása, elhelyezése és tömörítése során különböző „szétosztályozódások”, ún. szegregációk, jöhetnek létre (Szegregációnak nevezzük azt a jelenséget, amelynek során a beton alkotóelemeire esik szét, így már nem alkot homogén elegyet.) Ennek a hibajelenségnek az elhárítására használják a *stabilizáló szereket*, mivel az ilyen típusú adalékszerek alkalmazása esetén csökken a beton szétosztályozódási hajlama.

Az adalékszerek egymással való összeférhetőségét általában nem szükséges ellenőrizni, ha azonos gyártótól származnak a vegyszerek.

Az adalékszerek összeférhetőségét az adott cementtípussal is vizsgálni kell [1, 2, 4, 6, 7].

2.3. Betongyártás

A Holcim Hungária Zrt. nyíregyházi betonüzemében transzportbeton gyártásával foglalkoznak. (ld. 1. melléklet).

A beton különböző alapanyagai közúton érkeznek a telephelyre. A tárolás és a fogadás silókban történik.

Az adalékanyag feldolgozott, osztályozott formában érkezik az üzem területére. Az üzembe bejövő szállítmány tömegének ellenőrzése

tengelymérlegesen történik. Az adalékanyag egy részét a feladóbunkerbe juttatják, ahonnan közvetlenül gyárba kerül, míg másik részét a passzív tárolótérben helyezik el. Felhasználása ez utóbbi esetben csak később történik meg. Mivel a beton gyártására vonatkozó megrendelések nem jelezhetők mindig előre, ezért szükség van passzív tárolótérre.

A passzív tárolótérből a feladóbunkerbe egy szállítószalag segítségével, gumikerekes homlokrakadó gép segítségével kerül. Az üzem területén egy hatrekeszes 400 tonna összkapacitású tárolósiló található. Rekeszenként különböző frakciókat tartalmaz.

A tárolókból pneumatikusan működtetett szektorzárak segítségével adagolják az anyagokat az adalékmérlegbe. A nehezen mozgó frakció problémamentes továbbítását elektromos vibrátor segíti.

A cellákban található adalékanyag tömegének meghatározására egy, az elektronikus mérőcellákra függesztett mérlegkeret szolgál. (Mérési tartomány: 5000 kg.) Az adalékanyag receptúra szerinti adagolása az elektronikus mérőcellákra függesztett kavicsmérleg segítségével történik.

A cement zárt rendszerű közúti tartálykocsikban érkezik a telepre. A tartályokból a cement típusának megfelelő silóba ürül a pneumatikus szállítórendszer feltöltő csővezetékein keresztül.

Az üzemben 4-féle poranyag kerül elhelyezésre 2 darab 120 tonna és 2 darab 60 tonna kapacitású silóban. Ezek a silók csoportokba vannak rendezve, és átjáró pódiumok kötik össze őket. A silók alsó kifolyónyílása pillangószelepekkel zárható le.

A cementcsigákat a betontechnológiában cement szállítására használják. Ezek a cementsigák 30 tonna/óra teljesítménnyel üzemelnek. A 4 darab silórekeszt egy-egy cementcsiga köti össze a cementmérleggel, amelyben megtörténik a cement mérlegelése. Az elektronikus mérőcellákra rögzített cementmérleg mérési tartománya 600 kg. A mérlegtartály 4-féle cement fogadására alkalmas. A mérlegtartály összeköttetésben van a keverődobbal, amelybe a cement közvetlen ürítése egy pillangószelepen keresztül történik. A problémamentes továbbítást ebben az esetben is vibrátor segíti.

A vegyszereket 1000 literes műanyag konténerekben tárolják. A rendszer egyszerre 4-féle vegyszer adagolását teszi lehetővé egymástól függetlenül.

A vegyszerek tömeg szerinti adagolását biztosító vegyszermérleg 25 liter osztófogatú. Megtöltését 4 db 50 liter/perc szállítóképességű vegszerszivattyú végzi. A mérleg méréshatára 25 kg. A mérlegtartályból gravitációs úton kerül a vegyszer a vízmérleg-tartályba, vagy bizonyos esetekben közvetlenül a keverőbe.

A betonüzem vízellátását fűt kútból biztosítják. A kútból a víz egy 9 m³-es puffer tárolóba kerül, amelyet követően egy nyomásfokozó egység helyezkedik el, ezáltal biztosítva a telep komplett vízellátását. (A puffer tároló fűthető, így télen a beton keverése meleg vízzel történik.) Az elektronikus mérőcellákra függesztett vízmérleg mérési tartománya 400 kg. Ennek ürítése gravitációs úton történik.

A telep sűrített levegő igényét egy 600 liter/perc szállítási teljesítményű kompresszor fedezi. A mixerek és pumpák mosását egy BIBKO típusú telepített mosóval végzik.

Környezetvédelmi szempontok miatt a visszaszállított betonokat újrahasznosítják. A betonnal szennyezett víz szétválasztását végzi el a spirális elválasztó egység segítségével a mixermosó berendezés. A cementes víz egy agitátorral ellátott aknába kerül, ahonnan egy búvárszivattyúval újra lehet hasznosítani a betongyártás folyamatában az MSZ EN 4798-1:2004 szabványban leírtak szerint. A szétválasztás után nyert kavicsot újra felhasználják a 0-63 frakcióban.

A beton összetevői egy betöltőnyíláson keresztül az adalékanyag-, a cement-, és a vegyszermérlegből jutnak a keverőberendezésbe. A mérlegelési ciklus végén az adalékanyagok és a cement egy időben kerülnek ürítésre, majd kis idő múlva a víz, melynek késleltetése receptúránként állítható. A betöltőnyíláson a receptúrának megfelelő összetételű anyag áramlik át. Ezt követően az alkotóelemeket összekeverik egy ELBA 2000 típusú keverőberendezésben. A keverési idő függ a betonreceptúrától, illetve a hőmérséklettől és a betonban lévő adalékszerek fajtájától. Két darab 40 kW teljesítményű elektromotorral hajtott, vízszintes tengelyű keverőegység, keverési műveletenként max. 2 m³ beton ad ki. Ez határozza meg a gyár teljesítményét is.

A kész betont egy pneumatikusan működtetett ürítő ajtón keresztül mixerautóba vagy tehergépkocsiba ürítik. A kiporzásmentes működést légszák biztosítja.

A betongyártás előreprogramozott receptúrák szerint folyik, amelyeket a betonlaboratórium első típusvizsgálattal igazol. Az első típusvizsgálat, ETV célja a vonatkozó harmonizált szabványoknak való megfelelés igazolása, illetve a termék teljesítményjellemzőinek meghatározása.

2.4. A betonszivattyúzás gyakorlati háttere

Amennyiben megközelítés nehézsége, illetve az épület szerkezete miatt nem lehetséges, hogy a betont a mixerkocsiból közvetlenül a munkaterületre juttassuk, betonszivattyú alkalmazása válik szükségessé. Ilyenkor a betont a betonszivattyúhoz kapcsolt hidraulikus karra szerelt csővezetékeken keresztül továbbítják. A betonszivattyú alkalmazását a nagy vízszintes és függőleges távolságok áthidalása tette szükségessé. A szivattyúzható betonnal szembeni fontos követelmény, hogy kellően mozgékony, jó összetartó képességű és péptelített legyen.

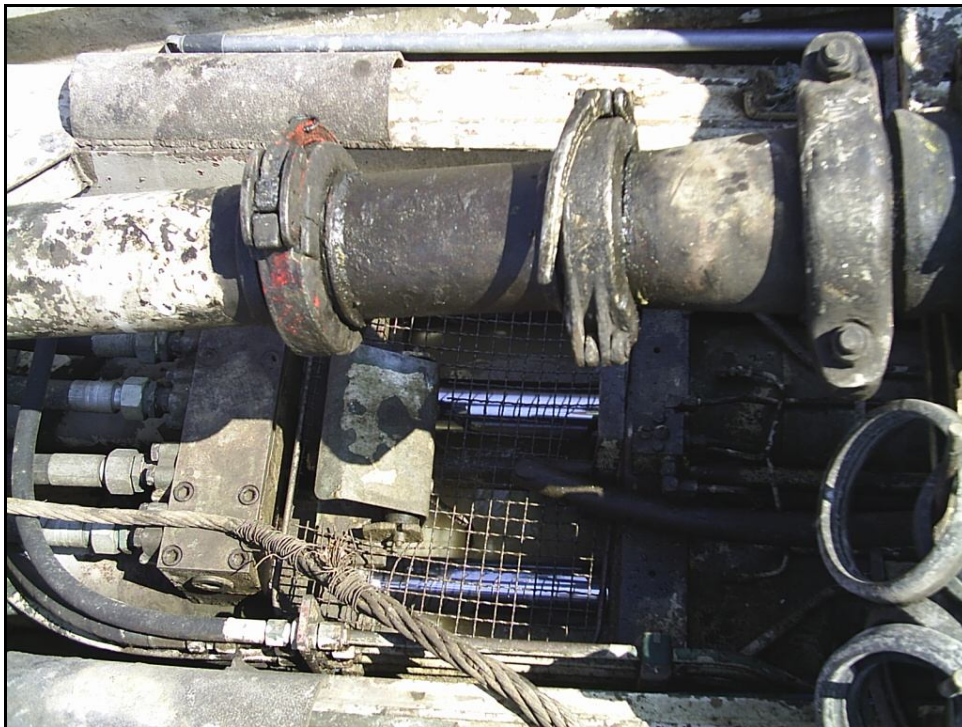
A gépkocsi alvázára szerelt betonszivattyú biztosítja a beton folyamatos áramlását a csővezetéken keresztül. Maga a berendezés a beton fogadására alkalmas tölcserből, a továbbítást biztosító szivattyúból és a csővezetékből áll. A fogadótölcserben a betont folyamatosan keverik.

A betonok mozgatására leggyakrabban használt szivattyúk a direkt működésű dugattyús szivattyúk. E szivattyúk lehetnek egy-, illetve kéthengeres kialakításúak. Működési elvük meglehetősen egyszerű. A kéthengeres betonszivattyú működési elve a következő:

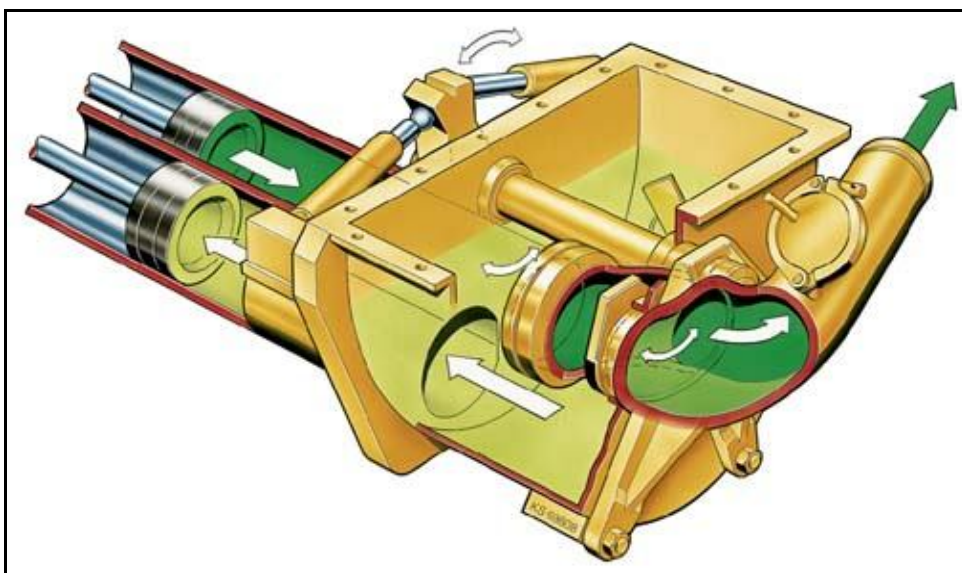
A szivattyúban két pneumatikusan működtetett párhuzamosan kapcsolat henger található, amelyek egymáshoz képest ellentétesen mozognak. Amikor a betonszivattyú beömlő tölcserébe jutott betont az egyik henger felszívja, a másik henger a lengőcsövön keresztül továbbítja a már korábban felszívott betont a csővezetékrendszerbe. Ezután a lengőcső átáll a másik henger elé, és ez a folyamat ismétlődik tovább. Ez a leggyakrabban használt szivattyú típus (ld. 1. és 2. ábra).

A legjobb hatásfok akkor érhető el, ha a csővezeték átmérője megegyezik a henger átmérőjével. Az adalékanyag szemcseméretének megválasztásával jelentősen javítható az áramlás. A gyakorlati tapasztalatok szerint legoptimálisabb az a csővezeték-átmérő, amely háromszor akkora, mint az adalékanyag legnagyobb/névleges szemcseátmérője.

E szivattyú típussal 60 m³ beton továbbítható óránként. Létezik belőle szállítható kivitelű is, így van lehetőség tehergépjárműre történő felszerelésre is.



1. ábra: Betonszivattyú



2. ábra: A betonszivattyú működési elve metszeti képen

A csővezeték átlagos hosszmérete 20-40 m (ld. 3. ábra). Vízszintes és függőleges irányban is alkalmas a beton továbbítására. A cső irányítása a gém billentésével és a csuklók mozgatásával lehetséges. A cső irányítását a gépkezelő távirányítással működteti. A gém mozgatását és a szivattyú működtetését hidraulikus rendszer végzi. A betonszivattyú teljesítménye típustól függően 20-120 m³/h lehet. A betonszivattyúhoz csatlakozó csővezetékrendszernek többféle kialakítása létezik.



3. ábra: Betonszivattyúhoz csatlakozó csővezeték

A munka megkezdése előtt a pumpa megindításának megkönnyítése érdekében szükség van a csővezetékrendszer belső falának kenésére. Így létrejön egy filmréteg a cső falán, aminek köszönhetően a megfelelő kenést nem a betonban található víz segítségével biztosítjuk, ami a beton kiszáradásához vezet, hanem a már előzetesen megnedvesített cső falán található folyadék által. Ha a szivattyú megindításának elősegítése ezzel a kenési művelettel nem történne meg, akkor a beton kiszáradna a csővezetékben, amelynek következtében megakadhatna, ezáltal komoly károkat okozva. Az előnedvesítés történhet cementes vízzel, cementhabarccsal, illetve CMC-vel. A CMC, vagyis a karboxi-metil-cellulóz egy szintetikus úton előállított mesterséges vegyület, amelyet pl.

tapétaragasztóként is használunk a mindennapi életben. Erősen viszkózus tulajdonsága miatt a szivattyú megindításához is kiválóan alkalmazható kenőanyag.

A munka végeztével a csővezetékrendszert ki kell tisztítani. Ezt általában egy gömb alakú szivacs labda segítségével végzik.

A beton szállítása és szivattyúzása közben fellépő hibalehetőségek a következők:

- A betonkeverék konzisztenciája nem megfelelő.
- A csővezeték a használat után nem mossák ki.
- A szállítási idő hosszabb a megengedettnél, a beton elveszti a konzisztenciáját (romlik).
- Elmarad a helyszíni átkeverés.
- Ún. "szétkeveredés", vagy szétesés áll elő a nem megfelelő betonösszetétel miatt.

2.5. A betonszivattyúzás elméleti háttere

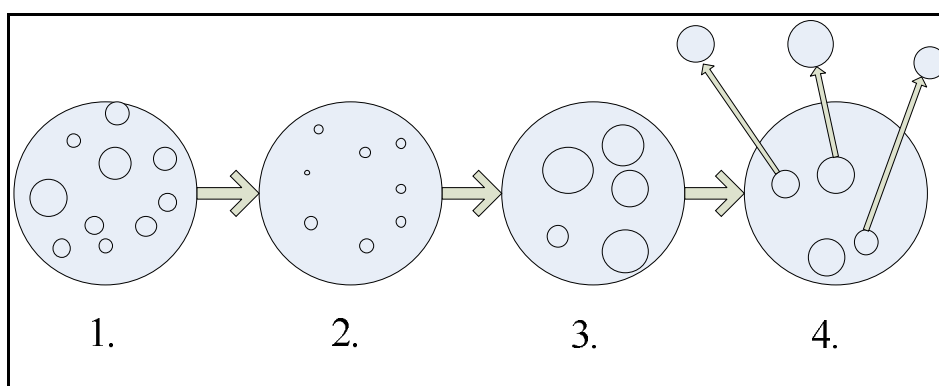
A szivattyúzhatóság fogalmát a beton esetében nem egyszerű meghatározni, még a *reológiai jellemzők* figyelembevételével sem. Általánosságban, a szivattyúzhatóság fogalma alatt a betonnak a nyomástól függő olyan stabil állapotát értjük, amelyben a beton megtartja kezdeti tulajdonságait. Azok a kutatások, amelyek a betonok szivattyúzhatóságával foglalkoznak a fókuszpontba a nyomástól függő stabilitást és mozgékonytságot helyezik.

Az első számú probléma a beton szivattyúzhatóságával kapcsolatban, a különféle *fázisok*, *szegregációk* kialakulásának veszélye. Ez a jelenség az ún. blokkolódáshoz vezet. A folyamat lényege, hogy nyomáskülönbség hatására a folyékony részek az adalékanyag szemcséi közt átszivárognak. A hibajelenség nagyrészt a rosszul megválasztott szemcseeloszlású adalékanyagnak, vagy a túlzottan nagy víz/cement-tényezőnek köszönhető. (A víz/cement tényező a friss beton víz- és cementtartalmának tömegaránya.)

A második probléma a szivattyúzhatósággal kapcsolatban, a betonban található levegőtartalom megváltozása a szivattyúzás során. A transzportbeton

alacsony levegőtartalmú beton, levegőtartalma 1-3% közötti. A betonban található levegő buborékok átmérője 50 μm körüli. A nem megfelelő levegőtartalom a szívási művelet során problémákat okozhat, illetve az alkotók szétválásához vezethet a beton szétterítése közben.

Szívásnak nevezzük azt a jelenséget, amikor a beton vákuum alá kerül. A dugattyús szivattyúban, a dugattyú kamra feltöltődik betonnal, részben a gravitációnak köszönhetően, részben a dugattyú visszahúzásakor jelentkező szívóhatás következtében. A víz oldóképessége a nyomás függvényében változik. A szívás pillanatában, a betonban található folyadék nyomása lecsökken, ami nagyméretű buborékok kialakulásához vezet, amelyek képesek a betonból kilépni. A levegőbuborékok mozgását a 4. ábra szemlélteti.



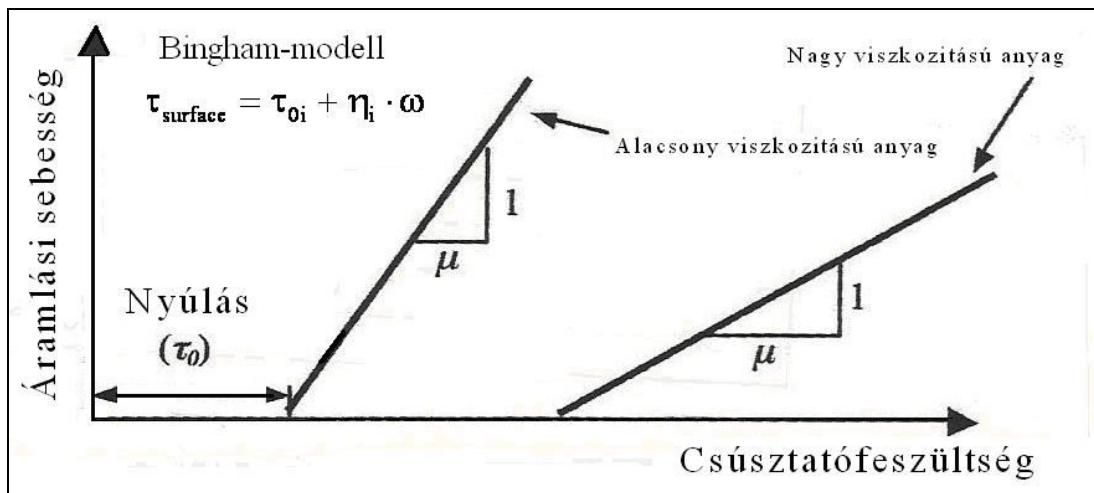
4. ábra: Légbuborékok mozgása a betonban: 1. Alaphelyzetben 2. Nyomás alatt 3. Vákuumban 4. Légbuborékok kilépése [8]

A szétbomlás jelenségét *Dyer* [9] észlelte először. Az ő elmélete szerint, amíg a beton nyomás alatt van, a kisebb buborékok feloldódnak a környezetükben található vízben. Amikor azonban a beton vákuum alá kerül a csőben, a termodinamika szabályai szerint a levegő buborékokat formál. *Boulet* [10] is foglalkozott a Dyer-féle szétosztályozódási mechanizmussal, és rájött, hogy a nyomás ideje és a maximális nyomás fontos szerepet játszik a mechanizmusban. Fontos kiemelni, hogy a szétosztályozódás során a levegőtartalom lényegesen nem változik [8].

A friss beton mozgásának leírása a reológiai és a tribológiai tulajdonságok meghatározásával lehetséges. A reológia tudománya a folyékony anyagokkal foglalkozik, a tribológia pedig a felületek közötti kölcsönhatással azok relatív elmozdulása közben.

A beton reológiájával a tudományos világ sokat foglalkozott az utóbbi évtizedekben. A tudomány mai állása szerint a beton reológiai modellje az *ún.*

Bingham-modell (ld. 5. ábra). Ez a modell két paraméterrel írja le a friss beton viselkedését: az áramlási sebességgel és a csúsztatófeszültséggel. A fizikai értelmezés szerint a friss beton Bingham-folyadékként viselkedik mozgás közben. Ez azt jelenti, hogy egy minimális nyomást el kell elérni ahhoz, hogy elinduljon a mozgás, mert ha ezt a minimális nyomásértéket nem éri el, akkor a súrlódási ellenállás nem engedi megmozdulni a folyadéktömeget.



5. ábra: A Bingham-modell [8]

Az egyparaméteres tesztek helyett, amikor csak a súrlódási ellenállás szempontjából vizsgálják a beton viselkedését, (ilyen például a roskadásmérés) a Bingham-modell sokkal jobban közelíti a valóságot, ezért a gyakorlati felhasználás szempontjából kiemelten fontos.

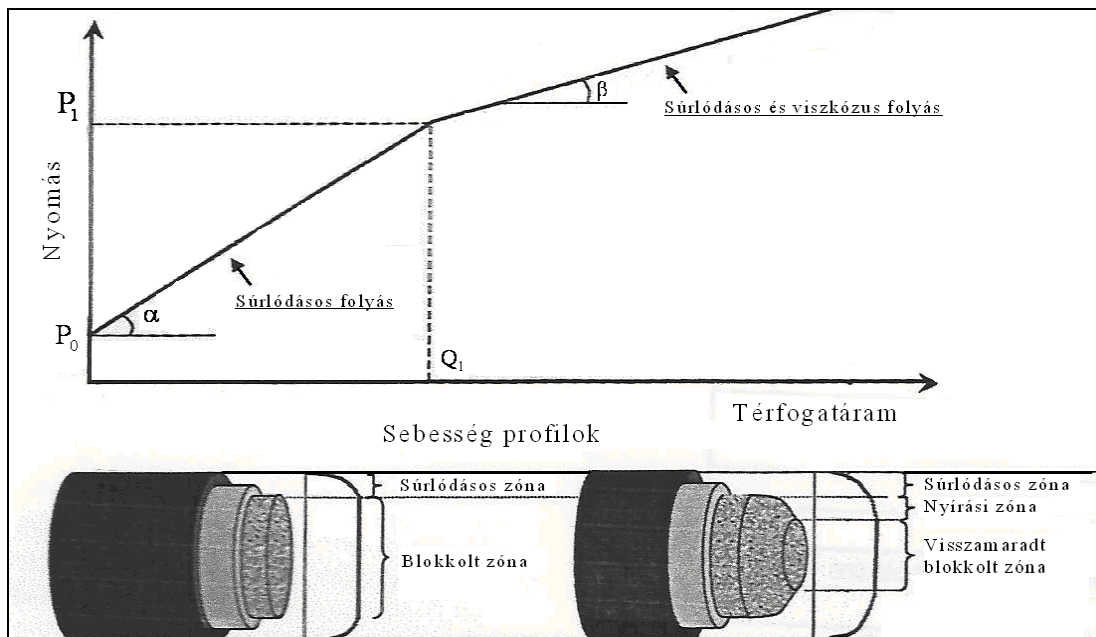
A beton viselkedése szivattyúzás közben a tribométerrel (csúszó súrlódásmérő eszköz) és a reométerrel (áramlásmérő) végzett mérésekkel kapott eredmények összekapcsolásával jellemezhető. E két műszerrel végzett vizsgálatok segítségével a beton viselkedése a következő összefüggéssel írható le [8]:

$$\tau_{\text{surface}} = \tau_{0i} + \eta_i \cdot \omega \quad (1)$$

Egyesítve a friss beton reológiai és tribológiai tulajdonságait, Kaplan [11] megalkotott egy *bi-lineáris modellt*, amely a beton áramlását a szivattyúzási nyomással jellemzi.

A modell első része, amely kisebb sebességeknél vizsgálja a beton viselkedését, az érintkező felületek szilárdtest jellegű tulajdonságaira alapoz, míg a második részben szükség van mind az érintkező felületek szilárdtest

jellegű tulajdonságaira, mind a folyékony állapotot jellemző tulajdonságokra, hogy meghatározhassuk a szivattyúzási nyomást. Kaplan elmélete szerint kis sebességű mozgások esetén a beton úgy mozog a csőben, mint egy kő, és csak kis vastagságú folyadék kenődik a cső falára (ezt a réteget nevezik folyós rétegnek). A sebesség növelésével ennek a folyós rétegnek az átmérője növekszik, a középső blokkszerűen mozgó réteg pedig fogy, amint az a 6. ábrán látható [8].



6. ábra: Kaplan modellje [8]

2.5.1. A konzisztencia

Egy beton szivattyúzhatóságát legjellemzőbben a konzisztencia fogalmával írhatjuk le. A konzisztencia elsősorban a friss beton keverhetőségét, szállíthatóságát, bedolgozhatóságát és állékonyágát befolyásolja. A konzisztencia függ a cement minőségétől, az adalékanyag anyagtani minőségétől és szemcseszerkezetétől és a keverék összetételétől.

A konzisztencia-mérés hagyománya közel egy évszázados. Az új európai szabvány (MSZ EN 206-1:2002) azonban a korábbi magyar betonszabványhoz (MSZ 4719:1982) képest megváltoztatta a konzisztencia osztályokat, és a mérési módszerekben is hozott bizonyos változásokat.

Az MSZ 4719:1982 „Betonok” című magyar szabvány a következő kategóriákat különbözteti meg:

- Földnedves (N)
- Kissé képlékeny (KK)
- Képlékeny (K)
- Folyós (F)

Az alig földnedves (AFN) és az önthető (Ö) kategória 1978-ig volt érvényben [12].

A beton megfelelőségének ellenőrzése a 2004. szeptember elsejétől hatályos MSZ 4798-1:2004 szabvány szerint történik, amely magában foglalja a már említett MSZ EN 206-1:2002 című szabványt is. A megfelelőség ellenőrzésének célja a vizsgált tulajdonság jellemző tapasztalati értékének meghatározása. A megfelelőség vizsgálat részben az előírt tulajdonságok vizsgálati ellenőrzéséből részben pedig a beton összetételi határértékeinek ellenőrzéséből áll. A mintavételezés során a mintát az MSZ EN 12350-1:2009 szabványnak megfelelően kell kiválasztani.

Az MSZ 4798-1:2004 szabvány négyféle módszert különböztet meg a beton konzisztenciájának meghatározására. A mérési módszereket meghatározott betűkkel jelölik:

- Roskadási mérték (S)
- Területi mérték (F)
- VEBE mérték (V) (A vizsgálat elnevezését Victor Bährnerről, a vizsgálat feltalálójáról kapta.)
- Tömörítési mérték (C)

Ezeket a mérőszámokat nem lehet és nem is szabad egymással összehasonlítani vagy összekeverni. A betonkeverék megrendelésekor a felhasználónak és a gyártónak előzetesen egyeztetnie kell arról, hogy a megadott konzisztenciát milyen módszerrel kell ellenőrizni. Erre azért van szükség, mivel mindegyik mérési módszer más jellemzőkre helyezi a hangsúlyt. Ezek a következők:

- Roskadás: Alakváltozási hajlam
- Terület: Átformálódási készség
- Tömörítési mérőszám: Tömörítési készség
- Vebe-idő: Pép-és visszatartó képesség

A 2. Táblázat a négyféle konzisztencia vizsgálati módszert és az azok eredményei alapján megállapítható konzisztencia osztályokat tünteti fel [2].

2. Táblázat: Az MSZ 4798-1:2004 szerinti konzisztencia-osztályok [6]

VEBE-méteres átformálási idő		Konzisztencia jellemzése a megszokott magyar megnevezésekkel
Osztály	Érték, s	
V0	≥ 31	Földnedves
V1	30-21	Földnedves
V2	20-11	Kissé képlékeny
V3	10-6	Képlékeny
V4	5-3	Képlékeny

Területi mérték		Konzisztencia jellemzése a megszokott magyar megnevezésekkel
Osztály	Érték, mm	
F1	≤ 340	Földnedves
F2	350-410	Kissé képlékeny
F3	420-480	Képlékeny
F4	490-550	Képlékeny
F5	560-620	Folyós
F6	≥ 630	Önthető

Tömörítési mérték		Konzisztencia jellemzése a megszokott magyar megnevezésekkel
Osztály	Érték, mm	
C0	$\geq 1,46$	Földnedves
C1	1,45-1,26	Kissé képlékeny
C2	1,25-1,11	Képlékeny
C3	1,10-1,03	Képlékeny

Roskadási mérték		Konzisztencia jellemzése a megszokott magyar megnevezésekkel
Osztály	Érték, mm	
S1	10-40	Földnedves
S2	50-90	Földnedves
S3	100-150	Kissé képlékeny
S4	160-210	Képlékeny
S5	≥ 220	Képlékeny

A 2. táblázatból kitűnik, hogy egyrészt attól függően, hogy a konzisztencia jellemzésére melyik mérési módszert használjuk, eltérő számú konzisztencia osztállyal jellemezhetjük a betont. Másrészt az adott mérési módszerrel

meghatározott mérőszámok eltérő értékei nem feltétlenül jelentenek eltérő konzisztencia osztályt.

A felsorolt négyféle mérési módszer közül hazánkban a terület, illetve a roskadás mérést használják leggyakrabban. Az előzőnél ötféle, az utóbbinál viszont csak háromféle konzisztencia szintet különböztetünk meg. A különféle mérési módszerek közül a beton beépítési technológiája és felhasználása szempontjából leginkább meghatározó tulajdonság, mérőszám függvényében kell választanunk.

3. KÍSÉRLETI MUNKA

3.1. A transzportbeton előállítását megelőző vizsgálatok

A betonkeveréket az osztályozott frakciók megfelelő arányú összekeverésével nyerik. Mivel az adalékanyag mennyisége és minősége nagyban befolyásolja a beton viselkedését és felhasználhatóságát, nagyon fontos, hogy minél több mérőszámmal jellemezni tudjuk a felhasználandó adalékanyagot.

A betonadalékanyag-keverék egyrészt jellemezhető magával a szemmegoszlási görbével, másrészt a legnagyobb szemnagysága méretével, továbbá a finomsági modulussal és az egyenlőtlenségi együtthatóval. A beton receptúra tervezéséhez szükség van az előbb említett jellemzőkre, ugyanis ezek segítségével lehet meghatározni a beton optimális összetételét. (Például: ismerni kell, hogy az adott frakció milyen arányban tartalmaz finomrészt, mivel a finomrész mennyisége nagyban befolyásolja a beton mozgékonyosságát.) Az említett adatokat a szitavizsgálat, az anyag-izap tartalom vizsgálat és a halmazsűrűség vizsgálat segítségével lehet meghatározni. A vizsgálatok elvégzése minden érintett frakciónál szükséges (ld. 2. melléklet)

A következőkben ezeknek a vizsgálatoknak a rövid ismertetése és a vizsgálatokkal kapott jellemzők bemutatása következik.

3.1.1. A szitavizsgálat

A vizsgálat időpontja: 2012. júl. 19.

Eszköz: Fakeretes szitasorozat, lyukméret: 0,063 ... 63 mm

Gyártó: HAVER&BOECKER

Típus: Analitikus szita

Az eszközre vonatkozó szabvány: DIN ISO 3310

Az eljárásra vonatkozó szabvány: MSZ EN 933-1:1998.

A szitavizsgálatot mintavétel előzi meg. Mintára minden egyes felhasználandó frakcióból szükség van. Az eredeti receptúra ismeretében az általam vizsgált betonban a következő négy frakció lesz jelen: OH 0-4, OK 4-8, OK 8-16 és OK 16-24.

A szitavizsgálat során a vizsgált anyagot különböző – csökkenő szemnagyságú – részalmazokra osztják fel és szétválasztják. A szita nyílásának nagyságát a vizsgált minta típusának megfelelően kell megválasztani szabványból. A minta mennyisége nagymértékben meghatározza a vizsgálat pontosságát. Erre vonatkozóan ajánlások is megtalálhatók a vonatkozó szabványban.

A vizsgált anyagot frakciónként $110 \pm 5^\circ\text{C}$ -on, tömegállandóságig kell szárítani egymástól elkülönítve (ld. 7. ábra). Miután ez megtörtént, hagyni kell lehűlni, majd a tömegét meg kell mérni.



7. ábra: Minták szárítása

A szítálás megkezdésekor az előzőleg lemért mintát egy szitaoszlopba (ld. 8. ábra) öntik. A szitaoszlop felfogó tállal és fedővel ellátott meghatározott számú vizsgálószitából épül fel, amelyek felülről lefelé csökkenő méretű szitanyílással vannak egymásra helyezve. Az MSZ EN 933 szabvány úgy rendelkezik, hogy a következő lyukbőségű szitákból kell felépíteni a szitaoszlopot: 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16; 31,5 (32); 63; 125 mm . Miután a mintákat beletöltötték a szitaoszlop legfelső szitájába, kézzel, vagy mechanikusan rázni kell a szitaoszlopot.



8. ábra: Szitasor

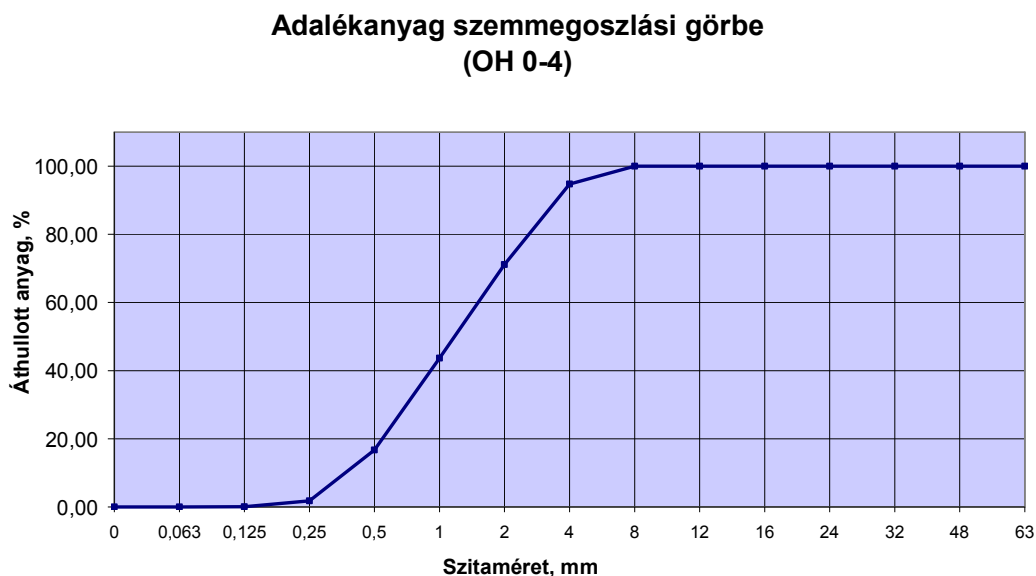
A szitálási folyamatot befejezettnek kell tekinteni, ha a fennmaradt anyag mennyisége a szitálás alatt 1 percen belül 1,0 %-nál kevesebbet változik. A szitán fennmaradt anyagot szitánként (szemcseméretenként) le kell mérni. Az eredményeket táblázatban rögzíteni kell, erre mutat példát az OH 0-4-es frakció esetében a 3. Táblázat.

3. Táblázat A szitavizsgálat eredménye az OH 0-4 jelű frakció esetén

Szitaméret, mm	Fennmaradt anyag			Áthullott tömeg, %
	Tömege, g	Tömeghányada, m%	Halmazott tömeghányada, m%	
63	0	0	0	100
48	0	0	0	100
32	0	0	0	100
24	0	0	0	100
16	0	0	0	100
12	0	0	0	100
8	0	0	0	100
4	52,6	5,26	5,26	94,74
2	236,2	23,62	28,88	71,12
1	274,2	27,42	56,30	43,70
0,5	270,1	27,01	83,31	16,69
0,25	148,9	14,89	98,20	1,80
0,125	17,6	1,76	99,96	0,04
0,063	0,3	0,03	99,99	0,01
0	0,1	0,01	100	0

Ezt követően megrajzolható az ún. szemeloszlási diagram, amely a szitán fennmaradt anyagmennyiségeket a kiindulási anyag tömegszázalékában ábrázolja szemléletesen.

A szemmegoszlási görbe a vizsgálószitákon átesett összes anyag tömeg%-ban kifejezett mennyiségének ábrázolása a szemnagyság függvényében. A szemmegoszlás lehet folyamatos vagy lépcsős [13].



9. ábra Az OH 0-4 –es frakció szitavizsgálattal meghatározott szemmegoszlási görbéje

Az így kapott eredmények ismeretében alakítható ki a betonkeverék adalékanyag-váza, azaz a beton szerkezetét alapvetően meghatározó osztályozott homokból és kavicsból álló vázszerkezet.

3.1.2. Anyag-iszap tartalom vizsgálat

A vizsgálat időpontja: 2012. júl. 19.

Eszköz: 500 ml-es mérőhenger

Az adalékanyag további vizsgálatai közé tartozik az anyag-iszap tartalom meghatározása. A 0,25 mm alatti átmérőjű szemcsék jelenléte a betonban kis mennyiségben hasznos lehet, amennyiben azok egyenletesen oszlanak el. Nagyobb mennyiségben viszont jelenlétük növeli a beton víz és cementpép igényét, a zsugorodást és rontja a fagyállóságot. Ezeken túlmenően akár káros is lehet, ha a finom szemcsék alkotta iszap a nagyobb szemcsékre rátapad, és

agyagot képezve elzárja a cement útját. Ezért is van szükség az anyag-iszap tartalom vizsgálatára.

Az általam elvégzett vizsgálatok megkezdésének időpontja megegyezett a szitavizsgálat időpontjával (2012. júl. 12.).

Az anyag-iszap tartalom vizsgálata az MSZ 18288-2:1984 szabvány 9. fejezete szerint történik, adott méretű mérőhenger segítségével. Az anyag-iszap tartalom meghatározása során a homokos adalékanyagot mérőhengerekbe töltik, majd vizet töltenek rá, összerázzák, és ezt követően állni hagyják. 24 óra múlva lemérik a kőhalmaz felszínére leülepedett anyag-iszap mennyiségét, amelyet esetünkben a 10. ábrán a mérőhengerben lévő kavicsshalom tetején látható vékony világos csík képvisel.



10. ábra: A 0-4-es frakció anyag-iszap tartalmának vizsgálata

Ezt a vizsgálatot csak azon frakciók esetén végzik el, amelyek tartalmazznak homokot. Ilyenek például a 0-4, 0-24 (vagy 0-32) jelű frakciók. A mérőhengerek térfogata függ a mért adalékanyag szemcseméretétől.

A vizsgálat során kizárólag a 0-4-es frakciót vizsgáltuk, mivel más homokos frakciót nem tartalmazott a receptúra. Az anyag-iszap tartalom vizsgálat eredményeit 4. Táblázat szemlélteti [14].

4. Táblázat: Anyag-iszap tartalom mérésének eredményei

Az anyag-iszap tartalom	
vizsgálat ideje	értéke [térfogat%]
1 órás	0,00
24 órás	0,70

Az MSZ EN 4798-1 szerint feszített vasbeton szerkezetek esetén a homok anyag-iszap tartalma legfeljebb 3 térfogat% lehet. A mérés alapján megállapítható, hogy a vizsgált 0-4-es frakció megfelel az előírásoknak [3].

3.1.3. Halmazsűrűség-vizsgálat

A vizsgálat időpontja: 2012. júl. 19.

Eszköz: Légtartalom-mérő készülék mérőedénye

Gyártó: FORM+TEST

Típus: B2020

Az eszközre vonatkozó szabvány: DIN 1048

A mérési eljárásra vonatkozó szabvány: MSZ EN 1097-3.

Az adalékanyagban található víz jelentősen befolyásolja a beton tulajdonságait, ezért egy olyan jellemzőt is meg kell határozni, amelyik a víztartalommal kapcsolatos. Ilyen mérőszám a halmazsűrűség. Értéke függ a nedvességtartalomtól, ugyanis a víztartalom növekedésével nő a halmazsűrűség is.

A vizsgálat során egy 8 literes edényt lazán megtöltenek az adott frakcióból vett mintával, majd lemérik annak tömegét, és kiszámítják a *halmazsűrűséget*, amelyet tonna/m^3 mértékegységben adnak meg. A halmazsűrűség mérést nedves, illetve száraz köhalmazok esetén is elvégzik (ld. 11. ábra).

A száraz halmazsűrűség mérést szárítás előzi meg $110 \pm 5^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig. A vizsgálatot minden egyes felhasználandó frakciónál meg kell ismételni. Érdemes megjegyezni, hogy minél nagyobb a vizsgálatához felhasznált edény, annál pontosabb eredményt ad a mérés [14].



a)

b)

11. ábra: Halmazsűrűség-vizsgálat. a) száraz, b) nedves vizsgálati mintán

A halmazsűrűség vizsgálat során számtalan jellemzőt határozunk meg. a négyféle vizsgált frakcióra kapott eredményeket a 5. Táblázat tünteti fel.

5. Táblázat: A halmazsűrűség-vizsgálat eredménye

Frakció	Halmazsűrűség, t/m ³	
	Száraz	Nedves
OH 0-4	1,59	1,34
OK 4-8	1,47	1,49
OK 8-16	1,46	1,49
OK 16-24	1,46	1,49

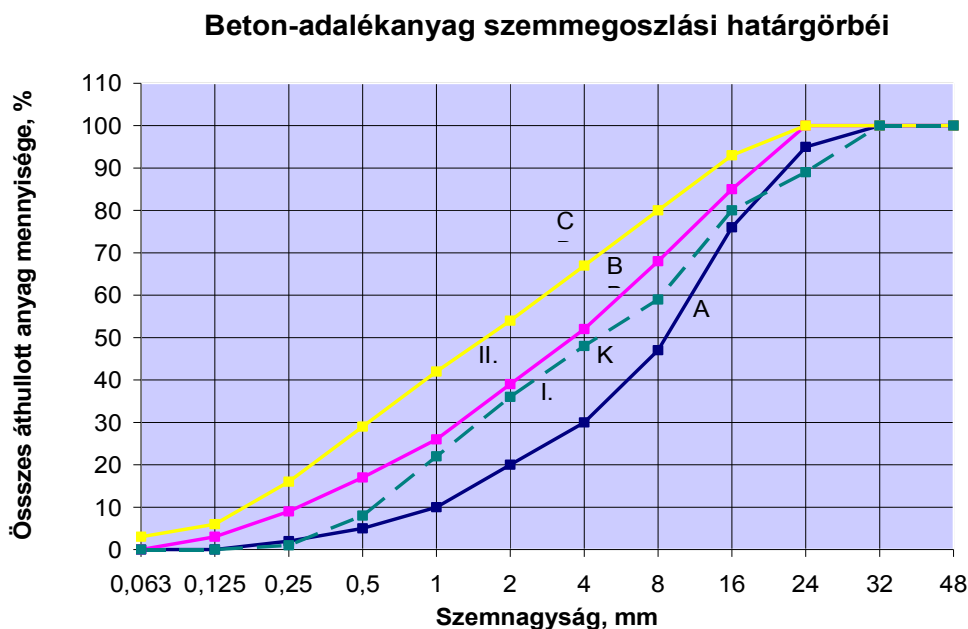
A 3.1 fejezetben ismertetett adalékanyag vizsgálatok összes eredményét a négyféle frakcióra vonatkozóan frakciónként rendszerezve a 3. melléklet foglalja össze.

3.2. A beton összetétele

Az adalékanyag különböző vizsgálatait után, azok eredményeit figyelembe véve, következik a beton összetételének meghatározása. A különböző frakciókba tartozó adalékanyagok mennyiségének meghatározása az ún. határgörbék segítségével történik.

A tervezés során az adalékanyag szemmegoszlási görbét az MSZ EN 4798-1:2004 szabvány által meghatározott vonatkozó határgörbékkel kell összevetni a kívánt tulajdonságú keverék biztosítása érdekében.

A hivatkozott szabvány szerint a beton-adalékanyagokra vonatkozóan a 12. ábrán feltüntetett A, B és C jelű háromféle szemmegoszlási határgörbét értelmezzük. A szabvány egyértelműen rögzíti határgörbéket definiáló pontok számszerű értékét is (azaz az összetartozó szitaméret és áthullott anyagmennyiség értékpárokat) amelyeket a 6. Táblázatban láthatunk.



12. ábra A betonadalékanyagok szabvány szerinti szemmegoszlási határgörbéi [3] és a vizsgált keverék szemmegoszlási görbéje

A határgörbékől a következő információ olvasható ki: Ha az adalékanyag görbéje a „A” jelű határgörbéhez közelít, akkor sok benne a finomrész, úgymond „homokosabb” a beton, azonban ha a „C” jelű határgörbéhez közelít, akkor egy „kavicsos” betont kapunk, amelyben több a nagyobb átmérőjű szemcse.

Fontos tudnunk, hogy a szivattyúzhatóság szempontjából a legkedvezőbb a legfinomabb szemmegoszlást képviselő A jelű határgörbe, ugyanakkor a finomsági modulus növekedésével a szükséges cement mennyiség is növekszik, ami viszont növeli költségeket. Az adott gyártandó betonkeverék szemmegoszlási görbéjének beállításakor tehát ezen két egymással ellentétes szempont figyelembe vételével kell kompromisszumot kötnünk.

A vizsgálatunk tárgyát képező betonkeverék (K) adalékanyagának szemmegoszlási görbéjét (ld. szaggatott vonal a 12. ábrán) összevetve a szabványos határgörbékkel látható, hogy a keverék görbéje a „B” jelű határgörbéhez közelít. Ez azt jelenti, hogy található a keverékben kellő

mennyiségű finomrész, amely szivattyúzhatóvá teszi a beton, de ugyanakkor találhatóak benne nagyobb átmérőjű szemcsék is. Utóbbira a cement és a víz mennyiségének optimális értéke, illetve a költségek csökkentése és a szilárdság növelése miatt van szükség [3]

A vizsgált keverékünk adalékanyagának legnagyobb szemnagysága: 24 mm, ennek megfelelőek az összehasonlítás alapjául szolgáló a határgörbék is.

6. Táblázat: Az MSZ EN 4798-1:2004 szerinti beton-adalékanyagok szemmegoszlása és a keverék szemmegoszlása

Szitaméret [mm]	A	B	C	K
0,063	0	0	3	0
0,125	0	3	6	0
0,25	2	9	16	1
0,5	5	17	29	8
1	10	26	42	22
2	20	39	54	36
4	30	52	67	48
8	47	68	80	59
16	76	85	93	80
24	95	100	100	89
32	100	100	100	100
48	100	100	100	100

A szabvány alapján az adalékanyagokat szemmegoszlásuk szerint két osztályba szokás sorolni:

Az adalékanyag szemmegoszlása I. osztályú, ha finomsági modulusa az „A” határgörbe finomsági modulusánál nem nagyobb és a „B” határgörbe finomsági modulusánál nagyobb, míg II. osztályú, ha a finomsági modulusa a „B” határgörbe finomsági modulusánál nem nagyobb és „C” határgörbe finomsági modulusánál nagyobb. az általunk vizsgált keverék az I. szemmegoszlási osztályba tartozik.

A vizsgált keverék adalékanyag-váza a 7. Táblázatban feltüntetett arányban épül össze a négyféle frakcióból.

7. Táblázat: A keverék összetétele

OH 0-4	50%
OK 4-8	10%
OK 8-16	20%
OK 16-24	20%

3.2.1. Eredeti receptúra

A beton receptúrája alatt a beton összetételét értik. A 8. Táblázat a beton eredeti összetételét hivatott bemutatni. Ebben feltüntetik az összes adalékanyag, a kötőanyag (cement), kiegészítő anyagok (mészkőliszt), víz, illetve a vegyszer mennyiségét egy köbméternyi betonra vonatkoztatva.

A receptúra alapján kiszámolható a beton finomrész-tartalma, amelynek segítségével következtethetünk arra, hogy az adott beton továbbítható-e betonszivattyú segítségével, vagy nem.

Az európai betonszabvány svájci kiadása (SN EN 206-1:2000) irányértékeket határoz meg erre a mennyiségre vonatkozóan, azaz az egy köbméter betonban megtalálható finomrész-tartalomra. Ez az irányérték jelen esetben 350 kg/m^3 .

A 8. Táblázat szerinti eredeti receptúrából látható, az adalékanyagban nem található meg a $0,125 \text{ mm}$ méretű frakció, ezért az adalékanyagból a $0,25$ -ös frakció számítandó finomrésznek. Így a $0,25 \text{ mm}$ alatti adalékanyag szemek, a cement illetve a mészkőliszt mennyiségének összegzése szükséges a finomrész-tartalom meghatározásához. Ez a mennyiség 273 kg/m^3 .

Mivel ez a finomrész mennyiség kisebb, mint a szabványban leírt szükséges mennyiség – $273 \text{ kg/m}^3 < 350 \text{ kg/m}^3$ – ezért ez a beton nem továbbítható betonszivattyúval [15].

8. Táblázat: Az eredeti receptúra (1 m^3 betonra vonatkoztatva)

Összes adalékanyag mennyisége	1820 kg
0,25 mm alatti részek mennyisége	1%
	18 kg
Cement	255 kg
Mészkőliszt	0 kg
Összesített finomrész-tartalom ($\leq 0,25 + \text{cement} + \text{kiegészítő anyagok}$)	273 kg
Vegyszer (SIKA BV-40)	1,53 kg
Vegyszer cementre számított aránya	0,43%

3.2.2. Módosított receptúrák (Megoldási javaslatok)

Kimutattuk tehát, hogy az eredeti receptúra nem volt betonszivattyú segítségével továbbítható. Ennek volt egyértelmű következménye a dolgozat bevezetőjében leírt káresemény is.

Mivel a megrendelőnek a felhasználási célja szerint szivattyúzható betonra volt szüksége, ezért módosítások váltak szükségessé az eredeti betonösszetételre vonatkozóan.

A megoldáskereséskor figyelembe kellett venni a betonüzemben rendelkezésre álló anyagokat, vagy éppen annak hiányát, illetve az alapanyagok árát és mennyiségét is.

3.2.2.1. I. Javaslat: Mész-kőliszt hozzáadásával tervezett receptúra

A rendelkezésre álló anyagok minőségét tekintve meglehetősen korlátozott lehetőségek figyelembe vételével a probléma legkézenfekvőbb megoldásának a mész-kőliszt mennyiségének megnövelése bizonyult. Ez az anyag viszonylag nagy mennyiségben található meg a betonüzemben, ára kedvezőbb a vegyszerekénél és mindemellett ismert kiegészítő anyag, nap, mint nap alkalmazzák a magyarországi betongyártásban.

A recept módosítása során (ld. 9. Táblázat) az adalékanyag-váz összetételén nem változtattunk. A változtatás legfőbb eleme az volt, hogy mész-kőlisztet adagoltunk a betonba, amely megnövelte a finomrész-mennyiséget. A számítások során továbbra is az adalékanyag 0,25 mm alatti részeinek, a cementnek, illetve a mész-kőlisztnek a felhasznált mennyiségét számítjuk bele a beton finomrész-tartalmába. A svájci szabvány által ajánlott minimális érték továbbra is 350 kg/m^3 . Rövid számítások után megállapítható, hogy a módosított receptúra finomrész-tartalma már meghaladja az ajánlott értéket ($353 \text{ kg/m}^3 > 350 \text{ kg/m}^3$), így ez a beton már szivattyúzhatónak tekinthető.

A hozzáadott mész-kőliszt tiszta, fehér, kicsapott kalciumkarbonát diszpergáló segédanyagok hozzáadása nélkül garantálja a nagyfokú fehérséget, opacitást és a kellő volument.

A receptúra módosítása során megnöveltük a képlékenyítő vegyszer mennyiségét is. Ez némileg növeli a költségeket, de a mész-kőliszt mennyiségének növelése miatt erre szükség volt, hogy a megnövelt finomrész-tartalom esetén is biztosítsuk a finomrészek (cement és mész-kőliszt) kellő mozgékonyágát.

A felhasznált SIKA BV-40 képlékenyítő adalékszerről meg kell említeni, hogy javítja a cementhabarcsok és a frissbetonok bedolgozhatóságát,

csökkenti a vízigényt és szivattyúzható betont eredményez. Adagolásakor a kötési idő nem változik számottevően, és növekszik a beton szilárdsága [16].

9. Táblázat: Módosított receptúra (1 m³ betonra vonatkoztatva)

Összes adalékanyag mennyisége	1820 kg
0,25 mm alatti részek mennyisége	1%
	18 kg
Cement	260 kg
Mészkőliszt	75 kg
Összesített finomrész-tartalom: (≤ 0,25+cement+kiegészítő anyagok)	353 kg
Vegyszer (SIKA BV-40)	1,70 kg
Vegyszer cementre számított aránya	0,65%

3.2.2.2. II. Javaslat: 0-1-es frakciójú homok adagolásával tervezett receptúra

Nemcsak a mészkőliszt rendelkezik finom szemcseszerkezettel, hanem a nagy mennyiségben szintén olcsón hozzáférhető 0-1-es frakciójú homok is. Ezért egy másik lehetséges megoldásként ezzel is pótolható a hiányzó finomrész.

Mivel a homok már nem kiegészítő anyag, hanem adalékanyag, ezért mennyiségének változtatásakor szükség van a szitavizsgálat újbóli elvégzésére. A szitavizsgálat hasonlóan zajlik, mint a korábban részletezett frakciók esetében.

A kapott eredményeket a 10. Táblázat mutatja be. A vonatkozó szemmegoszlási görbe a 4. táblázatban található.

10. Táblázat: 0-1-es frakciójú homok szitavizsgálatának eredménye

Szitaméret [mm]	Áthullott anyag [%]
0	0
0,063	0
0,125	2
0,25	5
0,5	79
1	99
2	100

A vizsgálat eredményeiből megállapítható, hogy 0-1-es homok mindössze 5%-ban tartalmaz 0,25 mm alatti részeket. Már számítások nélkül is megállapítható, hogy a 0-1-es frakciójú homok nem fogja tudni tökéletesen pótolni a hiányzó finomrészt, mivel a 0,25 mm alatti részek mennyisége

minimális. A receptúra módosításának menete némileg eltér a mészkölisztnél felvázolthoz képest (ld. 11. Táblázat). A receptúra módosítása során figyelembe kell venni, hogy az összes adalékanyag mennyisége nem haladhatja meg az 1880 kg/m^3 -t.

A pontos számításokat a hosszadalmas kifejtés miatt a dolgozat keretében célszerűen nem részletezem..

11. Táblázat: 0-1-es frakciójú homokot tartalmazó receptúra (1 m^3 betonra.)

A nem 0-1 frakciójú adalékanyag mennyisége	80 kg
Adalékanyag finomrész-tartalma:	0,8 kg
Cement mennyisége:	260 kg
Összesített finomrész tartalom: Cement + 0,25 mm alatti szemcsék összesített tömege:	260,8 kg
Határérték:	350 kg
Pótlendő finomrész:	89,2 kg
0-1 frakciójú homok finomrész-tartalma:	~5 %
A szükséges 0-1 frakciójú homok tömege:	1800 kg
Összes adalékanyag-váz mennyisége:	1880 kg

A számítások során finomrésznek vesszük az adalékanyagban található 0,25 mm alatti szemek mennyiségét és a cement mennyiségét. Az ezek összegzése után kapott finomrész mennyiség továbbra sem éri el a svájci szabványban előírt határértéket. E határérték eléréséhez még 90 kg finomrészt kellene a betonba adagolni. Ezen túlmenően a nagy mennyiségű homok jelenléte további problémát is okoz, amely a következő:

A vizsgált homok elenyésző mennyiségben tartalmaz csak 0,25 mm alatti részeket, ezért szükséges finomrész biztosításához nagy mennyiségű, 1800 kg tömegű, 0-1 frakciójú homok felhasználása válik szükségessé. A fenti táblázatban látható, hogy a 0-1 frakciójú homok mennyisége megközelíti a szükséges adalékanyag össztömegét. Ha ezt a megoldást alkalmazzuk, akkor a szemeloszlás kedvezőtlen módon változna – a túlságosan finom szemcseméretetek felé tolódna el – ami viszont a szilárdság csökkenésével járna.

A másik felmerülő probléma a 0-1 frakciójú homok alkalmazása során, hogy növelni kellene a cement, a víz és a képlékenyítő vegyszer mennyiségét, ami további költségeket jelentene.

Össességében tehát ez a megoldási módszer nem javasolható, mivel jelentősen, és a szivattyúzhatóság szempontjából előnytelenül megváltoztatná a keverék szemeloszlását, továbbá a 0-1 frakciójú homok kedvező ára ellenére az egyéb felmerülő adalék és vegyszerigény miatt költségnövekedést is jelentene.

3.2.2.3. III. Javaslat: Őrölt pernye adagolásával tervezett receptúra

A pernye amellet, hogy az ára kedvező, tökéletesen helyettesítheti a mészkölisztet mivel finomrészt képező kiegészítőanyag. Mivel a betonüzemben jelenleg nem használnak pernyét a betongyártáshoz, vagyis nincs ilyen irányú tapasztalat, ezért ezt a megoldást csak elméleti szinten vizsgáljuk. Tehát arra kérdésre keressük a választ, hogy amennyiben a keverőüzem szerez be ilyen pernyét, akkor milyen mennyiségben várható ennek felhasználása a vizsgált receptúra esetében.

A összetétel megtervezése hasonló a 0-1-es frakciójú homok adagolása esetén leírtakhoz (ld.12. Táblázat).

12. Táblázat: Pernyével feljavított receptúra (1m³ betonra vonatkoztatva)

Összes adalékanyag-váz mennyisége	1820 kg
Cement mennyisége	255 kg
Vegyszer (SIKA BV-40) mennyisége	1,53 kg
Finomrész előírt határértéke (min. mennyisége)	350 kg
Pótlendő finomrész mennyisége	95 kg
Módosított adalékanyag mennyiség = <i>eredeti adalékanyag mennyiség – pótlendő finomrész</i>	1725 kg
A módosított adalékanyag mennyiség esetén a finomrész-tartalom <i>(Adalékanyag mennyiségének 10%-a)</i>	17 kg
Pernye mennyiség = <i>pótlendő finomrész – a módosított adalékanyag finomrész-tartalma</i>	78 kg
Vegyszer mennyisége	2,1 kg

A számítások során kiinduló-értéknek vesszük az adalékanyag-váz illetve a cement mennyiségét. Mivel ebben a receptúrában nem található mészköliszt, így csak a cement mennyiségét vonjuk ki a finomrésze előírt határértékből, így megkapjuk a pótlendő finomrészt, amely 95 kg. A módosított (pernyét is tartalmazó) receptúrában a szükséges adalékanyag-váz mennyiségét úgy kapjuk meg, hogy az eredeti adalékanyag mennyiségét a pótlendő finomrész (pernye) mennyiségével csökkentjük. Így az összes adalékanyag a

receptúrában 1820 kg, amelyben ekkor 17 kg finomrész található. A pótlendő finomrész mennyiségéből kivonva az adalékanyag finomrész-tartalmát megkapjuk a pernye mennyiségét. A képlékenyítő vegyszer mennyiségét ebben az esetben is megnöveltük.

Ez a módosítás egy olcsóbb, de a szivattyúzás szempontjából megfelelő tulajdonságú betonkeveréket garantált volna, amennyiben az üzemben rendelkezésre állt volna a szüksége pernye mennyisége.

3.2.2.4. Vegyszerek alkalmazása

Alternatív megoldás lehet még további vegyszerek alkalmazása. A vegyszerek típusa többféle lehet: képlékenyítő, folyósító és stabilizáló adalékszer. Alkalmazásuk esetén a víztartalom csökkenése ellenére nő a beton konzisztenciája, nő a szilárdság és a tömörség, illetve növekszik a szemcsék közötti összetartó erő.

Ügyelnünk kell azonban arra, hogy bizonyos adalékszerek alkalmazása növelheti a keverési időt és a költségeket. Folyósítók alkalmazása esetén kisebb mennyiségű vegyszerre van szükségünk, mint a plasztifikálók alkalmazásakor. Azonban a folyósítók magas ára miatt ez nem jelent költségcsökkenést.

Léteznek a szivattyúzhatóságot közvetlenül elősegítő adalékszerek is. Ezek növelik a keverék viszkozitását, azonban drágák. A szivattyúzhatóság javítására a 13. Táblázatban bemutatott vegyszerek alkalmazhatók [15].

Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a különféle vegyszerek alkalmazását már a tervezés kezdeti fázisában elvettük, mivel egyrészt nem álltak rendelkezésünkre, másrészt megrendelésük költséges és időigényes lett volna.

13. Táblázat: A szivattyúzhatóságot kedvezően befolyásoló vegyszerek [15]

Termék megnevezése	Termék típusa	Alkalmazás célja
Sika® BV Plastiment	Képlékenyítő adalékszer	Vízcsökkentés. Megnövelt szilárdság és tömörség, garantált konzisztenciával és szivattyúzhatósággal.
Sika® FM	Folyósító adalékszer	
Sika® ViscoCrete	Folyósító adalékszer	Vízcsökkentés. Megnövelt szilárdság és tömörség, garantált konzisztenciával és szivattyúzhatósággal.
Sika® Pump	Szivattyúzást segítő szer	Segíti a nehéz adalék anyagok szivattyúzását és védi a berendezést az erős kopástól.
Sika® ST	Stabilizáló adalékszer	Fenntartja a belső összetartó erőt. Segíti a nehéz adalékanyagok szivattyúzását és védi a berendezést az erős kopástól.
Sika® Control	Stabilizáló adalékszer	

A szivattyúzhatóság javítására a következőkben vizsgáljunk meg két további lehetséges megoldást.

3.2.2.5. Egyéb lehetséges megoldások

Léteznek az előzőektől eltérő további megoldások is, amelyek azonban a hazai ipari gyakorlatban nem jellemzőek. Ennek oka, hogy drágák, vagy éppen körülményes az alkalmazásuk. Ennek ellenére az adott probléma megoldásának minél teljesebb áttekintése érdekében, mint potenciális megoldási lehetőséget, célszerű ezeket is röviden megemlíteni.

Szilikapor alkalmazása

Magyarországon kevésbé elterjedt kiegészítő anyag a szilikapor, amelynek alkalmazása nagyon hasonló a mészkölisztéhez. Ez az anyag nagy finomsága miatt növeli a finomrész-mennyiséget, a szilárdságot, és a tömörséget, azonban nagyon drága, ezért nem reális megoldási alternatíva az alkalmazása.

Kenő keverékek alkalmazása

Léteznek különböző kenő keverékek, amelyek a beton és a csővezeték fala közti súrlódást lecsökkentik. A kenőanyagokat a pumpálás megkezdése előtt kell felhordani. Leggyakrabban alkalmazott pumpálást elősegítő keverékek közé tartozik a cementes víz, illetve a karboxi-metil-cellulóz (CMC) vizes oldata .

3.2.3. A választott megoldás

A fentiekben bemutatott megoldási javaslatokat összegezve megállapítható, hogy a szivattyúzhatóság javítására különféle módszerek állnak rendelkezésre. Ezek egy része a betonkeverék összetételének módosítására, nevezetesen a szivattyúzhatóságot befolyásoló finomrész-tartalom növelésére irányul. Másik lehetséges irányt képvisel a szivattyúzhatóságot közvetve, illetve közvetlenül javító különféle vegyszerek alkalmazása. További lehetőség a kiegészítő, illetve a kenőanyagok alkalmazása.

Mindezeket a lehetőségeket a fentiekben számba vettük és értékeltük. Ezek közül a szükséges anyagok rendelkezésre állása, a gyárthatóság, valamint a költségek gazdaságos kézbentartása szempontjait is figyelembe véve a C16/20-X0v(H)-24-F3 jelű transzportbeton szivattyúzhatósági problémájának megoldására a 3.2.2.1. pontban részletesen leírt mészköliszt hozzáadásával módosított receptúra alkalmazását javasoltam. Ez a megoldás több szempontból is kedvezőnek mondható: Részben a betongyártó üzem szempontjából ez bizonyult kivitelezhetőnek, részben kedvező ára a megrendelő számára is előnyös volt. Mindemellett a megnövelt finomrész-tartalom hatására a célkitűzésnek megfelelően betonszivattyúval továbbbíthatóvá vált.

A módosított receptúra alapján az új betonkeverék legyártásra került.

3.3. Vizsgálatok a legyártott betonon

3.3.1. Terület-mérés

A vizsgálat időpontja: 2012. júl. 19.

Eszköz: Területmérő asztal

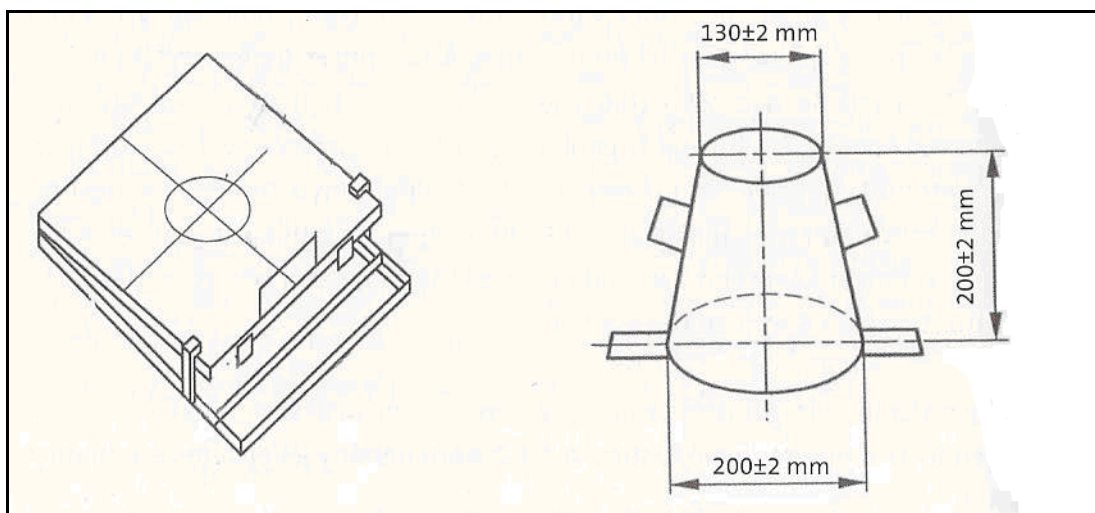
Gyártó: FORM+TEST

Típus: B18143

Az eszközre vonatkozó szabvány: EN 12350-5

A terület mérés a roskadás mérés mellett az egyik legrégebben használt módszer a konzisztencia mérésére. Akárcsak a roskadás mérés, a terület mérés is az MSZ 4719:1982, és az MSZ EN 206-1:2002 szabványok által leírt

konzisztencia osztályok meghatározására szolgál. Az MSZ EN 206-1:2002 szerinti konzisztencia osztály meghatározásának módszerét az MSZ EN 12350-1:2009 szabvány rögzíti. A terület mérés egyik eszköze egy csonkakúp és a *terülmérő ejtőasztal*. Ezek az eszközök a 13. ábrán láthatóak. A terület méréshez alkalmazott csonkakúp méretei eltérnek az Abrams-féle csonkakúpétól.

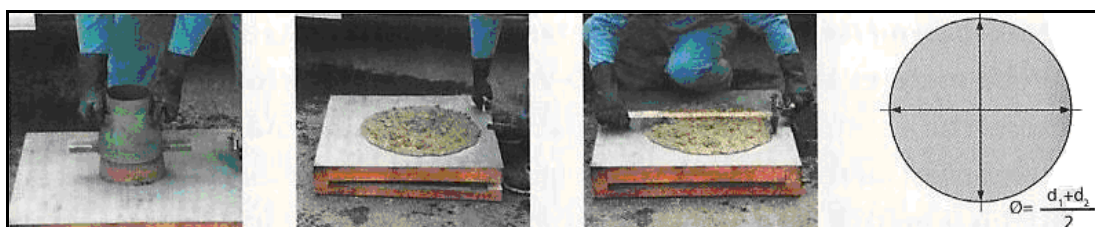


13. ábra: A területméréshez használatos eszközök [2]

Az itt alkalmazott eszköz alsó átmérője 200 mm, felső átmérője 130 mm, magassága 200 mm, és térfogata 4341 cm^3 . Az ejtőasztal lapméretei 700x700 mm, és 40 mm magasságig emelhető.

3.3.1.1. A terület vizsgálat menete

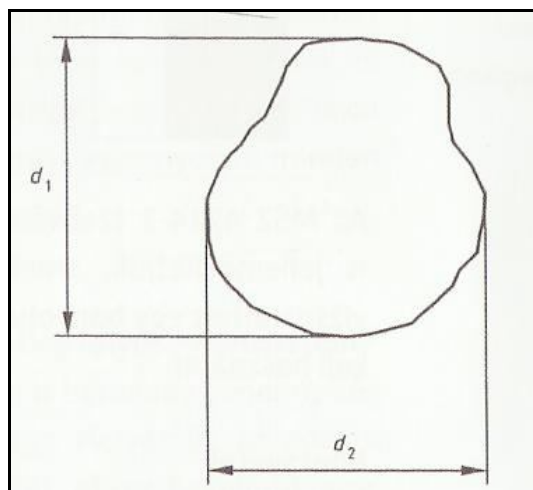
A vizsgálat menete az MSZ EN 12350-5:2009 szabvány szerint a következő (ld. 14. ábra):



14. ábra: A terület vizsgálat lépései [2]

- Az ejtőasztal szilárd, vízszintes talajra történő lehelyezése;

- Mind az ejtőasztal, mind a csonkakúp belsejének áttörése nedves törlőruhával;
- A csonkakúp rögzítése lábbal az ejtőasztal közepén;
- A beton betöltése a formába két rétegben ;
- A fölösleges mennyiségű beton lehúzása, a betonhulladék eltávolítása;
- A csonkakúp lehúzása;
- Az ejtőasztal felső, mozgatható lapjának felemelése ütközésig 15 mp alatt 15-ször , majd leejtése szabadon 4 cm magasságból;
- A betonlepeny átmérőjének – $d = (d_1 + d_2)/2$ – lemérése (ld. 15. ábra).



15. ábra: A betonlepeny méreteinek meghatározása [2]

A vizsgált beton előírás szerint F3-as területi osztályú, ezért a területi átmérő értékének szabvány szerint 420-480 mm között kell lennie. A terület mérés során kapott eredményeket a 14. Táblázat szemlélteti.

14. Táblázat: A terület mérés eredményei

A vizsgált beton minősége	A betonlepeny átmérője, d, mm
Eredeti receptúra szerinti	440
Módosított receptúra szerinti	480

A vizsgálat eredményeiből megállapítható, hogy területre vonatkozó mindkét mért érték megfelel a szabvány által előírtak. A módosított receptúra

szerint gyártott beton területe nagyobb (ld. 16. ábra) mint az eredetié, ez köszönhető a megnövelt finomrész-tartalomnak, amely pumpálhatóvá teszi a betont [2].



16. ábra: Terület mérés a módosított receptúra szerinti betonkeveréken

3.3.2. A levegő-tartalom meghatározása

A vizsgálat időpontja: 2012. júl. 19.

Eszköz: Légtartalommérő készülék

Gyártó: FORM+TEST

Típus: B2020

Az eszközre vonatkozó szabvány: DIN 1048

A levegő-tartalom meghatározása a már korábban említett szétbomlás jelensége miatt vált szükségessé.

A levegőtartalom meghatározására a 17. ábrán látható ún. „B” típusú levegőtartalom-vizsgáló készülék szolgál. A vizsgálat menetét az MSZ EN 12350-7 szabvány szabályozza.



17. ábra: „B” típusú levegőtartalom-vizsgáló

3.3.2.1. A vizsgálat menete

Az elkészült beton légtartamának meghatározása a következő lépések szerint történik:

1. A beton tömörítése a mérőedénybe és tetejének lesimítása;
2. A mérőedény, a fedél peremének, karimájának megtisztítása;
3. Az edény lezárása;
4. A légkamra és a mérőedény közötti szelep lezárása;
5. A fedélen lévő feltöltő nyílások reteszeinek kinyitása;
6. Az egyik nyíláson a víz betöltése, egészen addig, amíg a másik nyílást el nem éri a vízszint;
7. A készülékben található légbuborékok eltávolítása, rázogatással, ütögetéssel;
8. Mindkét szelep elzárása;
9. Levegő pumpálása a légkamrába, addig, amíg a légnyomásmérő mutatója végpontra nem kerül;

10. 10 másodperc várakozás után, a nyomásmérő mutatójának átállítása a piros jelre (kalibrálás során meghatározott nullpont);
11. A szelepek ellenőrzése;
12. A légkamra és a mérőedény közötti szelep megnyitása, a légnyomás kiegyenlítése;
13. A mérőedény oldalának ütögetése, a helyi feszültségek feloldása;
14. A nyomásmérő ütögetése, mutató megállítása;
15. A nyomásmérő számlapjának leolvasása (levegőtartalom térfogat-százalékban);
16. A túlnyomás megszüntetése a két retesz felnyitásával;
17. A készülékfedél leszerelése, a vizsgálóeszköz megtisztítása.

Építési célra csak megfelelő tömörségű beton használható, ezért a levegőtartalmat korlátozni kell.

A beton légtartalmára vonatkozó határértékeket az MSZ EN 206-1:2002 NAD (2003) írja elő. Ez a határérték C16/20 képlékeny konzisztenciájú betonok esetében 1,6%. A két vizsgált minta közül a nagyobb konzisztenciával rendelkező minta levegőtartalma kisebb, ez a megnövelt finomrésztartalomnak köszönhető, ugyanis a folyósabb beton hamarabb „kilevegőzik” a kevésbé folyós mintákhoz képest (ld. 15. Táblázat) [13].

15. Táblázat: A légtartalom-mérés eredményei

A vizsgált beton minősége	A beton levegő tartalma, %
Eredeti receptúra szerinti	1,6
Módosított receptúra szerinti	1,4

3.3.3. Nyomószilárdság meghatározása

A vizsgálatok időpontja: 2012. júl. 19, illetve augusztus 16.

Eszköz: Törőgép

Gyártó: FORM+TEST

Típus: ALPHA 3-3000S

Az eszközre vonatkozó szabvány: EN 12390-4

A beton jelölésében elsősorban azokat a tulajdonságokat adjuk meg, amelyek a felhasználó számára fontosak, ilyen például a beton nyomószilárdsága. A betonjelölés – C16/20-X0v(H)-24-F3 – első betűje a közönséges beton nyomószilárdsági osztályának betűjele, vagyis a „C”. Ezt a betűjelet két számjegy követi. Az első a szabványos hengerszilárdság, a második a kockaszilárdság értéke. A nyomószilárdság ellenőrzése nagyon fontos, mind a felhasználó, mind a gyártó szemszögéből.

A próbatestek készítésére az MSZ EN 12390-1:2006 szabvány vonatkozik. Valamennyi kocka alakú próbatest alakját úgy kell megválasztani, hogy a kocka oldalának d alaplátója legalább három és félszerese legyen az adalékanyag legnagyobb szemnagyságának. A betonban található legnagyobb szemcse átmérője 24 mm, vagyis az adott betontípushoz szükséges próbatest legyártásához megfelel a 150 mm élhosszúságú kocka sablon (ld. 18. ábra).



18. ábra: A próbakocka

A próbatestet több rétegben tömörítettük, és a szabvány előírásának megfelelően egyik réteg vastagsága sem haladta meg a 100 mm-t. Az elkészítés után minimum 16 óráig, illetve maximum három napig benne kell hagyni a próbatestet a sablonban, továbbá védeni kell az ütéstől, a vibrációtól és a kiszáradástól.

Az európai és egyéb nemzetközi szabványokkal ellentétben Magyarországon az MSZ EN 4798-1:2004 szabvány szerinti próbakockát az MSZ EN 12390-1:2001 szabványban leírt módon lehet vegyesen is tárolni,

azaz 7 napos korig víz alatt tartani, utána pedig – a nyomószilárdság vizsgálatáig – laboratóriumi levegőn tárolni. A nyomószilárdságát értékét azonban célszerű mindig légszáraz állapotban vizsgálni. Az eltérő tárolásmódnak és az ebből következő eltérő víztartalmú próbatestek különböző törési viselkedésének a nyomószilárdság vizsgálat eredményére többféle hatása lehet. Emiatt a vegyesen utókezelt és légszáraz állapotban vizsgált próbatestek esetén az előírt jellemző szilárdságok értéke eltérő a tisztán vízben tárolt próbatestekhez képest.

A betonok vizsgálata során kapott szilárdsági eredményeket az MSZ EN 12390-3:2002 szabványnak megfelelően kell megadni. Kocka alakú próbatestek esetén az eredményeket $f_{ck, cube}$ jelöléssel látják el. A vegyesen tárolt kockák szilárdsági értékének jele: $f_{ck, cube, H}$.

Vegyes tárolás esetén a kockaszilárdság jellemző értéke a végig víz alatt tárolt próbakocka nyomószilárdságából a C50/60 nyomószilárdsági osztállyal bezárólag a következő képlettel számolható:

$$f_{ck, cube, H} = \frac{f_{ck, cube}}{0,92} \quad (2)$$

3.3.3.1. A nyomószilárdság meghatározásának menete

A nyomószilárdság vizsgálatának első lépése a próbatest méreteinek meghatározása. A próbatestek alakjának és méretének meg kell felelnie az MSZ EN 12390-1 szabványnak.

A próbatestek geometriai méreteit, illetve tömegét rögzítik.

A vizsgálat megkezdésekor a próbakockát úgy helyezik a törőgépbe, hogy a terhelőerő merőleges legyen a bedolgozás síkjára (a kocka tetősíkjára)(ld. 19. ábra) Egyenletes terhelésnövekedési sebességet kell választani, amelynek értéke kb. 0,2-0,1 MPa/s. A törés bekövetkeztekor rögzítik a törőerőt és a törésképet [3, 17].



19. ábra: Próbakocka a terhelés előtt

A nyomószilárdság értékét az eredeti és a módosított receptúra szerint gyártott betonból készült 3-3 próbatesten, kétféle állapotban – 7 napig való vízben tárolást követően azonnal, illetve 21 nap múlva – határoztuk meg. Az első esetben a vizsgálatot 7 napos nyomószilárdság vizsgálatnak, míg a második esetben 28 napos nyomószilárdság vizsgálatnak hívják.

A vizsgálat során kapott mérési eredményeket részletesen a 5. melléklet, közli. A 3-3 mintán mért szilárdsági értékek átlagát a különféle vizsgálati esetekre a 16. Táblázat összegzi.

16. Táblázat A nyomószilárdsági vizsgálatok eredményeinek összegzése

A vizsgálat neve	Próbatest típusa	Átlagos szilárdság, $f_{ck, cube, H, N/mm^2}$	$\frac{f_{ck, cube, H, m}}{f_{ck, cube, H, e}} \times 100\%$
„7 napos”	Eredeti receptúra szerinti	19,65	12
	Módosított receptúra szerinti	22,00	
„28 napos”	Eredeti receptúra szerinti	33,12	15
	Módosított receptúra szerinti	38,10	

Az eredmények röviden az alábbiakban összegezhetők:

A módosított receptúra szerinti betonpróbákon meghatározott nyomószilárdság értékek minden esetben nagyobbra adódtak, mint az eredeti receptúra szerinti azonos típusú vizsgálatoké.

Az eltérés mértéke az ún. „7 napos” nyomószilárdsági vizsgálatok esetén 12%-os volt, míg a „28 napos” vizsgálatok esetén 15%.

A mért átlagos szilárdsági értékek nagyságát tekintve, azok megfelelőségét a szabvány alapján tudjuk megítélni.

A „7 napos” nyomószilárdsági vizsgálatok esetében, – amikor a vizsgálatot megelőzően a betonkockákat végig, azaz 7 napig víz alatt tartottuk – az MSZ EN 206-1:2002 szabvány előírása szerint a minimálisan elvárt nyomószilárdság 12 N/mm^2 . A 16. Táblázatból látható, hogy ezt a követelményt mindkét receptúra szerinti betonkeverék kielégítette.

A „28 napos” nyomószilárdsági vizsgálatok esetében, – amikor a vizsgált betonkockákat a 7 napos vízben tartást követően 21 napig laborkörülmények között levegőn tartottuk – a NAD (Nemzeti Alkalmazási Dokumentum) 5.3. táblázata alapján a minimális nyomószilárdság értéke 22 N/mm^2 . A vonatkozó mérési eredmények ebben az esetben is megfelelőek.

A módosított receptúra alapján készített próbakocka vizsgálata során kapott szilárdsági értékek tehát minden esetben nagyobbak voltak, mint az eredeti összetétel szerint készített kockáé.

A szilárdságnövekedés annak köszönhető, hogy a módosított receptúra szerint készített próbakockában kevesebb levegő található. A levegőtartalom-csökkenés a megnövelt finomrész mennyiségnek köszönhető, ami tömörebb szerkezetet eredményez, ezáltal növeli a beton szilárdságát [3].

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat keretein belül szakirodalmi áttekintést végeztem a betonok alkotóelemeire vonatkozóan és vizsgáltam azok szerepét a felhasználói és technológiai tulajdonságok kialakításában. A betongyártás feltérképezése mellett vizsgáltam a friss beton minőségi jellemzőit és azok meghatározásának módját. A dolgozat központi témája a beton szivattyúzhatósága, a betonszivattyú működése és helye a technológiai folyamatban.

A betonszivattyú napjainkban az építőipar nélkülözhetetlen eszközévé vált. A szivattyúzási technológia sajátosságait már a receptúra tervezésekor figyelembe kell venni.

Az általam vizsgált betonminőség a C16/20-X0v(H)-24-F3 jelet viseli. Ez egy gyakran alkalmazott, könnyen előállítható, általános felhasználási célú beton.

A dolgozat keretében egy olyan konkrét gyakorlati problémára kerestem megoldást, amelynek lényege, hogy az említett hétköznapi beton beépítésekor szivattyúzhatósági problémák adódtak, mivel az eredeti receptúra szerinti beton nem tartalmazott elegendő finomrészt a betonszivattyúval történő továbbításhoz. ennek következtében a betonszivattyú csővezetéke eldugult.

A megoldás keresésekor különféle alternatívákat vizsgáltam meg. Ezek részben a beton összetételének módosítására, részben a szivattyúzhatóságot javító vegyszerek, továbbá kiegészítő, és kenőanyagok alkalmazására irányultak. Technológiai és gazdaságossági szempontok figyelembe vételével kiválasztottam egy gyakorlatban is megvalósítható és kipróbálható megoldási módszert, amelynek lényege, a beton összetételének módosítása a szivattyúzhatóságot javító finomrész mennyiségének növelésével az adalékanyag-váz szerkezet megtartása mellett.

A receptúra módosítása során figyelembe vettem a rendelkezésre álló alapanyagokat, eszközöket, illetve a felmerülő költségek csökkentésének igényét is.

A megoldási javaslatokat, valamint az elvégzett kísérletek eredményeit részletesen elemezve az elvégzett munka legfontosabb megállapításai a következők:

- A megfelelő mennyiségű finomrész biztosítása nélkül nem lehet szivattyú segítségével továbbítható beton előállítani. A finomrész-

tartalom minimális értéke szabványban meghatározott. Amennyiben ezt a határértéket nem éri el a receptúra finomrésztartalma, a friss beton nem továbbítható betonszivattyú segítségével, és ez duguláshoz vezethet a csővezetékben. A túl sok finomrészt tartalmazó beton szivattyú segítségével könnyen továbbítható, azonban az ezzel együttjáró szilárdságsökkenés kompenzálására alkalmazott összetevők miatt jelentős költségnövekedés okoz. A megfelelő finomrésztartalom meghatározásakor figyelembe kell venni mindkét feltételt.

- A finomrészt pótlására többféle kiegészítő-anyag és vegyszer létezik. A kiegészítő anyagok közül Magyarországon leggyakrabban alkalmazott a mészkőliszt, amelynek finom szemcséi és viszonylag kedvező ára miatt vonzóvá teszik az ezzel az anyaggal feljavított receptúrát. A probléma megoldásában érdekelt betonüzem is egy olyan összetétel választása mellett döntött a lehetséges többféle módosított receptúrák közül, amelyik nagy mennyiségű mészkőlisztet tartalmazott.
- A többi általam vizsgált receptúrák különböző okokból nem voltak megvalósíthatók, azonban mindegyik garantálta volna a szivattyúzhatósághoz elengedhetetlen tulajdonságokat. Ezekre vonatkozóan az elemzések során az alábbi megállapításokat tettem:
 - A 0-1-es frakciójú homokkal feljavított receptúra alkalmazása jelentősen és kedvezőtlenül megváltoztatná a betonkeverék szemeloszlását, illetve a 0-1 frakciójú homok kedvező ára ellenére költségnövekedést jelentene, mivel ilyen mennyiségben alkalmazva az egyéb, drága összetevők mennyisége is növekedne.
 - Az örölt pernye tökéletesen helyettesítette volna a mészkőlisztet, mivel azonos tulajdonságokkal és kedvezőbb árral rendelkezik, mint a mészkőliszt, azonban ez az anyag az üzemben állt rendelkezésre.
 - A vegyszerek és egyéb anyagok alkalmazása jelentős költségnövekedéssel járt volna.

A különböző friss és megszilárdult betonon végrehajtott vizsgálatok az eredeti és a módosított (nagy mennyiségű mészkölisztet tartalmazó) receptúra esetében is megtörténtek. Ezek megállapításai a következők:

- **Terülmérés**

A friss betonon végrehajtott területmérés eredményeiből megállapítható, hogy mindkét mért érték megfelel a szabvány által előírtaknak. A módosított receptúra szerint gyártott beton területe nagyobb, mint az eredetié, ez köszönhető a megnövelt finomrésztartalomnak, amely pumpálhatóvá teszi a betont.

- **Levegőtartalom-meghatározása**

A friss betonon elvégzett levegőtartalom-mérés során megállapítottam, hogy a két vizsgált receptúra szerinti minta közül a nagyobb konzisztenciával rendelkező, azaz a módosított minta levegőtartalma kisebb. Ez a megnövelt finomrésztartalomnak köszönhető, ugyanis a folyósabb beton hamarabb „kilevegőzik” a kevésbé folyós mintákhoz képest.

- **Nyomószilárdság-meghatározása**

A harmadik vizsgálat a már megszilárdult betonon végrehajtott szilárdságvizsgálat volt. A vizsgálat eredményeiből megállapítható, hogy mindkét minta 7, illetve 28 napos vizsgálatai eredményei kielégítik, illetve meghaladják a szabványban előírt követelményeket. A módosított receptúra szerint készült beton esetében nagyobb szilárdsági értékeket kaptunk. Ez ebben az esetben is a megnövelt finomrésztartalomnak köszönhető, ugyanis a folyósabb beton kevesebb légpórust tartalmaz, ezáltal növekszik a szilárdsága.

Az elvégzett munka eredményeként egy hazai gyártású, olcsó betonminőség esetében sikerült egy gazdaságosan előállítható, szivattyúzás technológiai szempontból előnyös, új összetételű beton receptúráját kidolgozni. Az általam javasolt új receptúrájú beton kísérleti gyártását követően minőségi vizsgálatokkal igazoltam, hogy az új betonkeverék nemcsak olcsóbb, de minőségileg a korábban gyártott beton tulajdonságait felülmúló új anyagot képvisel. Ily módon nemcsak az alapvető feladatot, a szivattyúzhatósági problémát sikerült megoldani, hanem az eredeti célkitűzésen túlmutatva egy jobb és olcsóbb anyagösszetételt sikerült kidolgozni.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Buday, T., Erdélyi, A., Jankó, A., Kausay, T., Kovács, K., Ujhelyi, J., G Viktória, Valtiniy, D.: Cement-Beton Zsebkönyv, Duna-Dráva Cement Kft., ISBN-10: 963-06-1493-6, 2007. pp1-284. (zsebkönyv)
- [2] Kojics, A., Pluzsik, T., Szegőné Kertész, É.: Betonpraxis, Holcim Hungária Zrt., 2011. pp1-140. (zsebkönyv)
- [3] MSZ 4798-1:2004, Beton. 1. rész: Műszaki feltételek, teljesítőképesség, készítés és megfelelés, valamint az MSZ EN 206-1 alkalmazási feltételei Magyarországon
- [4] Szegőné Kertész, É., Zsigonics, I., Forgács, Sz., Pluzsik, T., Szilágyi, J.: Cement-beton Kisokos, Holcim Hungária Zrt., ISBN 978-963-06-5497-5, 2008. pp1-256.
- [5] MSZ EN 933-1:2012, Kőanyagalmazok geometriai tulajdonságainak vizsgálata. 1. rész: A szemmegoszlás meghatározása. Szitavizsgálat
- [6] Asztalos, I., Jankó, A., Kausay, T., Korcsák, E., Liptay, A., Tariczky, Zs., Sulyok, T.: MSZ 4798-1 Beton szabvány alkalmazási segédlet, Magyar Betonszövetség, ISBN: 963 217 748 7, 2004. pp1-93.
- [7] Asztalos, I.: A folyósítók technológiájának fejlődése - Új lehetőségek a betoniparban, Beton, 2008. 16. évf. 2. sz., pp7-11.
- [8] Jolin, M., Burns, D., Bissonnette B., Gagnon, F., Bolduc, L-S.: Understanding the pumpability of Concrete, 2009. ECI Conference on Shotcrete for Underground Support XI., 2009. Kaplan, D.: Pompage des bétons, Doctorete Thesis l'École Nationale des Ponts et Chaussées, pp225.
- [9] Dyer, R.M.: An Investigation of Concrete Pumping Pressure and the Effects of Pressure on the Air-Void System of Concrete, Master Thesis, University of Washington, pp223.
- [10] Boulet, D.: Influence du pompage sur les caractéristiques du réseau de bulles d'air du béton, Master Thesis, Laval University, Quebec, Canada, 1997.
- [11] Kaplan, D.: Pompage des bétons, Doctorete Thesis l'École Nationale des Ponts et Chaussées, pp225.
- [12] Kausay, T.: A friss beton konzisztenciája, Vasbetonépítés, 2006. 8. évf. 4. sz. pp106-115.
- [13] Szegőné Kertész, É., Zsigonics, I., Forgács, Sz., Pluzsik, T., Szilágyi, J.: Cement-beton Kisokos, Holcim Hungária Zrt., ISBN 978-963-06-5497-5, 2008. pp1-256.
- [14] MSZ EN 1097-3:2000, Kőanyagalmazok mechanikai és fizikai tulajdonságainak vizsgálata. 3. rész: A halmazsűrűség és a hézagterfogat meghatározása
- [15] Sika® Beton Kézikönyv, Sika Hungária Kft., 2009. pp1-115.
- [16] Sika® Termékismertető, <http://hun.sika.com> (letöltés időpontja: 2012.08.26. 16:38)
- [17] MSZ EN 12390-1:2006, A megszilárdult beton vizsgálata. 1. rész: A próbatestek és sablonok alak-, méret- és egyéb követelményei

MELLÉKLETEK

1. melléklet: Betongyártás
2. melléklet: Az adalékanyag vizsgálatának menete
3. melléklet: Az adalékanyag vizsgálati eredményei
4. melléklet: A 0-1-es frakciók szitavizsgálatának eredménye
5. melléklet: Szilárdságvizsgálat eredményei



1. ábra: Adalékanyag tárolása



2. ábra: A gyártást vezérlő számítógép



3. ábra: Szállítószalag



4. ábra: Cementsiló



5. ábra: Víztartály



6. ábra: Vegyszerek



7. ábra: Cementmérleg



8. ábra: Vegyszermérleg



9. ábra: Adalékanyag mérleg



10. ábra: A keverő berendezés kívülről



11. ábra: A keverő berendezés a zárófedél felől



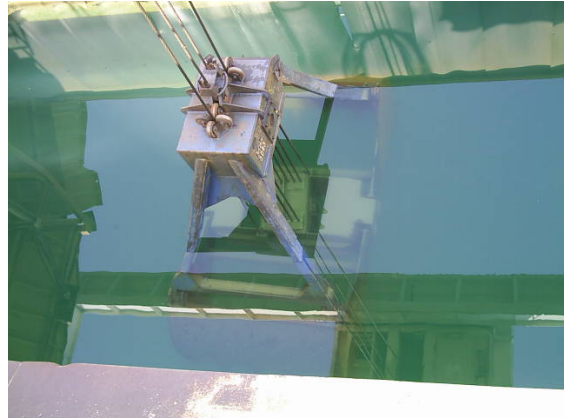
12. ábra: A keverő berendezés belülről

2. melléklet

Az adalékanyag vizsgálatának menete



1. ábra: Szállítószalag-rendszer



2. ábra: Kotróberendezés



3. ábra: Osztályozó



4. ábra: Frakciók és mintavételezés



5. ábra: Szárításra előkészített minta



6. ábra: Szárítandó minták

2. melléklet
Az adalékanyag vizsgálatának menete



7. ábra: Szitasor



8. ábra: Mérlegelés



9. ábra: Agyag-iszap tartalom meghatározás I.



10. ábra: Agyag-iszap tartalom meghatározás II.



11. ábra: Halmazsűrűség-vizsgálat (nedves)



12. ábra: Halmazsűrűség-vizsgálat (száraz)

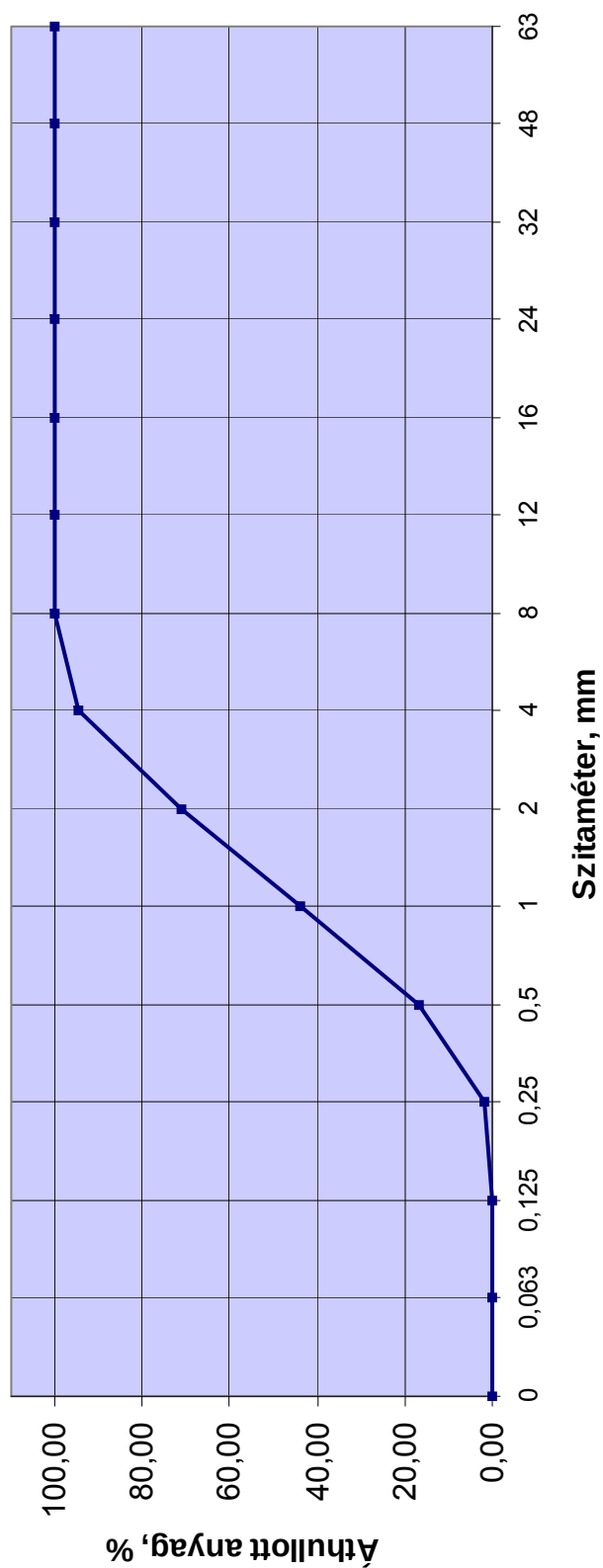
OH 0-4-es frakció vizsgálata

Mintavétel dátuma:	2012. júl.12.
Vizsgálandó anyag neve:	OH 0-4
Nedves halmazsűrűség, t / m ³	1,59
Száraz halmazsűrűség, t / m ³	1,34
Nedvességtartalom W _n , %	4,5
Nedvességtartalom W _{sz} , %	4,6
Anyag-iszap tartalom	
1 órás, térfogat%	0
24 órás, térfogat%	0,7
Finomsági modulus (m)	4,72
Egyenlőtlenségi együttható (U)	5,31
D _{max}	4
0,25 alatti rész, m%	1,8
Homok/Kavics	94,7 / 5,3
Minta tömege, g	1000

Szitavizsgálat eredménye (OH 0-4)

Szitaméret, mm	Fennmaradt anyag			Áthullott tömeg,%
	g	m%	Összes m%	
63	0	0	0	100
48	0	0	0	100
32	0	0	0	100
24	0	0	0	100
16	0	0	0	100
12	0	0	0	100
8	0	0	0	100
4	52,6	5,26	5,26	94,74
2	236,2	23,62	28,88	71,12
1	274,2	27,42	56,3	43,7
0,5	270,1	27,01	83,31	16,69
0,25	148,9	14,89	98,2	1,8
0,125	17,6	1,76	99,96	0,04
0,063	0,3	0,03	99,99	0,01
0	0,1	0,01	100	0

Adalékanyag görbe
(OH 0-4)



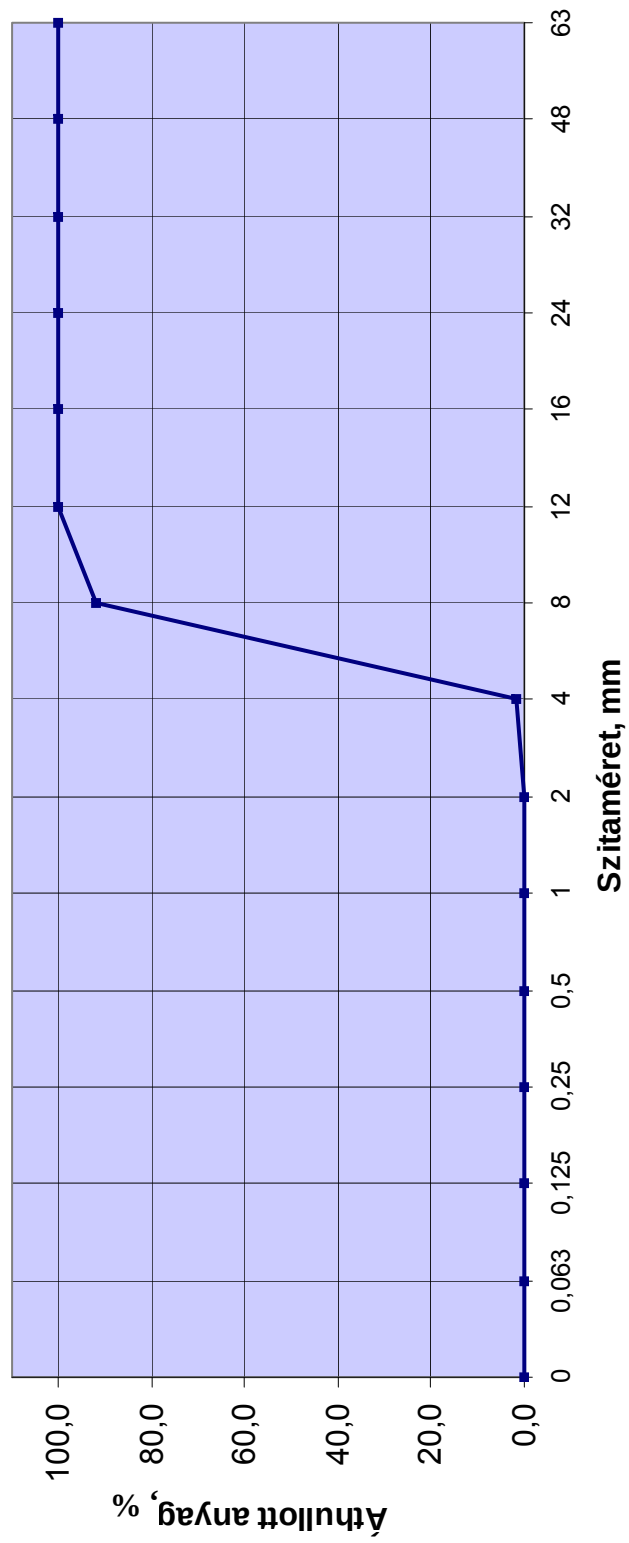
OK 4-8-as frakció vizsgálata

Mintavétel dátuma:	2012. júl. 12.
Vizsgálandó anyag neve:	OK 4-8
Nedves halmazsűrűség, t/m^3	1,47
Száraz halmazsűrűség, t/m^3	1,49
Nedvességtartalom W_n , %	1,5
Nedvességtartalom W_{sz} , %	1,6
Anyag-iszap tartalom	
1 órás, térfogat%	0
24 órás, térfogat%	0
Finomsági modulus (m)	7,06
Egyenlőtlenségi együttható (U)	1,59
D_{max}	8
0,25 alatti rész, m%	0
Homok/Kavics	1,9/98,1
Minta tömege, g	1650

Szitavizsgálat eredménye (OK 4-8)

Szitaméret, mm	Fennmaradt anyag			Áthullott tömeg, %
	g	m%	Összes m%	
63	0	0	0	100
48	0	0	0	100
32	0	0	0	100
24	0	0	0	100
16	0	0	0	100
12	0	0	0	100
8	130,35	7,9	7,9	92,1
4	1488,30	90,2	98,1	1,9
2	31,35	1,9	100	0
1	0	0	100	0
0,5	0	0	100	0
0,25	0	0	100	0
0,125	0	0	100	0
0,063	0	0	100	0
0	0	0	100	0

Adalékanyag görbe
(OK 4-8)



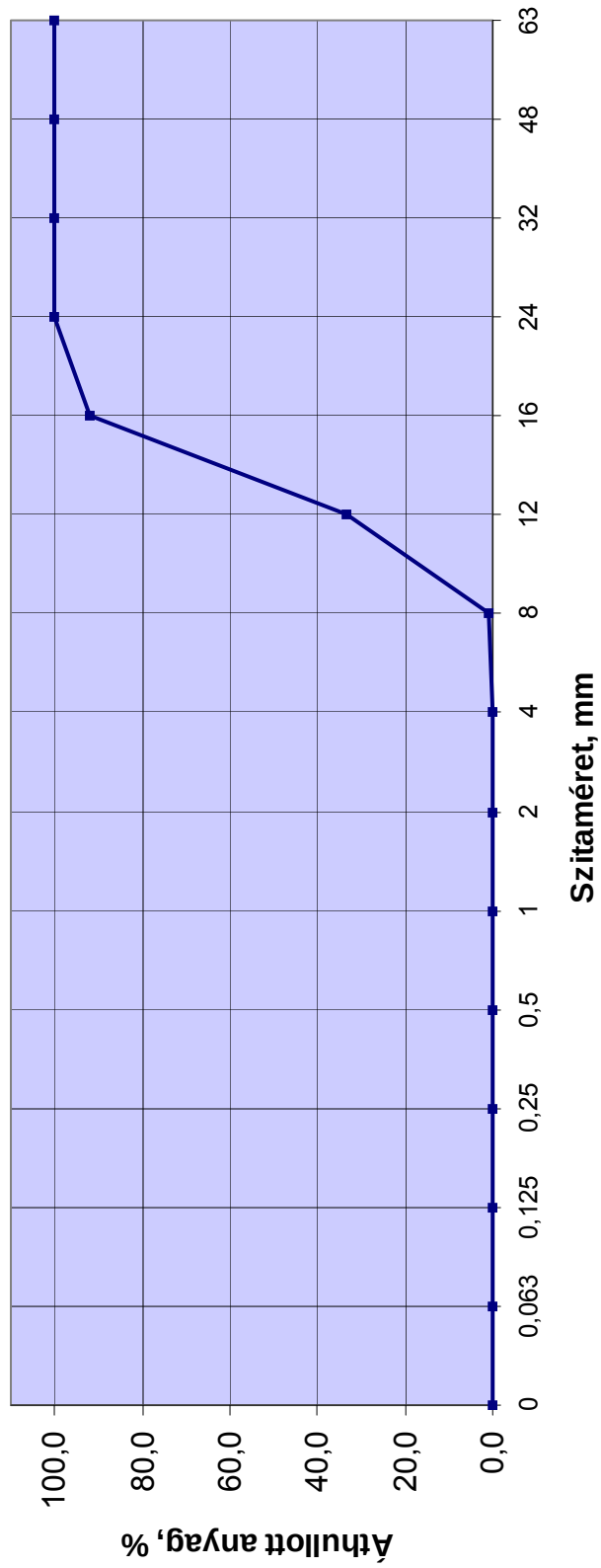
OK 8-16-os frakció vizsgálata

Mintavétel dátuma:	2012. júl. 12.
Vizsgálandó anyag neve:	OK 8-16
Nedves halmazsűrűség, t / m ³	1,46
Száraz halmazsűrűség, t / m ³	1,49
Nedvességtartalom W _n , %	0,8
Nedvességtartalom W _{sz} , %	0,8
Anyag-iszap tartalom	
1 órás, térfogat%	0
24 órás, térfogat%	0
Finomsági modulus (m)	8,07
Egyenlőtlenségi együttható (U)	1,61
D _{max}	16
0,25 alatti rész, m%	0
Homok/Kavics	0,0/100
Minta tömege, g	2350

Szitavizsgálat eredménye (OK 8-16)

Szitaméret, mm	Fennmaradt anyag			Áthullott tömeg, %
	g	m%	Összes m%	
63	0	0	0	100
48	0	0	0	100
32	0	0	0	100
24	0	0	0	100
16	192,7	8,2	8,2	91,
12	1374,75	58,5	66,7	33,3
8	756,7	32,2	98,9	1,1
4	25,85	1,1	100	0
2	0	0	100	0
1	0	0	100	0
0,5	0	0	100	0
0,25	0	0	100	0
0,125	0	0	100	0
0,063	0	0	100	0
0	0	0	100	0

**Adalékanyag görbe
(OK 8-16)**



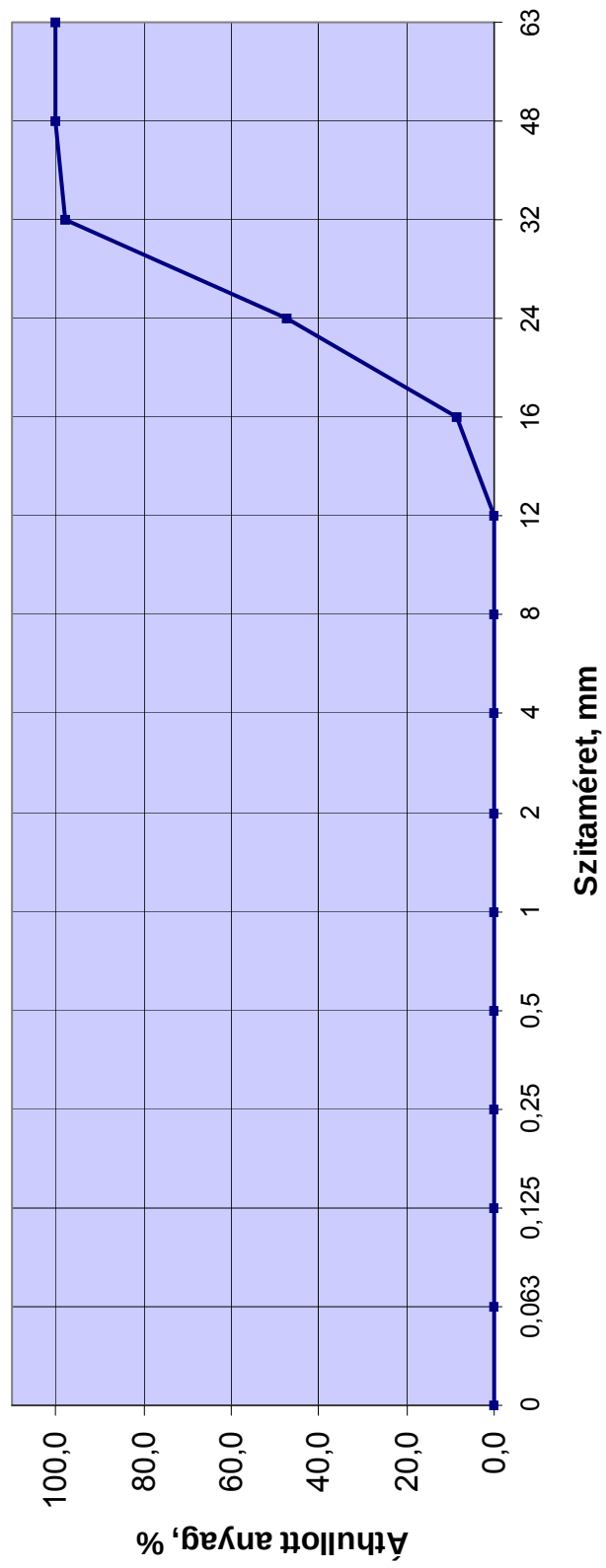
OK 16-24-es frakció vizsgálata

Mintavétel dátuma:	2012. júl. 12.
Vizsgálandó anyag neve:	OK 16-24
Nedves halmazsűrűség, t / m ³	1,46
Száraz halmazsűrűség, t / m ³	1,49
Nedvességtartalom Wn, %	0,8
Nedvességtartalom Wsz, %	0,8
Anyag-iszap tartalom	
1 órás, térfogat%	0
24 órás, térfogat%	0
Finomsági modulus (m)	8,07
Egyenlőtlenségi együttható (U)	1,61
D _{max}	16
0,25 alatti rész, m%	0
Homok/Kavics	0,0/100
Minta tömege, g	3000

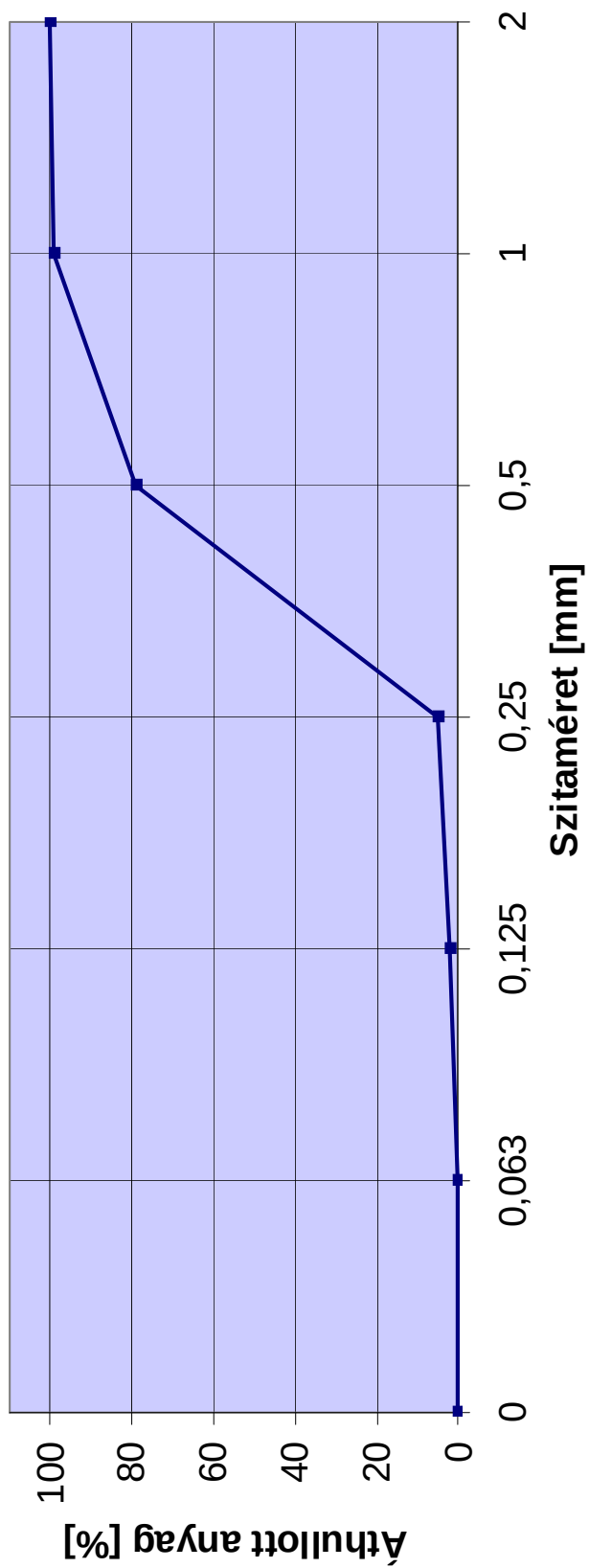
Szitavizsgálat eredménye (OK 16-24)

Szitaméret, mm	Fennmaradt anyag			Áthullott tömeg, %
	g	m%	Összes m%	
63	0	0	0	100
48	0	0	0	100
32	66	2,2	2,2	97,8
24	1518	50,6	52,8	47,2
16	1161	38,7	91,5	8,5
12	252	8,4	99,9	0,1
8	3	0,1	100	0
4	0	0	100	0
2	0	0	100	0
1	0	0	100	0
0,5	0	0	100	0
0,25	0	0	100	0
0,125	0	0	100	0
0,063	0	0	100	0
0	0	0	100	0

**Adalékanyag görbe
(OK 16-24)**



Szemmegoszlási görbe (OH 0-1)



A nyomószilárdsági vizsgálatok eredményei

A 9-es számú sorozat az eredeti receptúra alapján, a 10-es számú sorozat a módosított receptúra szerint készült

7 napos nyomószilárdság vizsgálat eredményei:

	Próbaelem jele	Tömeg, kg	Méretek		Törőerő, KN	Testsűrűség, kg / m ³	Egyedi szilárdság, N / mm ²	Átlagos szilárdság, N / mm ²
			Nyomott felület, mm	Magasság, mm				
1.	9/1	7,83	150,3	150,1	430	2311	19,1	19,65
2.	9/2	7,78	150,0	148,1	446	2336	20,1	
3.	9/3	7,90	150,6	148,4	443	2339	19,8	
4.	10/1	8,02	150,0	150,9	500	2359	22,1	22,00
5.	10/2	7,91	148,4	150,1	482	2363	21,6	
6.	10/3	7,96	150,0	151,0	503	2349	22,2	

28 napos nyomószilárdság vizsgálat eredményei:

	Próbaelem jele	Tömeg, kg	Méretek		Törőerő, KN	Testsűrűség, kg / m ³	Egyedi szilárdság, N / mm ²	Átlagos szilárdság, N / mm ²
			Nyomott felület, mm	Magasság, mm				
1.	9/1	7,86	149,9	150,3	727	2326	32,3	33,12
2.	9/2	7,79	149,0	149,7	741	2319	33,2	
3.	9/3	7,88	148,6	149,4	752	2363	33,9	
4.	10/1	7,88	149,3	150,8	860	2333	38,2	38,10
5.	10/2	7,88	149,5	150,5	842	2332	37,4	
6.	10/3	7,93	149,9	150,9	875	2337	38,7	