



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Építőmérnöki Kar

Mészke zúzalék és kvarc homok tartalmú habarcsok tulajdonságainak változása a kötési idő függvényében

TDK DOLGOZAT

SZIJÁRTÓ ANNA

egyetemi hallgató

Konzulens: Dr. Török Ákos, egyetemi tanár

Dr. Szemerey-Kiss Balázs, posztdoktori ösztöndíjas

Budapest, 2014.

„Végtelen számú kísérlet sem bizonyítja, hogy igazam van, de egyetlen kísérlet is bizonyítja, hogy tévedtem”

/Albert Einstein/

Tartalomjegyzék

Összefoglalás.....	4
Abstract	5
1. Bevezetés.....	6
2. Felhasznált anyagok	8
2.1 Alapanyagok	8
2.1.1 Trasz cement	8
2.1.2 Mészhidrát	9
2.1.3 Sóskúti zúzalék	10
2.1.4 Térkőhomok.....	12
2.2 Habarcsok	13
3. Vizsgálati módszerek	14
3.1 Szemeloszlás.....	16
3.2 Anyagsűrűség meghatározása.....	17
3.3 Kapilláris vízfelszívás.....	18
3.4 Nyomószilárdság	19
3.5 Hajlítósilárdság	20
3.6 Hővel szembeni ellenállás	20
3.7 Fagyállóság	21

4. Eredmények.....	22
4.1 Szemeloszlási vizsgálatok eredménye	22
4.2 Kapilláris vízfelszívás vizsgálatának eredménye	24
4.3 Nyomószilárdság mérésének eredménye.....	25
4.4 Hajlítószilárdság mérésének eredménye.....	28
4.5 Hővel szembeni ellenállás vizsgálatának eredménye	29
4.6 Fagyállóság vizsgálatának eredménye.....	30
5. Következtetések	33
Felhasznált irodalom	34
Mellékletek.....	35

Összefoglalás

Természetes kőanyagból épült műemlékek felújításakor sok esetben szükség van restauráló habarcsok alkalmazására. A kutatás célja az, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható és a forgalmazó által előírt gyári receptúra helyett egy más összetételű, a kőanyaggal sokkal inkább kompatibilis habarcsot hozzunk létre. A habarcsok tulajdonságait különféle adalékanyagok segítségével módosíthatjuk így létrehozva egy újabb nem gyári receptúrának megfelelő habarcsot, amely lehetőség szerint jobban alkalmazható az adott kőzet felújításakor.

A kísérletek során két habarcs keveréket vizsgáltam, amelyekben homok, sóskúti durva mészke zúzalék, trasz cement és méshidrátt különböző arányú keverékét használtam. Sablonokba öntést követően mintegy 300 próbatest készült. A próbatest készítés előtt a habarcsok szemeloszlási vizsgálata készült el. Az anyag tulajdonságai közül első lépésben a minták anyagsűrűségét határoztam meg. A próbatestek szilárdságát 3, 7, 14, 28, 220 és 360 napos korában, különböző vizsgálati állapotokban mértem. Így sor került légszáraz, nedves, klímasekrenyben állandó hőmérsékleti és páratartalmi viszonyok között tartott próbakockák mérésére is. Az időállósági vizsgálatok során fagyasztási ciklusoknak is kitett minták szilárdságát is vizsgáltam. A vízfelvételi tulajdonságokat kapilláris vízfelvétel segítségével lehetett meghatározni. A mérések során, ahol rendelkezésre állt, ott az MSZ EN szabvány szerint folytak a mérések.

A mérési adatok igazolták, hogy a habarcsok 28 napos korukig elérik a kőzetekkel közel azonos szilárdságot, hosszabb távon viszont szilárdságcsökkenés tapasztalható. A testsűrűség változása ezzel szemben ilyen egyértelmű tendenciát nem mutatott. A habarcsok szilárdsági, sűrűségi és időállósági tulajdonságokban a vizsgált durva mészkevek jellemzőivel jelentős egyezést mutatott. A habarcsokhoz adagolt kvarc homok adalékanyag javítja a mechanikai tulajdonságokat. A szilárdság időbeni változása azonban igényli a hosszabbtávú további vizsgálatokat.

Abstract

Repair mortars are commonly used in the restoration of stone monuments. The present study focuses on the preparation of a new mortar mixture that is more compatible with the stone than the commercially available ready-made repair mortars. The properties of repair mortars and their behaviour can be modified by changing binder aggregate ratio or by adding other compounds. With these compositional changes a more compatible repair mortar is obtained, that can be better used in the restoration practice.

Two main different mortars were made by using porous limestone and quartz sand as aggregate and trass cement and lime as binder. For the laboratory tests 300 specimens were casted. Prior to sample preparation grain-size analyses were performed. Bulk and material densities were also measured. The strength of cubic specimens was tested 3, 7, 14, 28, 220 and 360 days after casting. Strength test were made on samples kept under various conditions such as: air dry, water saturated, and climate chamber (constant temperature and humidity). The durability of repair mortars was also tested on samples subjected to freeze-thaw cycles. Capillary water absorption was also determined. The tests were performed according to the European Standards (EN), when it was applicable.

The tests have proved that repair mortars have similar strength to porous limestone 28 days after curing, but on a longer-term the strength of mortar specimens gradually decreased. Changes in bulk densities did not show the same trend. Considerable similarities were found between the density, the mechanical property and durability of porous limestone and tested repair mortars. The added quartz sand aggregate increased the mechanical strength of the tested mortar. To understand the long-term behaviour of repair mortars additional laboratory tests are required.

1. Bevezetés

A kőkiegészítő habarcsoknak egyre nagyobb szerep jut a műemlékek felújításakor, hisz alkalmazásukkal a kőből készített műemlékek és műalkotások egyszerűbben, gyorsabban és költséghatékonyabban javíthatók, mint más hagyományos technikával (pl. betétezéssel) [1]. A jelen kutatás alapja egy az Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumában 2008 óta folyó átfogó vizsgálat, melynek ezen szakasza (alfejezete) a korábbi eredményekre és vizsgálati módszerekre támaszkodva [2] 2012 óta a műemléki kőzetek felújításakor alkalmazható habarcsok vizsgálatával foglalkozik. Mivel korábbi kutatások alkalmával [2-3, 5, 8] bizonyossá vált hogy a hazai miocén korú (Sóskúti) durva mészkővel a kereskedelmi forgalomban kapható kőkiegészítő anyagok (Terzith, Remmers, Keim) nem megfelelő mértékben kompatibilisek, nincs mindig mindenre alkalmas habarcs receptúra. Ez az inkompatibilitás sok esetben a kőzet pusztulását okozhatja. Egyes habarcsoknak a javítandó kőzethez, például durva mészkőhöz képest túl kicsi a szilárdsága [3], más habarcsoknak pedig túl nagy a vízfelszívó képessége, vagy a porozitása, pedig egy épület felújításakor elengedhetetlen, hogy megfelelő kompatibilitású, a kőzettel együtt dolgozó habarcsot alkalmazzunk [4, 5]. A gyári összetétel módosítása lehetséges ugyan (+30m% és +50m%) mészkő zúzalék hozzáadásával, mely minden típus esetében jelentősen befolyásolja a gyári paramétereket (sűrűség, porozitás, vízfelvétel, stb.) Így elmondható, hogy a kereskedelmi forgalomban kapható, előre bekevert, zsákos kiserelésű kőkiegészítő habarcsok alkalmazása korlátozott. Az alapvetően homokkővekre kifejlesztett habarcsok tulajdonságai nem kompatibilisek minden egyes kőzettel, éppen ezért csak nagy körültekintéssel használhatók fel más típusú természetes kőzetekhez. Habarcsok alkalmazásának alapvető feltétele, hogy a kőzet és a hozzá használt kiegészítő anyag tulajdonságai azonosak, vagy közel azonosak legyenek [4-6]. Az eltérő fizikai tulajdonságok és mechanikai paraméterek miatt vagy a kiegészítés, vagy a kiegészített kőzet korai tönkremenetelére lehet számítani. Éppen ezért nem elfogadható, ha a javítandó kőzethez képest a habarcsok szilárdsága, időállósága jóval nagyobb, vagy pl. a vízfelvétel és porozitása jelentősen kisebb [3].

A TDK dolgozat végleges anyagválasztását hosszas labormunka előzte meg. A 2012-es és 2013-as évben, a kutatás első részében többféle kötőanyag (mészhidrát, égetett mész, portland cement, fehér cement) és adalékanyag (homok, mészkő zúzalék) eltérő arányú felhasználásával meghatároztam a megfelelő minőségű és összetételű habarcs típust, melynek a kőzetfizikai paraméterei a legközelebb voltak a vizsgált durva mészkővekéhez. Az előkészítő fázist követően a megfelelő anyagválasztás után 360 db próbatestet készítettem (1. ábra), melynek a vizsgálati eredményeit kielemezve esett a választás a jelen vizsgálatban összeállított habarcsokra.



1. ábra: Első fázis során készült próbatetek a BME, Építőanyagok és Mérnökgeológia Tanszék laboratóriumában (2012).

A laborvizsgálatok második részében az első szakaszban meghatározott kötő- és adalékanyagot választottam ki, s azok arányát finomítva kétféle receptet állítottam elő, és hasonlítottam össze a hazai műemléki környezetben jelentős mennyiségben megtalálható durva mészkevel [7]. További cél volt még, hogy olyan körülményeknek tegyük ki az elkészített habarcs mintákat, amely a restaurátor gyakorlat során előfordulhatnak. Ezeket az elveket figyelembe véve tároltuk laboratóriumi és természetes „szoba” körülmények között is a habarcs mintákat. Ezzel kívántuk modellezni a tényleges műemlékek helyszínén várható viszonyokat, éppen ezért valós és várható eredményekre lehet számítani. Műemléki felújítások során a helyszínen, állványon, stb. nincs idő vagy lehetőség arra, hogy minden összetevőt grammra pontosan, előírásnak megfelelően mérjük ki, így egy térfogategységben megadott receptúra alkalmazása tűnt a leginkább gyakorlatiasnak. Ezt az alapelvet követve belátható, hogy a TDK dolgozatban bemutatott vizsgálatok nem minden esetben vethetőek össze az Eurocode szerint történő mérésekkel, vizsgálatokkal, azonban a laborvizsgálatok során törekedtem arra, hogy a lehető legtöbb információt kapjak a szabványos vizsgálatokkal is.

2. Felhasznált anyagok

A TDK munka jelenlegi szakaszában (2013-2014) a hazánkban gyakran műemléki környezetben – építő és/vagy díszítő céllal – alkalmazott miocén durva mészkövekkel azonos alapú, ásványos komponenseket használtam fel a próbatestek kialakításához. Ezek közül kötőanyagként traszementet és mészhidrátot, töltőanyagként kvarc homokot és sóskúti mészkő zúzalékot alkalmaztam.

Korábbi vizsgálatok alapján [2-3, 5, 8] megállapítást nyert, hogy azok a kereskedelmi forgalomban kapható kőkiegészítő habarcsok (4-ből 3 db), melyek kötőanyagában domináns szerepet tölt be a közönséges portlandcement, továbbá kimutatható mészhidrát tartalommal is rendelkeznek, a vizsgált durva mészkövekhez képest minden esetben – labor és klimatikus körülmények között tárolt mintákon a mért értékek:

- nagyobb szilárdságot,
- nagyobb testsűrűséget,
- kisebb/eltérő porozitást,
- eltérő póruseloszlást
- és kisebb vízfelvételt mutattak.

paramétereket mutattak. Az előző megállapítás alapján a portlandcement és mészhidrát kötőanyagú habarcsok eltérő mechanikai és időállósági tulajdonságokkal rendelkeznek, mint a durva mészkövek. A mészkő szilárdságánál jelentősen, de minden esetben nagyobb szilárdságok mellett szignifikánsan időtállóbbak a habarcsok a természetes kőzetekhez képest. Azok a habarcsok, melyek traszementet tartalmaztak a vizsgált természetes mészkövekkel nagyobb azonosságot mutattak mind mechanikai viselkedésben, mind hidrotechnikai tulajdonságban, mind időállóságban. Porozitásuk és póruseloszlásuk is különbözött a portlandcementes változatokhoz képest. A portland cement szabad, reakcióképes alkáli tartalma – Na_2O , K_2O – miatt [9] beépítésük műemléki környezetben nem ajánlatos, mert káros sók keletkezhetnek, melyek az eredeti kőanyag állagát ronthatják. Léteznek olyan traszok, melyekben elhanyagolható a reakcióképes alkáli tartalom, de létezik olyan is, melyben egyáltalán nincsen. Az átlagos trasz cementek csak kisebb mértékben tartalmazhatnak a portlandcementekhez képest.

2.1. Alapanyagok

A TDK munka során a következő kötő- és adalékanyagokat használtam fel a próbatestek kialakításakor.

2.1.1. Kötőanyag I.

1. táblázat: Traszcement

<u>Traszcement</u>		
	Forgalmazó:	Ankerit Kft.
	Márkanév:	Märker
	Típus:	CEM II/B-P 32,5 N
	Halmazállapot:	poralakú
	Szín:	szürkésbarna
	Kiszereles:	25 kg, többretegű papírzsákban
	Származási hely:	Németország



A traszcement egyfajta vulkáni tufa (riolit, andezit) őrölt változata, mely többnyire finom frakciójú. Neve ragasztóanyagot jelent (holland „Tyrass”, Tarass=kitt). Vulkanai eredetű adalékanyagot, hidraulitokat azonban már a babiloni, ninivei és egyiptomi civilizációk is használtak (cserép adalékkal), illetve az ókori görögök Santorini szigetéről származó vulkáni törmeléket (homokot) is ismerjük. Hidraulikus kiegészítő anyagok, melyek megfelelő mennyiségű víz és kötőanyag hozzáadásával ragasztó-habarccsá válnak, egyébként vízzáróságot fokozó töltőanyagként is felhasználható. Az MSZ 4702-2 CEM II/A-P 42,5 szabvány foglalkozik a portland cementhez használatos trasz tartalommal [9, 10].

2.1.2. Kötőanyag II.

A méshidrát, porrá oltott mész mintegy ~32 tömeg% vízzel. beoltott égetett mész – melyhez a kalcium-hidroxid képződéséhez és az elpárolgó víz pótlásához szükséges vízmennyiséget adják. Jele: $\text{Ca}(\text{OH})_2$, elnevezése: szárazoltás. Kémhatása lúgos. A levegő szén-dioxid felvételének hatására víz válik ki belőle, elveszíti lúgos kémhatását és karbonátosodik, azaz mészkővé alakul vissza. A karbonátosodás habarcskészítés esetén kedvező hatású, hiszen növeli a szilárdságot és csökkenti a porozitást. Ezen kívül vizes oldatát alumíniumporral együtt gázképzőként alkalmazzák [10].

Tapasztalatok szerint nagy tisztaságú mészkőből (magas CaCO_3 tartalommal), alacsony hőmérsékleten hevítve, egy porózus, erősen reakcióképes égetett mész – Quicklime – oltásával, majd a dermedési idő növelésével egy általában nagyobb szilárdságú kötés jön létre, mely a belső (BET) felület kedvezőbb – nagyobb mértékű – változásával gyorsabb karbonátosodással van összefüggésben [9].

2. táblázat: Méshidrát részletes ismertetése.

<u>Méshidrát [12]</u>	
	Forgalmazó: Calmit Hungária Kft.
	Márkanév: Calmit
	Kémiai név: Kalcium-dihidroxid, $\text{Ca}(\text{OH})_2$
	Összetétel: CaO: 94-97% SiO ₂ : max 1% MgO: max 2% nedvesség: max 1%
	Kémhatás (p.H.): 12,4 (20°C – telített oldatban)
	Halmazállapot: poralakú
	Szín: Fehér, beige
	Kiszerezés: 25 kg, papírzsákban
	Származási hely: Magyarország

2.1.3. Adalékanyag I.

A sóskúti zúzalék egy miocén korú, gyakran előforduló természetes kőzet, a durva mész-kő kőkitermelésének melléktermékeként keletkezik, így hulladék újrahasznosítás szempontjából is előnyös. A bánya a Budai hegység nyugati lábánál, Budapesttől 28 km-re, Sós-kúton található. Az itt előállított 200x200x400cm-es mész-kőtömbök (2. ábra) a XIX-XX. század kedvelt és elterjedt építőköve, de a mai napig aktív bányászat működik. A kőzet könnyen megmunkálható, jól faragható, viszont érzékenyen reagál a környezeti hatásokra (pl. légszennyeződés és fagy), és felületi károsodást szenved, mely esztétikai értékcsökkenéshez és állagromláshoz vezet [7]. A kőzet több változata ismert (4. ábra), fő ásványa a kalcit, de kis mennyiségben kvarc, földpát és agyagásványok is megjelennek benne (3. ábra).

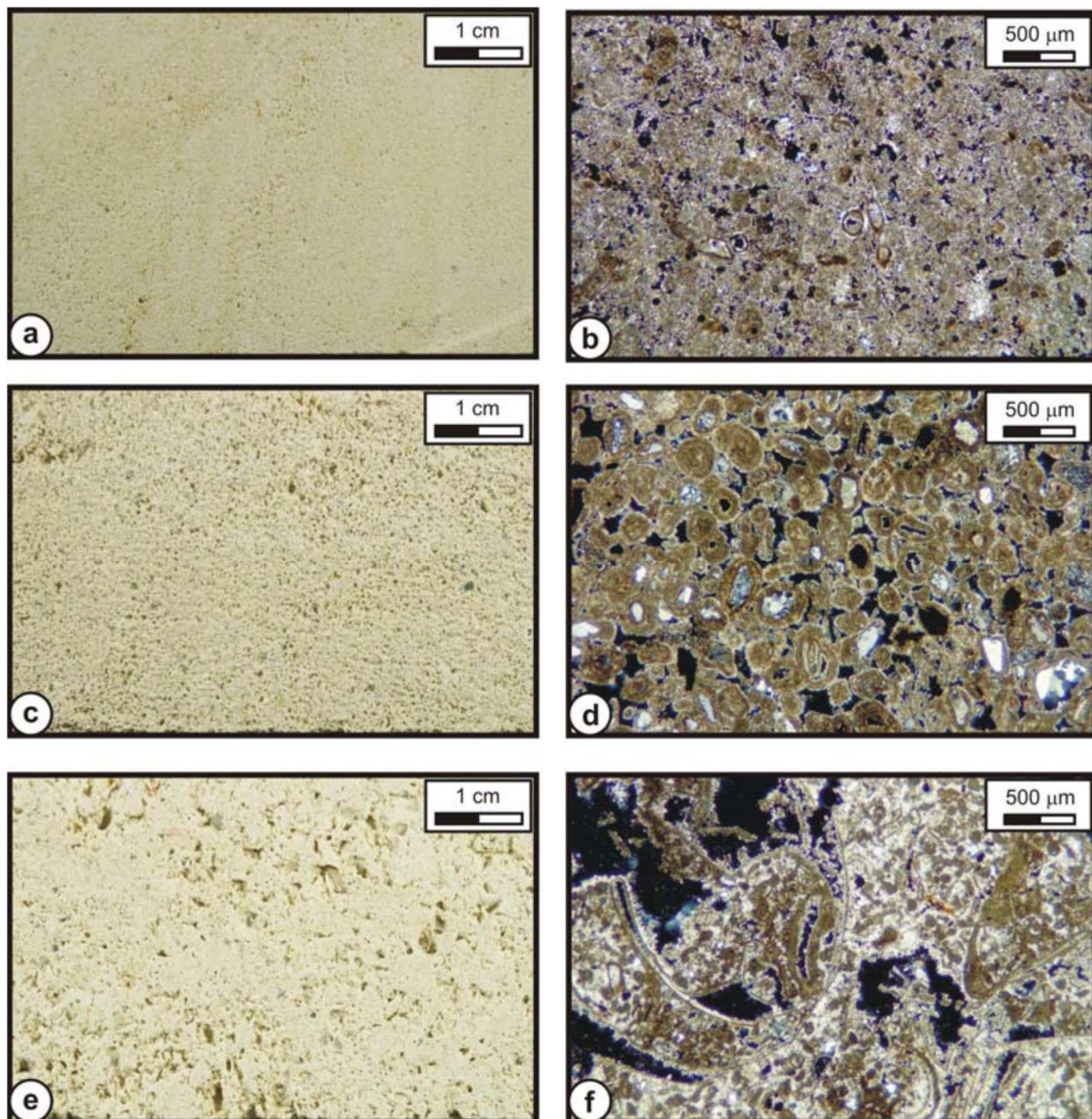
3. táblázat: Sós-kúti mész-kő zúzalék jellemzői.

<u>Sós-kúti zúzalék</u>	
	Forgalmazó: Sós-kút Kőbánya Kft.
Összetétel:	kalcit, kvarc, földpát, agyagásvány
Halmazállapot:	vegyes szemcseméretű zúzalék
Színe:	sárgásfehér
Kiszerezés:	forgalomban nem kapható, saját begyűjtés útján, bányából
Származás:	Magyarország, Sós-kút

Adalékanyag felhasználhatósága mellett a kompatibilitás megfigyelésére is alkalmas, így kontrasztanyagként is sóskúti mész-kő került felhasználásra. Vizsgált változatai a durvaszemű (később: DMD) és a finomszemű (később: DMF) fajták voltak. Természetesen a közészemű változata is megtalálható műemléki környezetben (3. ábra). A mész-kövek keletkezési körülményei, a karbonátosodás – függőleges és vízszintes – iránya erőteljesen eltérő lehet, ezért a porozitás akár 20% különbséget is mutathat [9] egy-egy beszerezhető tömbön (20x20x20 cm³). További vizsgálatok során külön elemezhető, de mi a két szélsőérték adatait átlagoltuk.



2. ábra: Sósokúti bánya, kőfejtés. Beszerezhető hasábok mérete: 20x20x40 cm³.




3. ábra: Sósokúti mészke típusai; a-b: finom szemű, c-d: közép szemű, e-f: durva-szemű [7].

2.1.4. Adalékanyag II.

Az egyik leginkább elterjedt természetes eredetű, betonhoz és habarcsához egyaránt alkalmazott adalékanyag a homok, mely a laza törmelékes kőzetek csoportjába tartozik. Aprózódás útján, főként víz, esetleg szél hatására alakult ki. Szemmagysága minden esetben kisebb, mint 4 mm, legalább 70 tömeg%-a kvarc. Ezenkívül tartalmazhat földpátot, biotitot, muszkovitot, piroxént, gránátot, amfibolt, stb. Származását tekintve lehet folyami homok, bányahomok vagy futóhomok. Az elsőnek szögletes, a másodiknak gömbölyű szemalakja van.

A szemmegoszlás az adalékanyagok fontos geometriai tulajdonsága, ez fejezi ki a szemmagyság szerinti összetételt. (5. táblázat)

4. táblázat: Térkőhomok részletes adatai.

	<u>Térkőhomok</u>	
	Forgalmazó:	Aquabau Magyarország Kft.
	Márkanév:	Aquabau
	Összetétel:	max 1,2 mm szemmagyságú, osztályozott, szárított kvarchomok
	Halmazállapot:	szemcsés poralakú
	Szín:	szürkésbarna
	Kiszerezés:	25 kg, többretegű papírszakban
	Származási hely:	Magyarország

5. táblázat: Homok szemmagysága [10].

Megnevezés és osztály	Szemmagysághatár			ellenőrző szita	
	Legkisebb (d)	Legnagyobb (D)	feltétel	szitanyílás mm	áthullott anyag tömegszázaléka
	szemmagyság, mm				
Homok GF85	d=0	D≤4	-	0,063 D/4 D/2 D 1,4*D 2*D	0-10;0-5;0-3 20-60 50-90 85-99 95-100 100

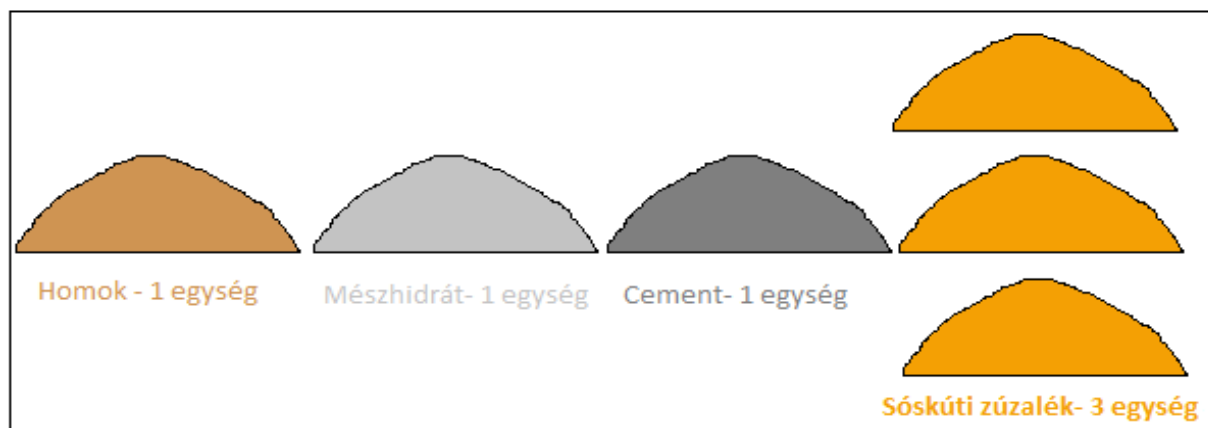
2.2. Habarcsok

Az alapanyagok kiválasztása után kétféle új habarcsreceptet állítottam elő, melyek csak összetételben különböztek. Az A típusú habarcsba 1 térfogat egység homokot, 1 térfogat egység mészhidrátot, 1 térfogat egység cementet és 3 térfogat egység sóskúti zúzalékot kevertem össze, a B típusú habarcsba pedig 1 térfogat egység mészhidrátot, 1 térfogat egység cementet és 4 térfogat egység sóskúti zúzalékot adagoltam. (6. táblázat)

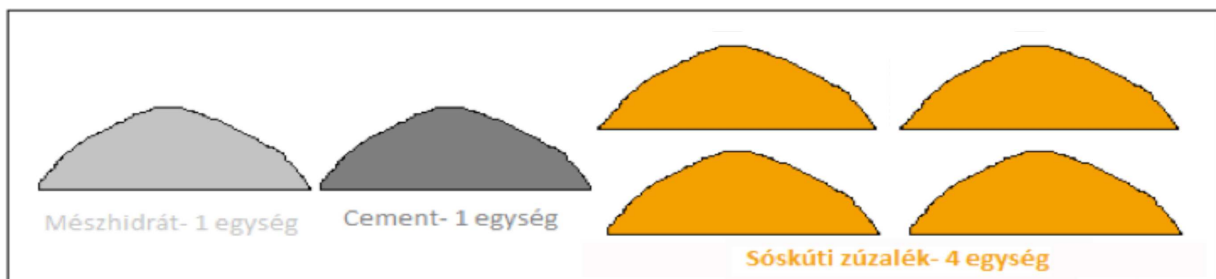
6. táblázat: Alapanyagok aránya az egyes típusokban.

Rövidítés	Traszement	Mészhidrát	Homok	Mészke zúzalék
A	+	+	+	+++
B	+	+		++++

Az egyes összetevők mennyiségét térfogat egységben adtam meg (5-6. ábra). A megfelelő kötőanyag/adalékanyag arány kiválasztása után, a hozzá adott víz mennyiségét kellett meghatározni. Az összeállított, száraz habarcs össztömegével olyan arányban állapítottuk meg a szükséges víz mennyiségét, amely jól bedolgozható, és a földnedves állapotnál valamivel több vizet tartalmaz (kereskedelmi forgalomban kapható kőkiegészítőkhöz szükséges vízmennyiség: 15-18 m%). Ennek gyakorlati haszna van, ugyanis a kereskedelmi forgalomban kapható kőkiegészítő habarcsoknál a biztonsági adatlapokon, termékismertetőkön az ajánlott [14 - 16] víz m%, azaz a földnedves állapot legtöbb esetben a meglehetősen lassú munkát eredményez, mert nagyobb vastagságban



4. ábra: A típus összetételének szemléltetése térfogategységben kifejezve

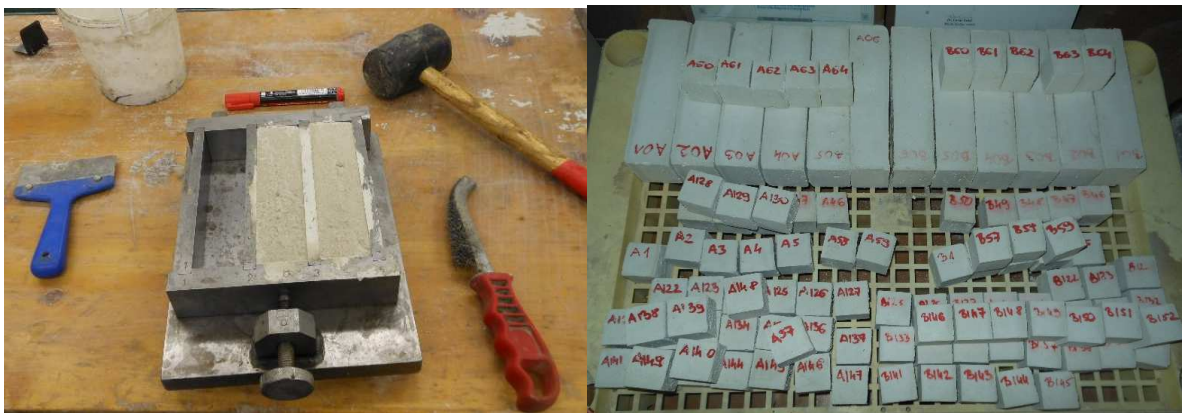


5. ábra: B típus összetételének szemléltetése térfogategységben kifejezve

3. Vizsgálati módszerek

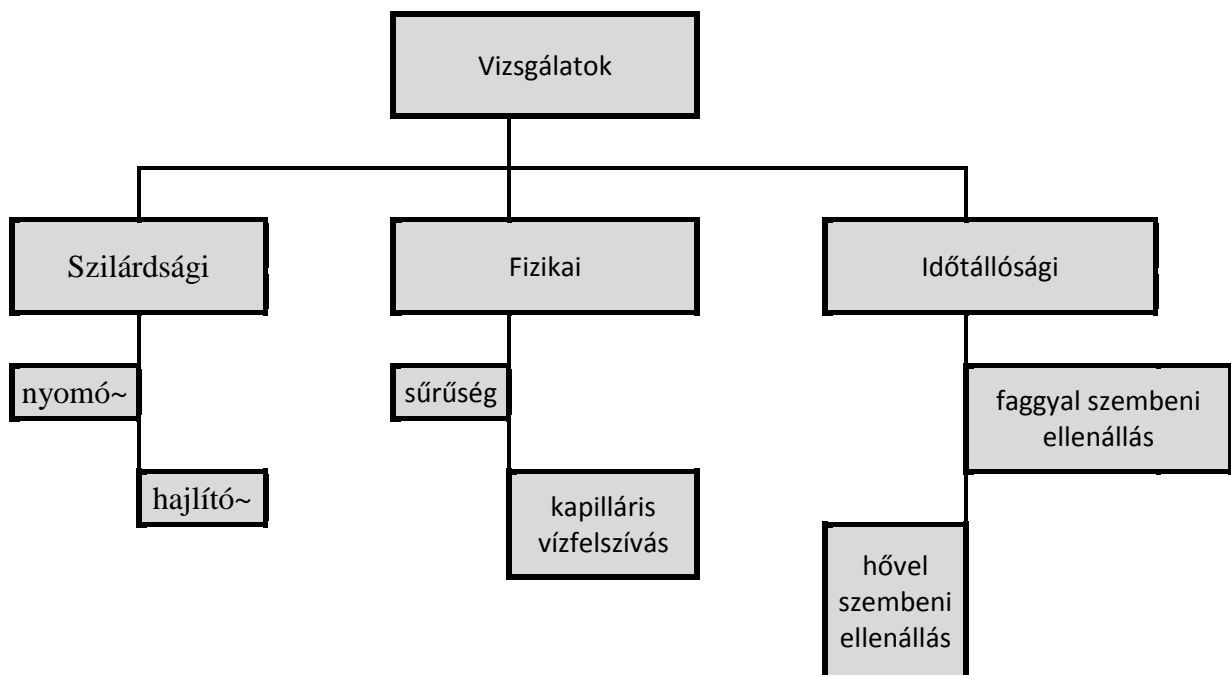
A vizsgálatokhoz 3x3x3cm-es kockákat és 4x4x16cm-es hasábokat készítettem (8. táblázat) rozsdamentes acélsablonok segítségével. Összesen 200 darab próbakockát és 20 darab hasábot vizsgáltam. Átlagosan két nap eltelte után távolítottam el a próbatesteket a zsaluból (7/a. ábra), és ezután kerültek a vizsgálathoz szükséges helyre, közegbe (pl.: víz, klímaszoba – 7/b ábra, stb.)

Az előállított kőkiegészítő habarcsok és a kiválasztott mészkevek összehasonlításához különböző vizsgálatokat végeztem el. A kompatibilitás kiderítése érdekében kiszámítottam a próbatestek nyomó- és hajlítószilárdságát, figyelmet fordítottam az időtállóságra is. Az elvégzett vizsgálatokat a 7. és 8. táblázatban foglaltam össze.



6. ábra: A habarcsok kiszaluzása előtt, a művelethez használt eszközökkel a) majd kiszaluzás után b).

7. táblázat: A vizsgálatokat összefoglaló rendszer.



8. táblázat: A habarcsokon és a kontrasztként kiválasztott kőzetten elvégzett vizsgálatok szabványa, megnevezése, a használt eszközök típusa, és a vizsgálatokhoz szükséges próbatestek száma.

Szabvány	Vizsgálati módszer	Vizsgálathoz használt berendezés	Darabszám habarcs/kő
MSZ EN 1015-1:2007	Szemeloszlás	Haver UWL 400 típusú szitarázó gép	-
MSZ 18284:1979	Anyagsűrűség	Piknométer	4/4
MSZ EN 1925:2000	Kapilláris vízfelszívás	Kézi eszközök	10/20
EN 1015-11:2000	Egyirányú nyomószilárdság	Formtest típusú törő és hajlító gép	136/120
EN 1015-11:2000	Hajlító szilárdság	Formtest típusú törő és hajlító gép	20/20
MSZ EN 12371:2010	Fagyasztás	Formtest típusú fagyasztógép	44/40
	Szárítás	Nüve- KD200 típusú szárítószekrény	10/0

3.1. Szemeloszlás

A töltőanyagként használt homok és a sóskúti zúzalék fontos geometriai tulajdonsága a szemmegoszlás, melyet szítással lehetett meghatározni. Ez fejezi ki a szem nagyság szerinti összetételt. A szemeloszlási diagram elkészítéséhez valamely adott szem nagyságnál kisebb szemek tömegét viszonyítjuk az összes szem tömegéhez az összes szem nagyságra elvégezve, a testsűrűségtől függően vagy tömegarány/tömeg %-ban, vagy térfogatarány/térfogat %-ban. Az MSZ 18288-1:1991 illetve az MSZ EN 933-1:1998 szabvány foglalkozik a szemmegoszlás szítással történő vizsgálatával.

A száraz mintát részhalmozokra bontottam különböző lyukátmérőjű sziták segítségével, majd az egyes halmozok tömegét a teljes minta tömegéhez viszonyítva egy szemmegoszlási diagramot kaptam. A vizsgálat során anyagonként 2kg száraz anyagot szitáltam át Haver UWL 400 típusú szitarázó gépen (9. ábra). A szitasor homoknál 2mm, 1mm, 500µmm, 250 µmm, 125 µmm, és <125 µmm lyukátmérőjű, sóskúti zúzaléknál pedig 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 500 µmm, 250 µmm, 125 µmm és <125 µmm lyukátmérőjű szitákból tevődött össze.



7. ábra: Szitarázó berendezés - szemeloszlás vizsgálathoz a labor hangszigetelt kamrájában.

3.2. Anyagsűrűség meghatározása

Az anyagsűrűség meghatározásához az MSZ 18284-2:1979 szabvány szerinti piknométeres (10. ábra) mérést alkalmaztam. A szabvány alapján kisebb, mint 0,2 mm szemnagyságúra porítottam a vizsgálandó habarcsokat, így pórusmentesnek tekinthető a teljes anyagminta. Mivel a mérőfolyadék a mérendő anyagot nem oldhatja, ezért én a cementport nem oldó triklór-etilént (C_2HCl_3) alkalmaztam.



A mérés lépései:

Por térfogata = Üres piknométert kitöltő mérőfolyadék térfogata - Por feletti mérőfolyadék térfogata

Üres piknométert kitöltő mérőfolyadék térfogata = [Mérőfolyadékkal töltött piknométer tömege - Üres piknométer tömege] / mérőfolyadék sűrűsége.

Por feletti mérőfolyadék térfogata = [Port és felette mérőfolyadékot tartalmazó piknométer tömege - Port tartalmazó piknométer tömege] / sűrűség

Anyagsűrűség = Por tömege / Por térfogata [10].

8. ábra: Piknométer.

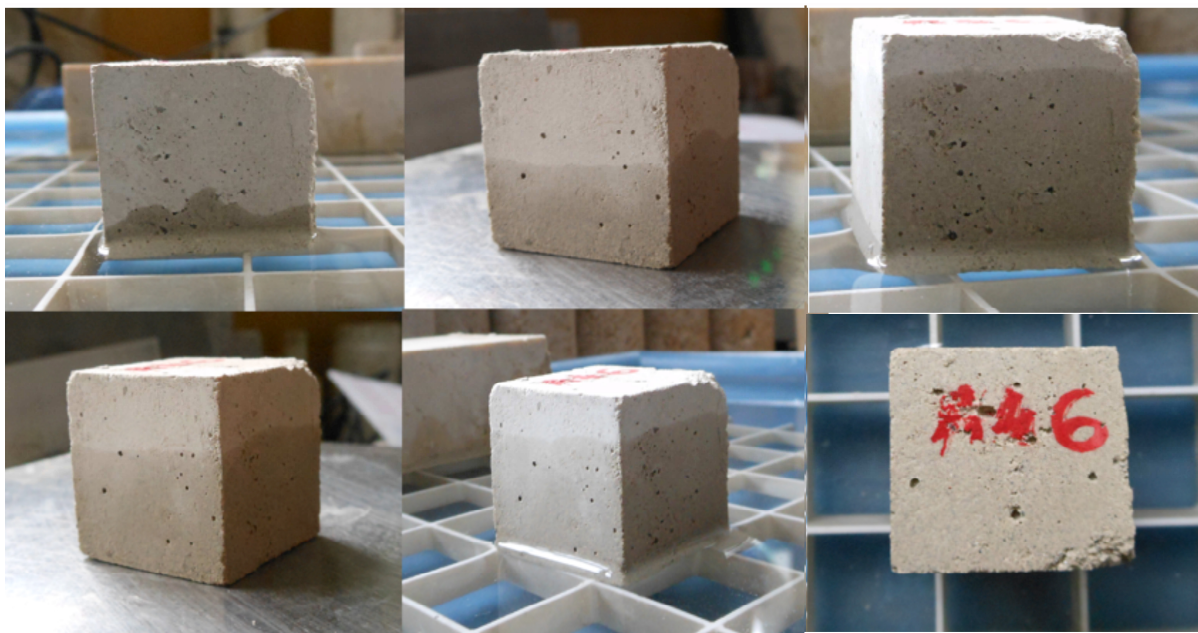
A víz pontos sűrűségének meghatározásához megmértem a víz hőmérsékletét is. Egy külön méréssel kiszámítottam a triklór-etilén sűrűségét, majd ennek ismeretében meghatároztam a habarcsok sűrűségét is. Mindkét habarcs típusnál két mérést végeztem el, hogy ellenőrizzem saját magamat, és a kapott értékeket átlagoltam (9. táblázat).

9. táblázat: A habarcsok anyagsűrűségének (számtani) átlaga.

Habarcs jele	A	B
Anyagsűrűsége [kg/m ³]	$\rho_h = 2,65604$	$\rho_h = 2,71354$

3.3. Kapilláris vízfelszívás

A vizsgálandó testet megfelelő magasságú vízbe helyezve a víz a próbatest kapillárisaiba felszívódik. Ez a magasság összefüggésbe hozható a folyadék feletti feszültséggel, a nedvesítő képességgel, a kapilláris sugarával és a nehézségi gyorsulással. Kapilláris vízfelszívás mérésére az alkalmazott szabványok (MSZ EN 1295:2000) többféle módot is előírnak. Én egy olyan vizsgálatot végeztem, ahol a kapilláris vízemelkedés magasságát adott időpontokban megmértem (11. ábra), majd a felszívott víz mennyiségét az idő függvényében grafikonon ábrázoltam. A próbatesteket vízbe állítottam, úgy hogy 1-3mm magasságig érjen a víz a próbatest oldalán, de megfelelő mennyiségű víz maradjon a próbatest alatt a vízfelszíváshoz. Amikor lejárt a kijelölt idő, a próbatestet kiemelttem a vízből, nedves ronggyal letöröltem a felületét, majd megmértem a tömegét, és visszahelyeztem a vízbe. Az mérések között eltelt idő egyre nőtt, ahogy a kocka telítődött vízzel. Kezdetben a próbatest vízbe való visszahelyezésétől számítottam a következő időintervallumot, egészen addig, amíg a két mérés között eltelt idő elérte a két órát.



9. ábra: Kapilláris vízfelszívás fázisai az A típus habarcs próbatesteken.

3.4. Nyomószilárdság

A nyomószilárdság meghatározásának érdekében a 3x3x3cm-es kockákon 3, 7, 14 és 28 naposan, szárazon, vízzel telítve és klímaszobában tárolva, 220 és 365 napos korokban pedig kizárólag szárazon tartott állapotban, fajtánként 5-5 db-on készítettem nyomóvizsgálatot. A tárolási körülmények változásával a környezeti hatásokat próbáltam szemléltetni. A próbatesteket a Formtest típusú törő és hajlító géppel törtem el, állandó 0,2 kN törőerővel terhelve addig, amíg a próbatest el nem érte a törési határállapotot. A próbatestek méreteiből, tömegéből és a törőerőből testsűrűséget és nyomószilárdságot számítottam a. A száraz próbatesteket laborkörülmények között tároltam, előidézve ezáltal a felújítási, építkezési területen levő körülményeket. A vízzel telítetteket kizsaluzás után egyből vízbe tettem, minden nap megmértem a tömegüket, majd vízből való kivétel után öt perccel, nedves ronggyal letörölt felülettel törtem el. Ez a tárolási módszer a tartós eső, beázás, talajvíz hatására vízbe kerülő, átnedvesedett épületek, műemlékek habarcsait mintázza. A klímaszobában állandó átlag 20 °C-on és 66-67%-os páratartalommal tároltam a kockákat. Célom a három különböző módon tárolt próbatestekkel az volt, hogy kimutassam a szilárdságbeli különbséget száraz, esős és páradús időben, a különböző korban vizsgált próbakockákkal pedig az eltelt idő-szilárdság összefüggés szemléltetése.



10. ábra: Formtest típusú törő és hajlító gép vizsgált habarcs próbatesttel.

3.5. Hajlítószilárdság

A 4x4x16cm-es próbatesteken 14 és 28 naposan vizsgáltam hajlítószilárdságot. A vizsgálat elve, hogy a próbatestet kéttámaszú tartóként kiképezve két alátámasztás között elhelyezzük, majd középen törésig terheljük. A hajlításvizsgálatot 2 kiemelt időpontban és csak laborkörülmények között tárolt próbatesteken végeztem el. A próbatesteket a Formtest típusú törő és hajlító géppel hajlítottam el (12-13. ábra), az EN 105-11:2000 szabvány szerint. A hasábok eltörték mielőtt elérték volna a maximálisnak kitűzött 0,2 kN erőt.



11. ábra: Hajlítóerő mérése habarcs próbatesten

3.6. Hőhatás vizsgálata

A TDK munkám során folyamatosan a gyakorlati élet, a restaurálási alkalmazás modellezésére törekedtem, ezért a habarcsok nyári viselkedésének pontosabb megértése érdekében a nyomószilárdság vizsgálatot kiterjesztettem szárítógépben (14. ábra) tárolt, 60 °C-on tömegállandóságig szárított próbatestekre is, hiszen nagy melegben a közetek felületén a hőmérséklet elérheti a 60-70 °C-ot is. A kísérlet célja az volt, hogy megfigyeljem milyen változást okoz a tartósan magas hőmérséklet a habarcsok szilárdságában. A tartós meleg várhatóan gyorsabb hidratációhoz vezet, amely kisebb szilárdságot eredményezhet.



12. ábra: : Nüve típusú, programozható szárítószekrény a laborban

3.7. Fagyállóság

Az MSZ EN 12371:2010 szabvány alapján a 3x3x3cm-es próbakockákat megvizsgáltam fagyasztás hatására is 7, 15 és 30 ciklus után valamint kiindulási állapotot tekintve szárazon és nedvesen. A nedves próbakockákat vízben tároltam tömegállandóságig, majd ezután tettem be őket a fagyasztóba. A száraz próbakockákat szobahőmérsékleten tároltam a kizsaluzástól a fagyasztóba kerülésig. A fagyasztási modell meghatározott idejű fagyás és felmelegedés ciklusok váltakozásából áll, ezzel szemléltetve egy téli napot a kontinentális éghajlaton. A fagy ciklusok letelte után eltörtem azokat a próbatesteket, melyek alkalmasak voltak a vizsgálatra. A vizsgálathoz használt Formtest fagyasztógép (15. ábra) napi 1,5 ciklus elvégzésére alkalmas, ahol a ciklus egy nedves telítést és egy fagyasztást jelent.



13. ábra: Formtest típusú fagyasztógép

4. Eredmények

4.1. Szemeloszlási vizsgálatok

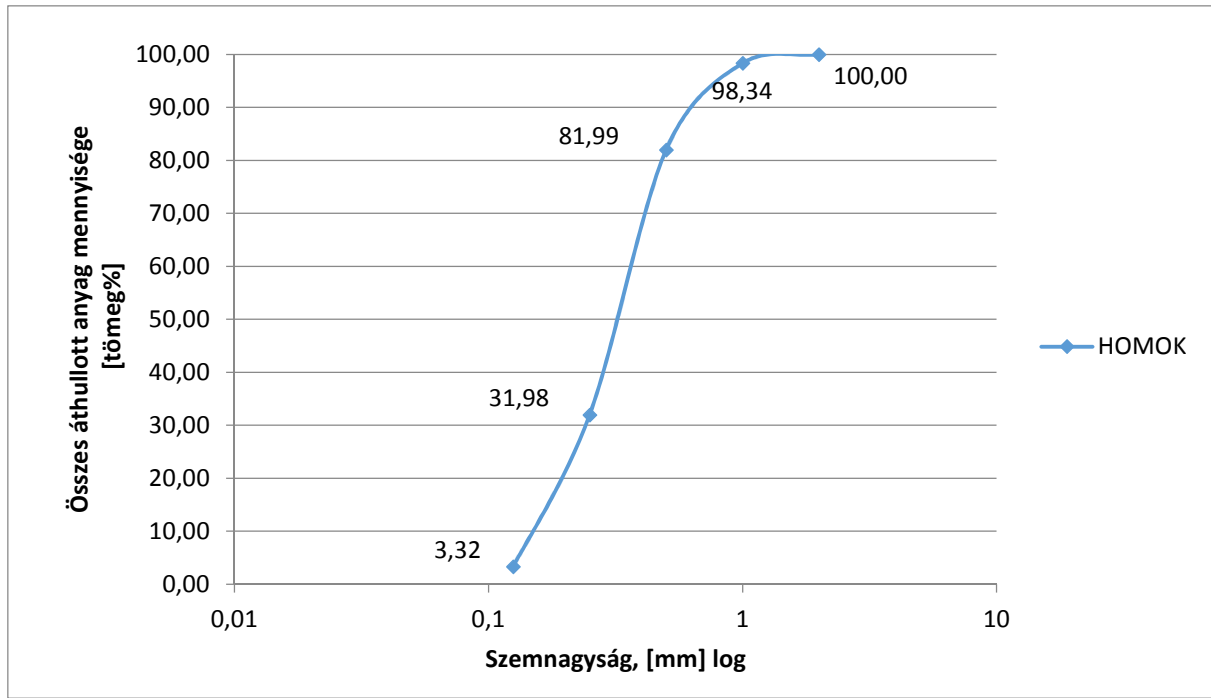
Az adalékanyagok szitálásának eredményeképp meghatároztam a sóskúti zúzalék és a homok szemeloszlási görbéjét. A kapott eredményeket a 10-11. táblázat mutatja, az ebből készített görbéket pedig a 16-17. ábra. A maximális szemcseméret a homok esetében: $d_{\max}=1\text{mm}$, sóskúti zúzaléknál pedig $d_{\max}=4\text{mm}$ lett. Ez alapján megállapítható, hogy a hajlítózsilárdság méréséhez elegendő 4x4x16cm-es próbatesteket készíteni.

10. táblázat: Homok szitálásának mérési eredményei.

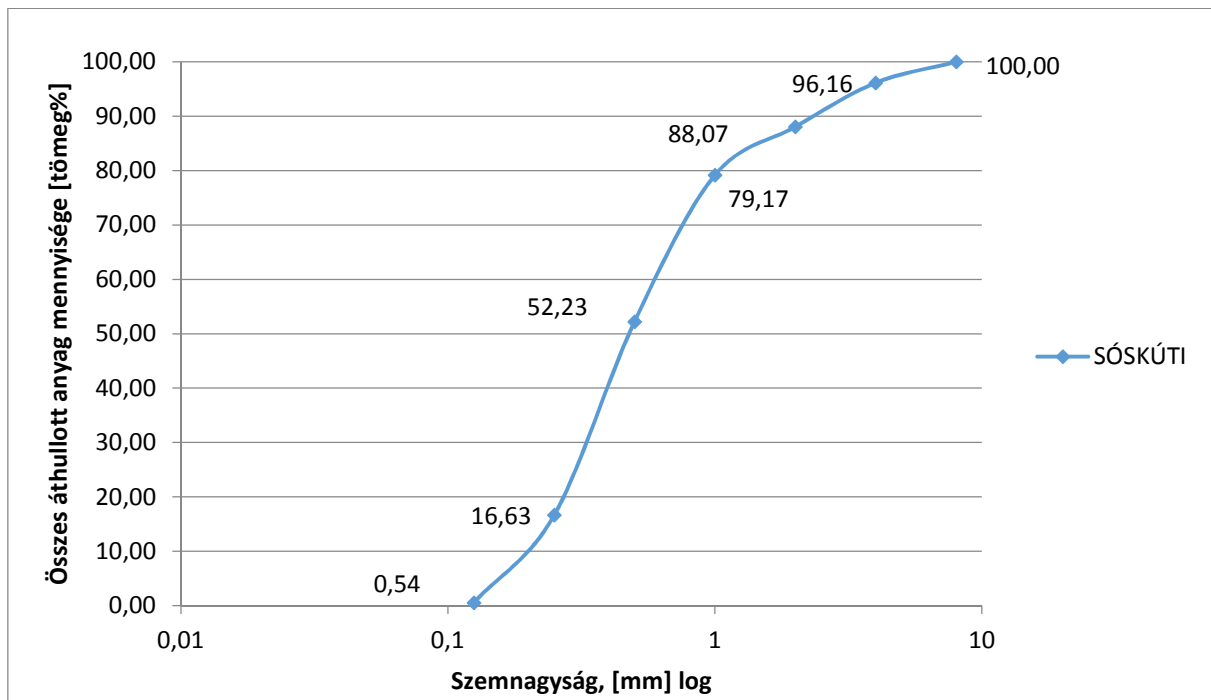
HOMOK						
d	m [g]	%	Σ fennmaradt	%	Σ áthullott	%
2,00 mm	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	100,00
1,00 mm	33,30	1,67	33,30	1,67	1966,70	98,34
500,00 μm	327,00	16,35	360,30	18,02	1639,70	81,99
250,00 μm	1000,10	50,01	1360,40	68,02	639,60	31,98
125,00 μm	573,30	28,67	1933,70	96,69	66,30	3,32
< 125 μm	66,30	3,32	2000,00	100,00	0,00	0,00
szumma	2000					

11. táblázat: Sóskúti zúzalék szitálásának mérési eredményei.

SÓSKÚTI ZÚZALÉK						
d	m [g]	%	Σ fennmaradt	%	Σ áthullott	%
8 mm	0,00	0,00	0,00	0,00	2000,00	100,00
4,00 mm	76,90	3,85	76,90	3,85	1923,10	96,16
2,00 mm	161,70	8,09	238,60	11,93	1761,40	88,07
1,00 mm	178,10	8,91	416,70	20,84	1583,30	79,17
500,00 μm	538,80	26,94	955,50	47,78	1044,50	52,23
250,00 μm	712,00	35,60	1667,50	83,38	332,50	16,63
125,00 μm	321,70	16,09	1989,20	99,46	10,80	0,54
< 125 μm	10,80	0,54	2000,00	100,00	0,00	0,00
szumma	2000					



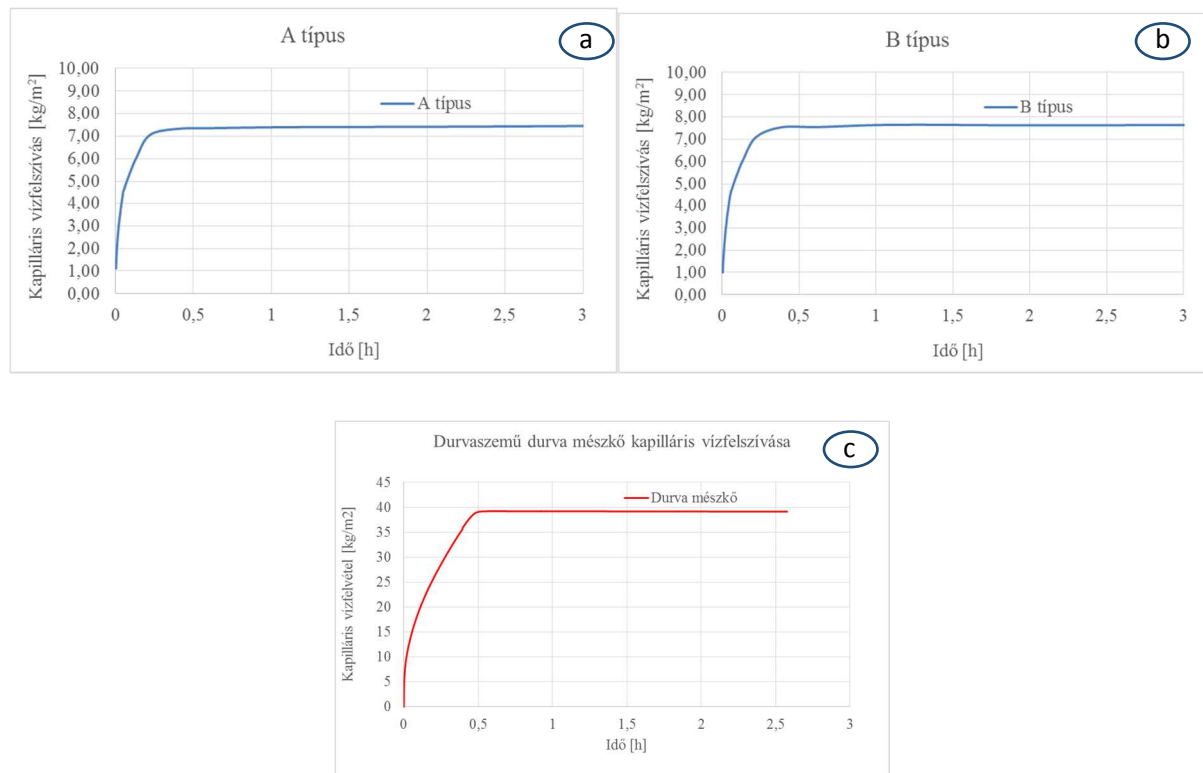
14. ábra: Homok szemeloszlási görbéje



15. ábra: Sóskúti zúzalék szemeloszlási görbéje

4.2. Kapilláris vízfelszívás

A kapilláris vízfelszívás mérésének eredményei a mellékelt 14-15. táblázatában találhatóak. Az egy-egy típusú habarcsra elvégzett kísérletek átlag eredményét ábrázolja a 18. ábra a), b) és c) része.



16. ábra: Vízfelvételi görbék az idő függvényében. A típusú habarcs (a), B típusú habarcs (b), durvaszemű durva mészke (c).

4.3. Nyomószilárdság

A fajtánként és vizsgálati típusonként eltört 5-5 db próbakocka mérési eredményeit a melléklet 16. táblázata mutatja. A kapott eredmények alapján kijelenthető, hogy az idő előrehaladtával a nyomószilárdság értéke nő, akár szárazon, akár vízzel telítve tároljuk a próbatesteket. A szárazon vizsgált habarcsok nyomószilárdsága készítésüktől számított 28. napon eléri a nyomószilárdságuk végértékét. (a nedves és klíma szobában tárolt próbatestekről nincs 28 napon túlmutató adat). A mérésekből látszik, hogy a vízzel telített próbatestek nyomószilárdsága minden esetben kisebb az azonos korú, szárazon tárolt próbatestekétől. Ezek az állítások az A és a B típusú habarcsra is helytállóak. Mivel az A típusú keverék nyomószilárdsága szinte minden esetben nagyobb a B típusú keverékénél, ezért kijelenthető, hogy a homok hozzáadása javít a habarcs teherbírásán. A klímaszobában tárolt próbatestek eltérnek az előbb leírtaktól. Közülük 7 és 28 napos korban a B típusú keverékek szilárdsága nagyobb, és amíg 3 és 7 napos korban az értékek a száraz és a nedves

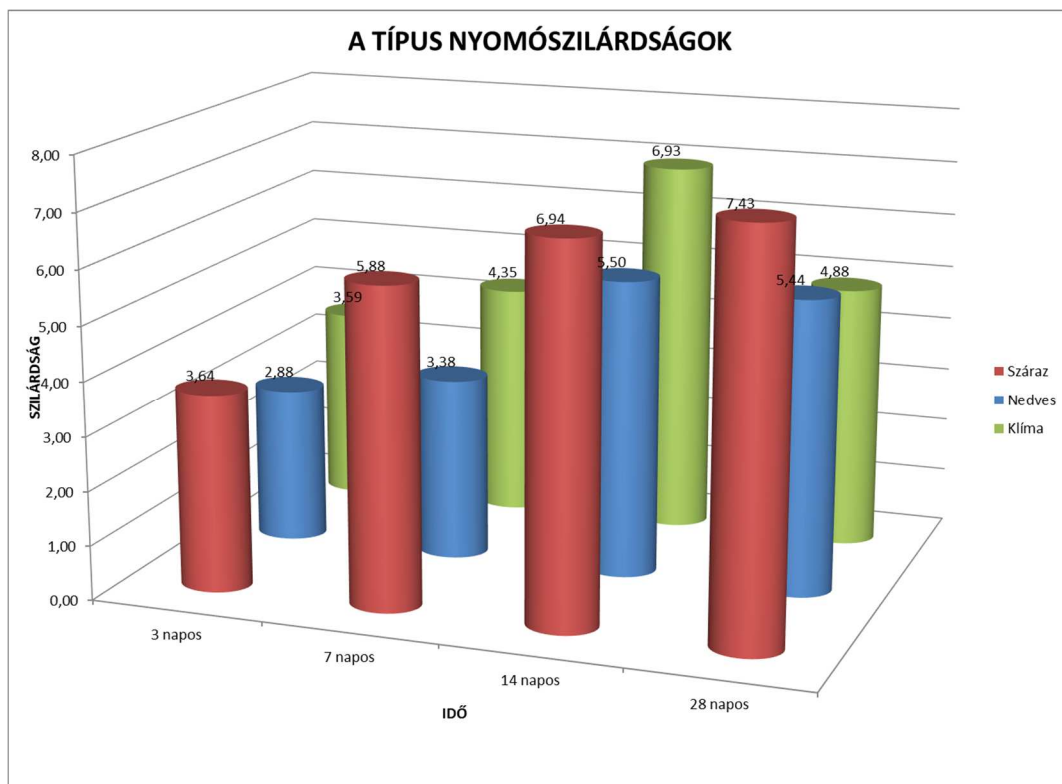
értékei közé, addig 14 és 28 napos korban azokon kívülre esnek. Ennek magyarázatához további kísérletek elvégzése szükséges. Az eredmények összefoglalását a 12a. És 12.b táblázata mutatja be. A szilárdsági értékek mindenhol MPa-ban értendők.

12a. táblázat: A vizsgált habarcsok nyomószilárdságának rövid távú vizsgálati értékei.

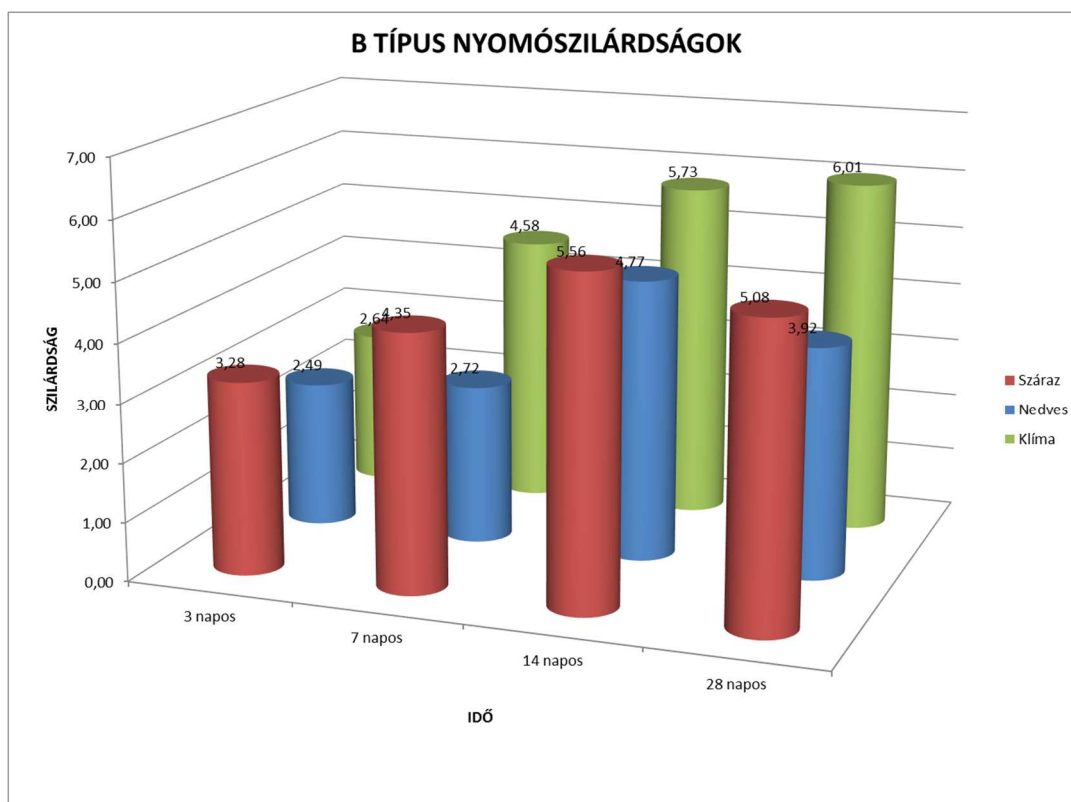
Szilárdság [Mpa]	3 napos			7 napos			14 napos			
	száraz	nedves	klíma	száraz	nedves	klíma	száraz	nedves	klíma	
A típus	átlag	3,64	2,88	3,59	5,88	3,38	4,35	6,94	5,50	6,93
	szórás	0,23	0,08	0,19	0,20	0,09	0,07	0,40	0,24	0,28
	minimum	3,32	2,79	3,35	5,69	3,27	4,28	6,46	5,28	6,65
	maximum	3,91	2,96	3,82	6,10	3,47	4,42	7,41	5,80	7,30
B típus	átlag	3,28	2,49	2,64	4,35	2,72	4,58	5,56	4,77	5,73
	szórás	0,12	0,34	0,15	0,20	0,07	0,11	0,29	0,38	0,44
	minimum	3,17	2,09	2,50	4,04	2,64	4,49	5,30	4,26	5,36
	maximum	3,47	2,90	2,85	4,55	2,76	4,68	6,03	5,12	6,50

12b. táblázat: A habarcsok nyomószilárdságának hosszú távú vizsgálati eredményei.

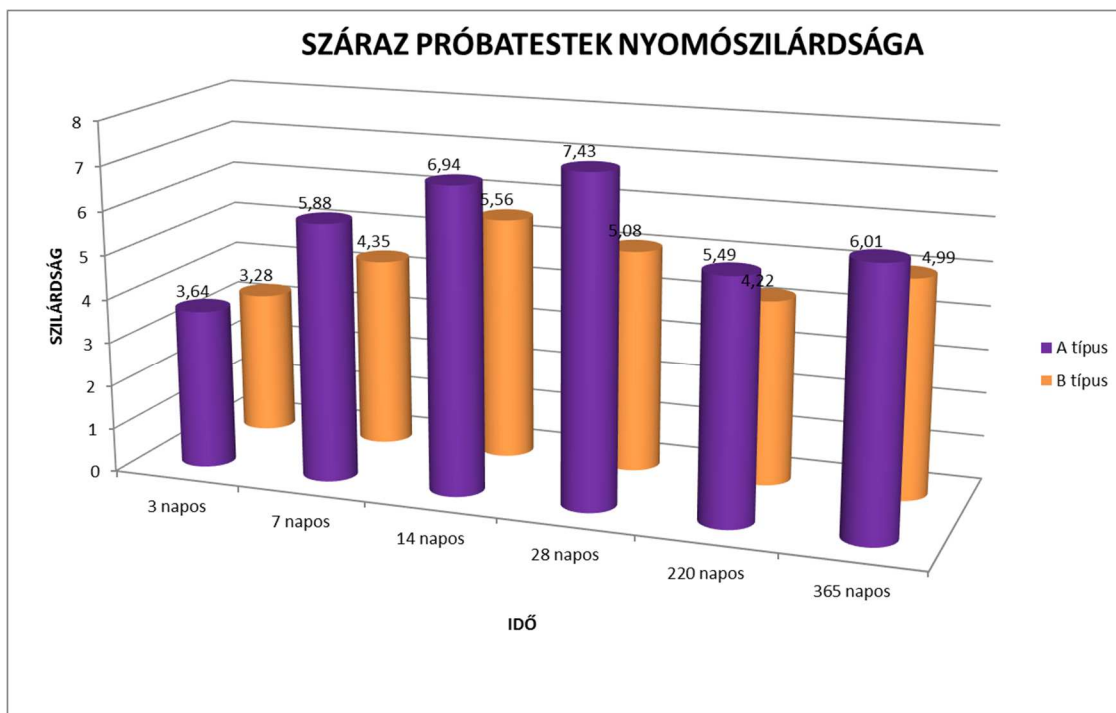
Szilárdság [Mpa]	28 napos			220 napos	365 napos	
	száraz	nedves	klíma	száraz	száraz	
A típus	átlag	7,43	5,44	4,88	5,49	6,09
	szórás	0,57	0,09	0,51	0,25	0,65
	minimum	6,51	5,29	4,32	5,19	5,35
	maximum	7,85	5,47	5,64	5,84	6,96
B típus	átlag	5,08	3,92	6,01	4,22	4,99
	szórás	0,43	0,30	0,45	0,26	0,23
	minimum	4,40	3,42	5,25	3,88	4,69
	maximum	5,56	4,23	6,41	4,53	5,28



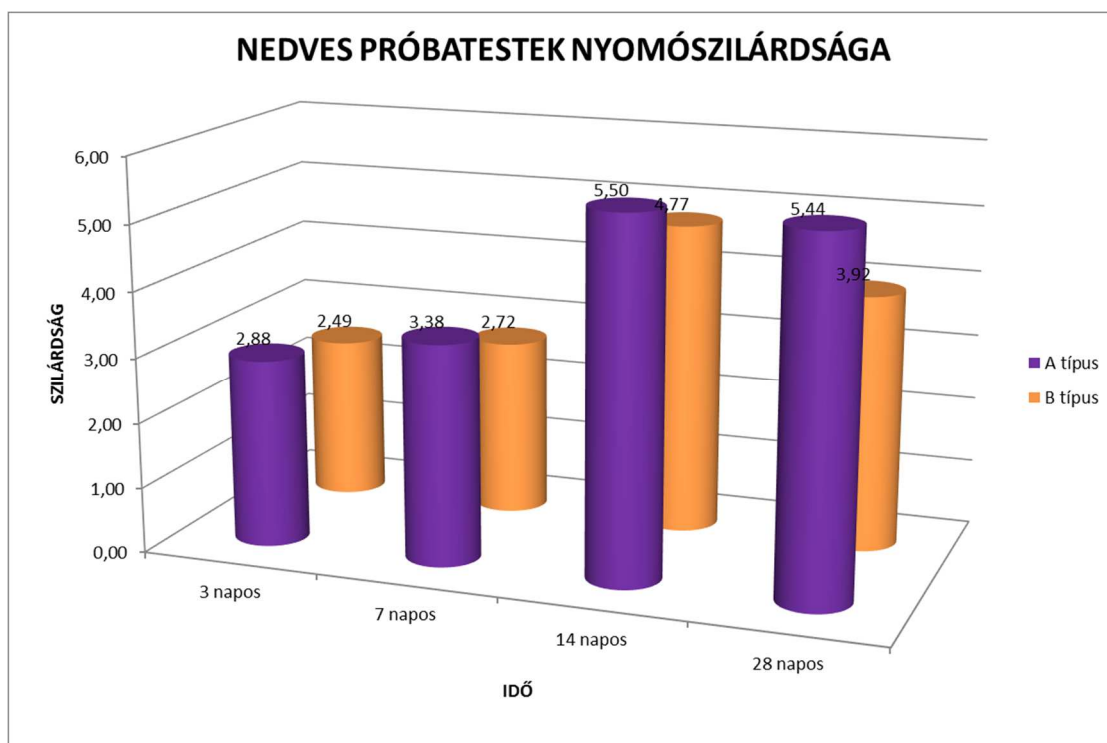
17. ábra: A típus nyomószilárdsága



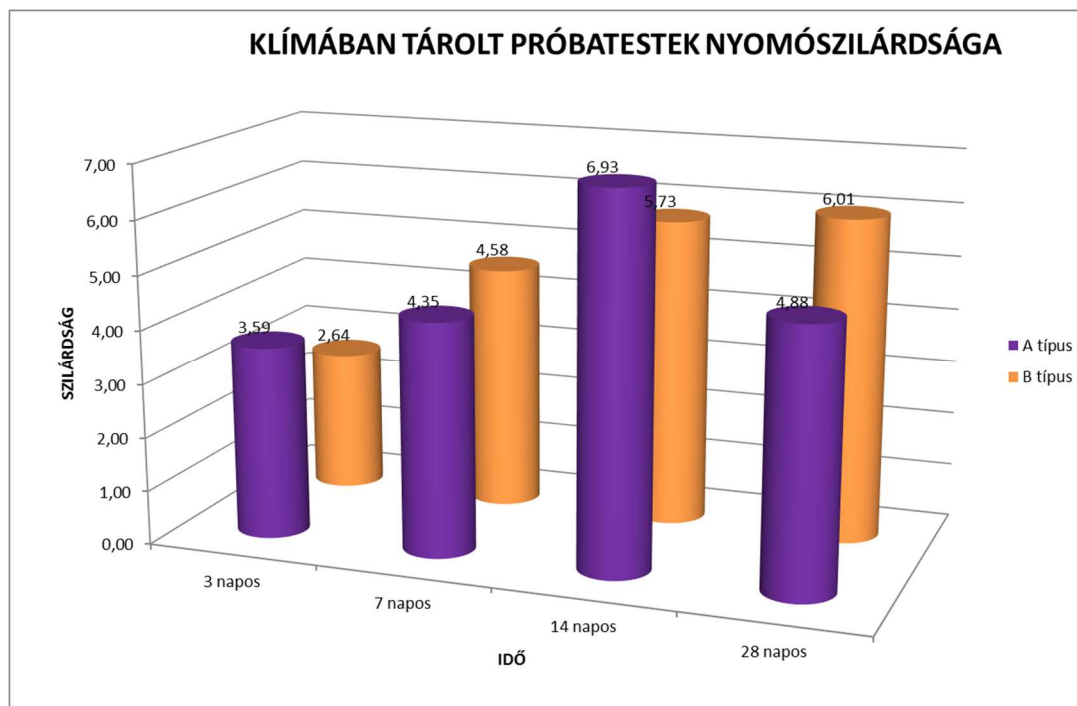
18. ábra: B típus nyomószilárdsága



19. ábra: Száraz próbatetek nyomószilárdsága



20. ábra: Nedves próbatetek nyomószilárdsága



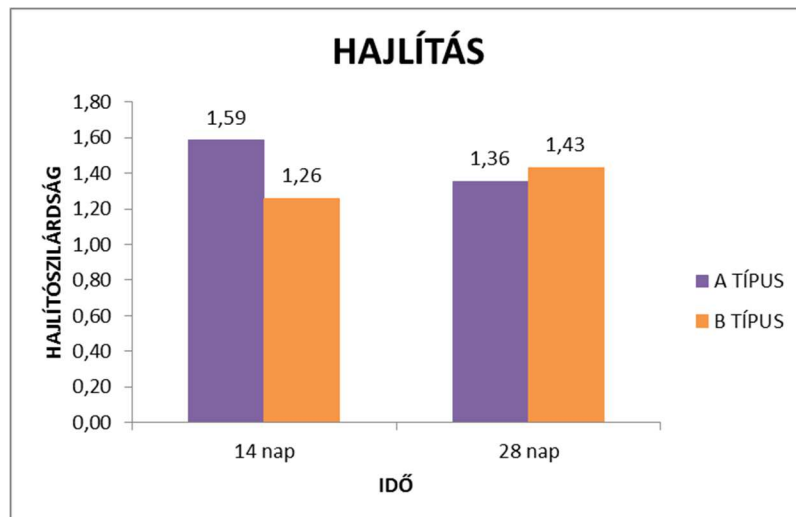
21. ábra: Klímaszobában tárolt próbatetek nyomószilárdsága

13. táblázat: Sósikúti mészkő nyomószilárdsági értéke

		Szilárdság [MPa]
Finom szemű durva mészkő	átlag (szórás)	7,60 (2,53)
Durva szemű durva mészkő	átlag (szórás)	5,56 (2,27)

4.4. Hajlítószilárdság

Ezekből a mérésekből habarcs típusonként csak 2-2 mérést végeztem, mégpedig száraz körülmények között tárolt 14 és 28 napos próbatesteken (14. táblázat). Ebből kifolyólag az eredmény sem lett olyan egyértelmű, mert a kapott szilárdságok alapján nem lehet egyértelműen megállapítani, hogy az A vagy a B típus a jobb. Ezt mutatja a 24. ábra is. Pontosabb eredmények eléréséhez további vizsgálatok elvégzése szükséges.



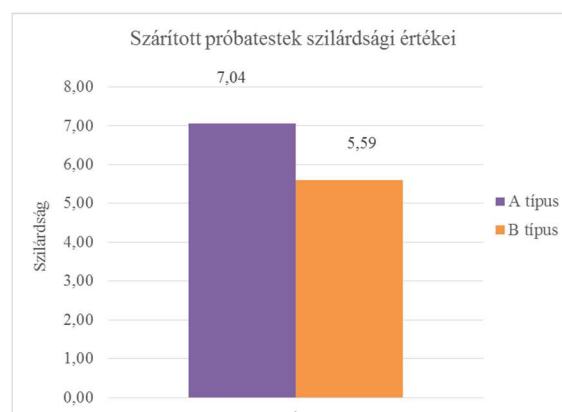
22. ábra: Hajlítószilárdság mérésének eredménye

14. táblázat: Hajlítószilárdság mérésének eredményei

	Durva mészke	Habarcs	
		14 napos	28 napos
Finom szemű	1,34		
Durva szemű	2,04		
A típus		1,59	1,36
B típus		1,26	1,43

4.5. Hővel szembeni ellenállás vizsgálatának eredménye

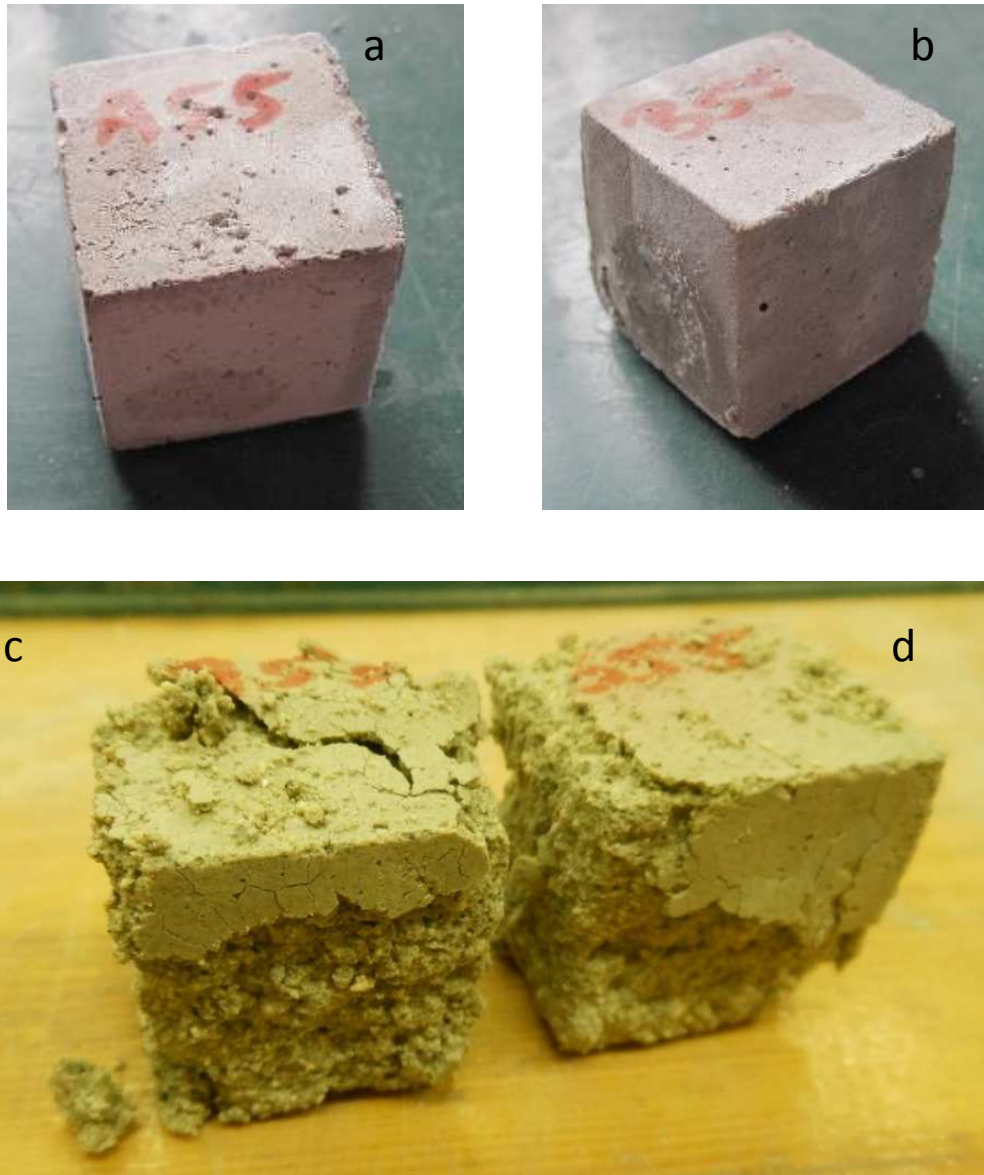
A tömegállandóságig kiszáritott próbatestek szilárdságára (25. ábra) is igaz, hogy az A típus nagyobb teherbírású, mint a B típus. Az kapott értékek a 14 napos száraz próbatestek teherbírási értékéhez állnak a legközelebb, és az összes vizsgált, vízzel telített próbakocka nyomószilárdságánál nagyobb értékeket mutatnak. Megállapítható tehát, hogy, ez a fajta igénybevétel nem rontja jelentősen a keverékek teherbírását.



23. ábra: Szárított próbatestek szilárdsági értékei

4.6. Fagyállóság vizsgálatának eredménye

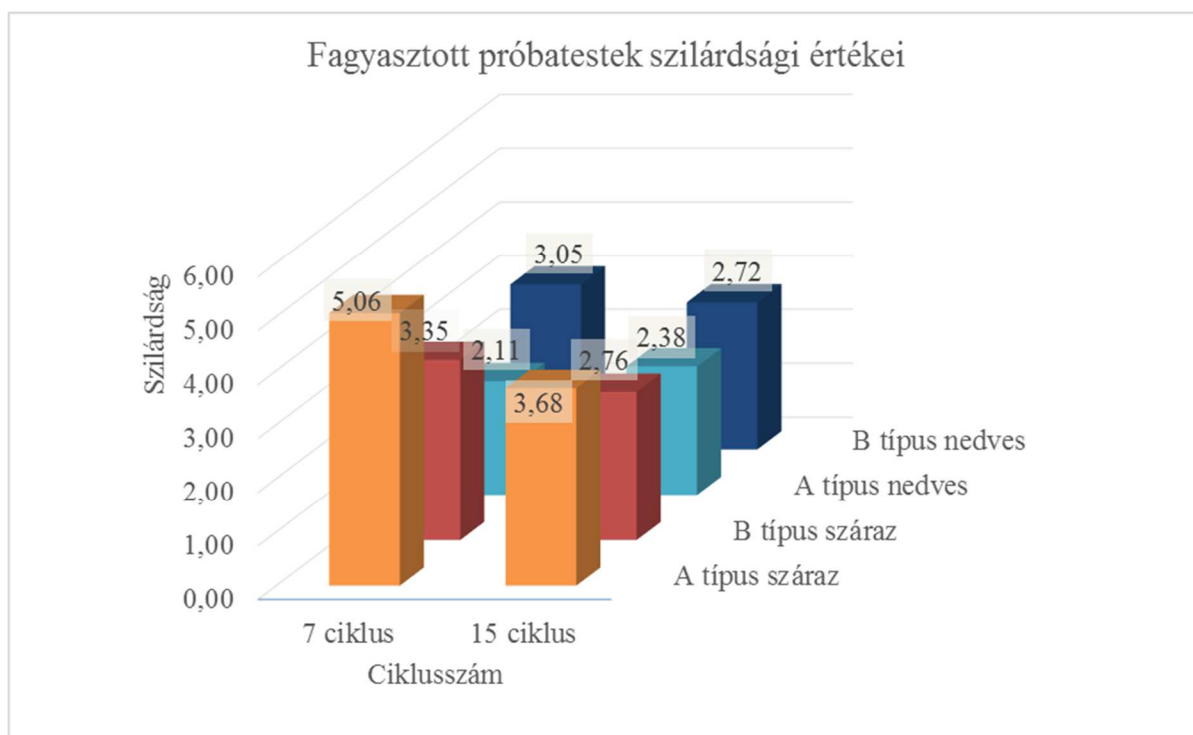
A fagyciklusoknak kitett próbatestek minden esetben teljesen tönkrementek a 30. ciklusra. A vízzel telített próbatestek szilárdsága kisebb, mint a száraz próbatesteken mért értékek (28. ábra), csakúgy, mint a kőzetek esetében. A nedves környezetben tárolt habarcsok esetében a szilárdságcsökkenés magyarázata az lehet, hogy a karbonátosodás folyamata lelassul, azaz a mészhidrát, mint kötőanyag csak kisebb mértékben tud részt vállalni (mint a száraz környezetben tárolt minták esetében), ami szilárdság csökkenést eredményez.



24. ábra: Fagyasztás hatása a kiindulási állapotban száraz próbatesteknél. A típus fagyasztás előtt (a), B típus fagyasztás előtt (b), A típus 30 ciklus után (c), B típus 30 ciklus után (d)



25. ábra: Fagyasztás hatása fagyasztóba kerüléskor vízzel telített próbatesteknél



26. ábra: Fagyasztott próbatestek szilárdsági értékei

5. Következtetések

A laboratóriumi kísérelt sorozataim igazolták, hogy az általam kipróbált habarcs keverékek (A és B típusú) jobb egyezést mutatnak fizikai paramétereikben a durva mészkővel, mint a kereskedelmi forgalomban kapható korábban vizsgált restauráló habarcsok [2]. Az általam összeállított habarcsok mind mechanikai, mind hidrotechnikai, mind pedig időállósági tulajdonságokban nagyobb kompatibilitást mutattak a két eltérő szövetszerkezetű korábban vizsgált durva mészkővel, mint a jelenleg elérhető, előre összeállított, zsákolt anyagok (Terzith, Remmers, Keim).

A habarcsok tulajdonságiról a következő megállapításokat lehet tenni a vizsgálatok alapján:

- az idő előrehaladtával a nyomószilárdság értéke nő, akár szárazon, akár vízzel telítve tároljuk a próbatesteket
- nedves környezetben a karbonátosodási folyamatok háttérbe szorulnak, ezért szilárdságcsökkenés tapasztalható
- a homok hozzáadása javít a habarcs teherbírásán
- a fagyhatás jelentősen rontja a habarcsok teherbírását, hosszabb távon (30 ciklus, azaz hazai viszonylatban már egy átlagosnak mondható téli szezon) pedig teljes tönkremenetelt okoz
- a szárítás nem befolyásolja mértékadóan a habarcsok teherbírását

Természetesen az itt közölt eredmények alapján még nem lehet azt kijelenteni, hogy az általam összeállított habarcsok felhasználása indokolt, vagy előnyösebb, mint a kereskedelmi forgalomban kapható habarcsoké. A vizsgálatok kiszélesítésével és folytatásával, a habarcsok hosszú távú viselkedését, és a tulajdonságok időbeli változását jobban meg tudjuk ismerni. Ez mindenképpen szükséges ahhoz, mielőtt a két vizsgált habarcsból bármelyik típust is gyakorlati felhasználásra. Ezen kívül érdemes további olyan vizsgálatokban gondolkodni, amelyek segítségével a tényleges felhasználás előtt a habarcsok más tulajdonságai is megsimerhetők (pl. a habarcsok sókkal szembeni viselkedése, hőtágulása, páraáteresztése, stb.).

Ezekből a mérési eredményekből és következtetésekből kiindulva továbbgondolható a probléma, és előállítható egy újfajta, hatékony habarcsreceptúra. Ehhez azonban további anyagmodellek, kísérletek és mérések előállítása szükséges, amely szerepel terveim között.

Hivatkozott szabványok

- MSZ EN 1926:2007 Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. Az egyirányú nyomószilárdság meghatározása.
- MSZ EN 12372:2007 Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A hajlítószilárdság meghatározás.
- MSZ EN 1015-1:2007 Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei. Szemcseméret eloszlás meghatározása szitával.
- MSZ EN 1925:2000 Természetes építőkövek vizsgálati módszerei. A kapillaris-vízfelszívási tényező meghatározása
- EN 1015-11:2000 Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei. Az egyirányú nyomószilárdság meghatározása.
- EN 1015-11:2000 Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei. A hajlítószilárdság meghatározás.
- MSZ EN 12371:2010 Természetes építőkövek vizsgálata. A fagyállóság meghatározása (-20 °C - +20 °C)
- MSZ 18284:1979 Falszerkezeti habarcsok vizsgálati módszerei. Anyagsűrűség meghatározása piknométerrel.

Felhasznált irodalom

- [1] Griswold J, Uricheck S (1998) Loss compensation methods for stone. *Journal of the American Institute of Conservation* 37:89–110
- [2] Szemerey-Kiss B. (2013) Műemléki kőkiegészítő habarcsok és a hazai, miocén korú durva mészkövek kompatibilitási feltételei, PhD disszertáció, BME, Építőanyagok és Mérnökgeológiai Tanszék, OMIKK:
http://www.omikk.bme.hu/collections/phd/Epitomernoki_Kar/2013/Szemerey-Kiss_Balazs/ertekezes.pdf
- [3] Szemerey-Kiss B., Török Á. (2012) Műemléki épületek felújításánál használható kőkiegészítő anyagok tartóssága. *Magyar Építőipar* 52:24-30.
- [4] Beck K, Al-Mukhtar M (2008) Formulation and characterization of an appropriate lime based mortar for use with a porous limestone. *Environmental Geology* 56:715–727.
- [5] Szemerey-Kiss B., Török Á. (2011). Time-dependent changes in the strength of repair mortar used in loss compensation of stone. *Environmental Earth Sciences*, 63:1613-1621.

- [6] Isebaert A, Van Parys L, Cnudde V (2014) Composition and compatibility requirements of mineral repair mortars for stone – A review. *Construction and Building Materials* 59:39–50.
- [7] Török Ákos (2008) Építészeti kőanyagok előfordulása és felhasználása a mai Magyarországon területén a XVIII. Századig. *Miskolci Egyetem Közleménye A sorozat*, 74:137-155
- [8] Szemerey-Kiss B., Török Á., Sziártó A. (2014) Alternatív megoldások kőkiegészítő anyagok használatára, *Magyar Építőipar* 58:146-150.
- [9] Kriston L (2000) A kő és falképre Restaurálás alapismeretei. Budapest, MKE, jegyzet pp 113-119.
- [10] www.betonopus.hu
- [11] Papayianni I (2006) The longevity of old mortars. *Applied Physics A* 83:685-688.
- [12] <http://www.calmit.hu/upload/b/b1.pdf>
- [13] http://www.technowato.hu/?wpfb_dl=74
- [14] http://hu.remmers.com/fileadmin/dam/Termek/Muszaki_adatlapok_HU/TM_0750_HU_Rastauriermoertel_2009-09.pdf
- [15] [http://www.keimpaints.co.uk/uploads/tx_keimproducts/ktm/1769/0/KEIM_Restaurator_Top_\(finish_mortar\).pdf](http://www.keimpaints.co.uk/uploads/tx_keimproducts/ktm/1769/0/KEIM_Restaurator_Top_(finish_mortar).pdf)

Mellékletek

10. táblázat: A típusú habarcs kapilláris vízfelszívásának értékei

		A46	A47	A48	A49	A50
kiindulási adatok	a	30,03	30,07	29,89	29,82	29,89
	b	29,52	31,10	30,19	30,19	30,53
	h	29,86	29,78	29,95	30,02	29,80
	m	44,11	45,54	45,36	45,50	45,43
idő [s]	10	45,39	46,63	46,34	46,62	46,54
	20	45,96	47,02	46,79	47,09	46,95
	30	46,39	47,37	47,15	47,47	47,23
	40	46,70	47,63	47,43	47,75	47,55
	50	47,04	47,91	47,64	48,00	47,77
	60	47,25	48,11	47,91	48,21	48,00
	70	47,46	48,30	48,11	48,43	48,23
	80	47,62	48,49	48,32	48,60	48,44
	90	47,78	48,69	48,45	48,78	48,55
	100	47,93	48,85	48,62	48,94	48,73
	110	48,10	49,03	48,77	49,01	48,85
	120	48,22	49,18	48,92	49,25	48,98
	130	48,39	49,36	49,06	49,39	49,12
	140	48,56	49,46	49,20	49,54	49,24
	150	48,69	49,60	49,33	49,67	49,36
	160	48,82	49,77	49,46	49,80	49,46
	170	48,97	49,88	49,61	49,91	49,57
	180	49,09	50,05	49,71	50,02	49,69
	240	49,46	50,44	50,11	50,39	50,03
	360	50,05	51,08	50,75	51,01	50,60
	480	50,59	51,62	51,36	51,52	51,07
780	51,25	52,78	52,44	52,59	52,07	
1380	51,32	52,98	52,70	52,86	52,69	
2280	51,38	53,04	52,74	52,89	52,70	
4080	51,38	53,09	52,81	52,93	52,75	
7680	51,42	53,13	52,79	52,97	52,75	
14880	51,44	53,17	52,87	53,02	52,86	
28800	51,53	53,25	52,89	53,04	52,90	
86400	51,64	53,28	53,00	53,19	52,96	
172800	51,70	53,39	53,05	53,23	53,04	

115. táblázat: B típusú habarcs kapilláris vízfelszívásának értékei

		B46	B47	B48	B49	B50
kiindulási adatok	a	29,82	30,04	30,56	29,73	30,16
	b	29,93	29,95	30,24	30,10	30,10
	h	30,75	30,36	29,99	30,57	30,17
	m	45,71	45,35	45,71	45,20	44,92
idő [s]	10	46,61	46,36	46,70	46,27	45,95
	20	47,05	46,82	47,13	46,69	46,42
	30	47,33	47,08	47,46	47,05	46,74
	40	47,56	47,40	47,74	47,35	47,04
	50	47,88	47,61	47,96	47,64	47,34
	60	48,12	47,83	48,18	47,92	47,52
	70	48,31	48,08	48,37	48,15	47,73
	80	48,50	48,25	48,58	48,35	47,92
	90	48,67	48,33	48,74	48,54	48,08
	100	48,86	48,52	48,92	48,71	48,28
	110	49,02	48,70	49,14	48,89	48,47
	120	49,18	48,80	49,30	49,08	48,62
	130	49,29	48,93	49,46	49,24	48,75
	140	49,40	49,09	49,59	49,38	48,90
	150	49,53	49,19	49,74	49,52	49,03
	160	49,69	49,34	49,91	49,66	49,15
	170	49,80	49,45	50,05	49,80	49,26
	180	49,91	49,56	50,20	49,91	49,39
	240	50,31	50,06	50,56	50,51	49,81
	360	50,89	50,69	51,21	51,18	50,50
	480	51,37	51,18	51,81	51,75	51,09
	780	52,36	52,18	52,84	52,83	52,14
	1380	53,04	52,81	53,40	53,03	52,34
	2280	53,11	52,88	53,46	52,86	52,37
4080	53,15	52,95	53,78	52,88	52,42	
7680	53,23	52,95	53,50	52,92	52,46	
14880	53,24	52,97	53,55	52,96	52,52	
28800	53,29	52,91	53,58	53,09	52,58	
86400	53,39	53,15	53,72	53,13	52,69	
172800	53,45	53,20	53,80	53,21	52,73	

126. táblázat: Nyomószilárdság mérésének eredményei a vizsgált habarcs típusoknál

3 NAPOS SZÁRAZ

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A [mm ²]	V [mm ³]	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A101	30,38	29,82	29,98	48,02	3,37	905,93	27159,83	1768,05	3,72	3,64	1754,57	0,23
A102	30,11	30,80	29,81	48,98	3,25	927,39	27645,44	1771,72	3,50			
A103	30,31	30,60	29,77	48,66	3,08	927,49	27611,26	1762,32	3,32			
A104	30,04	30,95	29,91	48,74	3,50	929,74	27808,46	1752,70	3,76			
A105	29,79	30,28	30,14	46,71	3,53	902,04	27187,52	1718,07	3,91			
B101	29,74	30,75	29,90	47,49	3,17	914,51	27343,70	1736,78	3,47	3,28	1755,51	0,12
B102	29,79	30,10	30,05	47,77	2,84	896,68	26945,20	1772,86	3,17			
B103	29,73	30,70	30,02	48,38	2,92	912,71	27399,58	1765,72	3,20			
B104	29,48	30,91	29,94	47,58	2,96	911,23	27282,13	1744,00	3,25			
B105	29,98	30,68	29,91	48,37	3,04	919,79	27510,81	1758,22	3,31			

3 NAPOS NEDVES

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m (nedves)	F [kN]	A	V	ρ_{nedves}	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A106	29,77	31,07	29,90	53,37	2,58	924,95	27656,12	1929,772	2,79	2,88	1951,37	0,08
A107	29,71	30,76	29,73	53,61	2,69	913,88	27169,64	1973,158	2,94			
A108	29,84	30,60	29,90	53,51	2,57	913,10	27301,81	1959,943	2,81			
A109	29,76	30,43	30,10	52,86	2,62	905,60	27258,46	1939,214	2,89			
A110	29,74	30,81	29,83	53,43	2,71	916,29	27332,91	1954,786	2,96			
B106	29,54	30,89	29,99	52,44	2,32	912,49	27365,59	1916,275	2,54	2,49	1922,47	0,34
B107	29,91	30,24	30,09	52,65	2,62	904,48	27215,76	1934,541	2,90			
B108	29,96	31,05	29,90	53,49	2,54	930,26	27814,71	1923,083	2,73			
B109	30,06	30,49	29,86	52,39	1,92	916,53	27367,57	1914,31	2,09			
B110	30,30	30,49	29,77	52,92	2,03	923,85	27502,93	1924,159	2,20			

3 NAPOS KLÍMA

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
AK15	30,13	30,33	30,73	48,83	3,06	913,84	28082,39	1738,81	3,35	3,59	1776,90	0,19
AK16	30,37	30,10	30,35	49,77	3,25	914,14	27744,06	1793,90	3,56			
AK17	29,95	30,42	30,46	50,09	3,31	911,08	27751,47	1804,95	3,63			
AK18	29,86	30,26	30,02	48,01	3,45	903,56	27124,98	1769,96	3,82			
BK15	30,57	30,04	30,16	49,39	2,30	918,32	27696,62	1783,25	2,50	2,64	1767,52	0,15
BK16	30,44	30,16	29,84	47,83	2,62	918,07	27395,22	1745,92	2,85			
BK17	30,43	30,17	29,87	48,53	2,39	918,07	27422,84	1769,69	2,60			
BK18	30,25	29,79	29,91	47,74	2,35	901,15	26953,32	1771,21	2,61			

7 NAPOS SZÁRAZ

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A11	29,82	30,20	29,79	45,85	5,12	900,56	26827,80	1709,05	5,69	5,88	1707,25	0,20
A12	29,88	30,02	29,89	45,72	5,11	897,00	26811,26	1705,25	5,70			
A13	30,13	29,82	30,10	46,41	5,48	898,48	27044,15	1716,08	6,10			
A14	30,10	29,89	29,83	45,97	5,27	899,69	26837,72	1712,89	5,86			
A15	30,09	30,35	30,05	46,46	5,55	913,23	27442,61	1692,99	6,08			
B11	29,94	29,46	30,27	45,43	3,96	882,03	26699,12	1701,55	4,49	4,35	1686,88	0,20
B12	29,80	29,52	30,28	45,13	3,55	879,70	26637,19	1694,25	4,04			
B13	30,07	29,57	30,30	45,91	3,90	889,17	26941,85	1704,04	4,39			
B14	29,77	29,71	30,23	45,39	3,80	884,47	26737,43	1697,62	4,30			
B15	30,31	29,07	30,52	44,02	4,01	881,11	26891,53	1636,95	4,55			

7 NAPOS NEDVES

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m (nedves)	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A16	30,06	29,86	30,22	53,18	3,03	897,59	27125,22	1960,54	3,38	3,38	1951,99	0,09
A17	30,02	30,02	30,53	53,33	3,13	901,20	27513,65	1938,31	3,47			
A18	30,18	30,27	30,41	53,78	3,17	913,55	27781,01	1935,85	3,47			
A19	30,27	30,41	30,04	54,54	3,05	920,51	27652,14	1972,36	3,31			
A20	29,97	30,23	30,08	53,22	2,96	905,99	27252,27	1952,86	3,27			
B16	30,41	29,84	30,58	53,39	2,41	907,43	27749,34	1924,01	2,66	2,72	1912,89	0,07
B17	29,89	30,31	30,09	51,66	2,39	905,97	27260,51	1895,05	2,64			
B18	29,77	29,96	30,05	51,68	2,46	891,91	26801,87	1928,22	2,76			
B19	29,79	30,39	30,01	52,13	2,48	905,32	27168,60	1918,76	2,74			
B20	29,81	30,90	30,20	52,81	2,57	921,13	27818,10	1898,40	2,79			

7 NAPOS KLÍMA

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
AK1	29,25	29,85	29,56	46,26	3,86	873,11	25809,21	1792,38	4,42	4,35	1777,63	0,07
AK2	29,29	29,49	29,52	45,32	3,79	863,76	25498,26	1777,38	4,39			
AK3	29,67	29,60	29,66	46,24	3,78	878,23	26048,36	1775,16	4,30			
AK4	30,10	29,51	29,58	46,39	3,80	888,25	26274,46	1765,59	4,28			
BK1	29,82	29,35	30,35	46,14	3,93	875,22	26562,84	1737,01	4,49	4,58	1746,48	0,11
BK2	29,51	29,21	29,96	45,65	4,03	861,99	25825,13	1767,66	4,68			
BK3	30,01	29,23	29,74	45,32	4,10	877,19	26087,70	1737,22	4,67			
BK4	30,26	29,10	30,22	46,41	3,95	880,57	26610,70	1744,03	4,49			

14 NAPOS SZÁRAZ

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A111	29,71	30,85	29,76	46,12	5,92	916,55	27276,63	1690,82	6,46	6,94	1697,23	0,40
A112	29,66	30,56	29,84	46,08	6,61	906,41	27047,26	1703,68	7,29			
A113	29,66	30,40	29,99	46,01	6,68	901,66	27040,90	1701,50	7,41			
A114	29,70	30,09	29,81	45,13	6,09	893,67	26640,39	1694,04	6,81			
A115	29,70	30,55	29,80	45,86	6,08	907,34	27038,58	1696,09	6,70			
B111	30,67	30,29	29,91	45,53	4,92	928,99	27786,22	1638,58	5,30	5,56	1631,12	0,29
B112	29,80	30,41	29,88	43,74	4,87	906,22	27077,79	1615,35	5,37			
B113	30,08	30,17	29,91	44,43	5,08	907,51	27143,73	1636,84	5,60			
B114	29,83	30,31	29,68	43,96	5,45	904,15	26835,09	1638,15	6,03			
B115	30,17	30,23	29,88	44,33	5,00	912,04	27251,73	1626,69	5,48			

14 NAPOS NEDVES

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m (nedves)	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A116	29,75	30,02	30,02	53,41	5,09	893,10	26810,71	1992,11	5,70	5,50	1961,34	0,24
A117	30,22	30,16	30,11	53,59	4,85	911,44	27443,31	1952,75	5,32			
A118	29,89	30,19	29,87	52,64	4,86	902,38	26954,06	1952,95	5,39			
A119	29,71	30,45	29,83	52,77	5,25	904,67	26986,29	1955,44	5,80			
A120	30,20	30,34	29,89	53,50	4,84	916,27	27387,25	1953,46	5,28			
B116	30,08	30,54	29,93	53,48	3,91	918,64	27494,99	1945,08	4,26	4,77	1949,56	0,38
B117	30,24	30,27	29,88	53,12	4,1	915,36	27351,10	1942,15	4,48			
B118	29,61	30,68	29,78	52,58	4,54	908,43	27053,19	1943,58	5,00			
B119	29,64	31,05	29,81	52,78	4,6	920,32	27434,80	1923,83	5,00			
B120	29,61	30,47	29,74	53,48	4,62	902,22	26831,92	1993,15	5,12			

14 NAPOS KLÍMA

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
AK10	30,02	30,57	30,63	46,54	6,38	917,71	28109,50	1655,67	6,95	6,93	1675,05	0,28
AK11	30,12	30,44	29,93	46,07	6,12	916,85	27441,40	1678,85	6,68			
AK12	30,70	30,25	30,39	47,11	6,59	928,68	28222,43	1669,24	7,10			
AK13	30,27	30,78	30,41	47,88	6,80	931,71	28333,32	1689,88	7,30			
AK14	30,66	30,27	30,98	48,35	6,17	928,08	28751,86	1681,63	6,65			
BK10	30,53	30,43	29,67	44,90	5,20	929,03	27564,26	1628,92	5,60	5,73	1653,86	0,44
BK11	30,65	29,77	29,39	44,51	5,17	912,45	26816,92	1659,77	5,67			
BK12	30,44	29,99	30,29	45,58	4,89	912,90	27651,61	1648,37	5,36			
BK13	30,29	29,68	29,75	44,22	4,99	899,01	26745,46	1653,36	5,55			
BK14	30,36	29,79	29,57	44,90	5,88	904,42	26743,83	1678,89	6,50			

28 NAPOS SZÁRAZ

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A01	29,98	30,72	30,07	46,22	6,00	920,99	27694,04	1668,95	6,51	7,43	1708,99	0,57
A02	29,93	30,51	29,82	46,78	7,17	913,16	27230,56	1717,92	7,85			
A03	29,95	30,85	29,82	47,34	6,69	923,96	27552,41	1718,18	7,24			
A04	29,94	30,23	29,93	46,38	7,00	905,09	27089,23	1712,12	7,73			
A05	29,89	30,28	29,80	46,60	7,07	905,07	26971,06	1727,78	7,81			
B01	30,16	30,53	30,61	47,38	4,05	920,78	28185,22	1681,02	4,40	5,08	1661,41	0,43
B02	30,45	30,69	30,68	47,23	4,68	934,51	28670,78	1647,32	5,01			
B03	30,13	30,61	30,52	46,64	4,85	922,28	28147,96	1656,96	5,26			
B04	30,07	31,26	30,49	47,11	4,87	939,99	28660,24	1643,74	5,18			
B05	30,28	30,40	30,37	46,91	5,12	920,51	27955,95	1678,00	5,56			

28 NAPOS NEDVES

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m (nedves)	F [kN]	A	V	ρ nedves [kg/m ³]	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A06	29,80	30,51	29,97	54,20	4,96	909,20	27248,66	1989,088	5,46	5,44	1980,10	0,09
A07	29,78	30,40	30,01	53,51	4,79	905,31	27168,41	1969,567	5,29			
A08	29,84	30,13	29,79	53,28	4,88	899,08	26783,57	1989,279	5,43			
A09	29,86	30,17	29,91	52,79	4,93	900,88	26945,21	1959,161	5,47			
A10	29,84	29,89	29,95	53,25	4,94	891,92	26712,93	1993,417	5,54			
B06	29,79	30,93	30,72	55,31	3,15	921,40	28305,55	1954,034	3,42	3,92	1946,62	0,30
B07	30,43	29,96	30,96	54,20	3,86	911,68	28225,70	1920,236	4,23			
B08	30,88	30,37	30,81	55,58	3,71	937,83	28894,41	1923,556	3,96			
B09	30,47	30,11	30,35	54,33	3,7	917,45	27844,66	1951,182	4,03			
B10	30,22	28,50	30,19	51,59	3,4	861,27	26001,74	1984,098	3,95			

28 NAPOS KLÍMA

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
AK5	29,53	28,86	29,47	46,13	4,35	852,24	24595,53	1875,54	5,10	4,88	1857,20	0,51
AK6	29,42	29,32	28,83	45,69	3,73	862,59	25291,27	1806,55	4,32			
AK7	29,74	29,07	29,40	46,25	3,92	864,54	25132,23	1840,27	4,53			
AK8	29,42	28,67	29,64	46,32	4,05	843,47	24182,33	1915,45	4,80			
AK9	29,66	29,25	29,29	46,90	4,89	867,56	25375,98	1848,20	5,64			
BK5	29,93	28,86	29,33	46,01	5,28	863,78	24928,69	1845,66	6,11	6,01	1858,61	0,45
BK6	29,39	28,96	29,76	45,64	4,47	851,13	24648,85	1851,61	5,25			
BK7	29,24	28,92	29,88	45,48	5,05	845,62	24455,35	1859,72	5,97			
BK8	29,46	28,28	29,58	44,50	5,34	833,13	23560,88	1888,72	6,41			
BK9	29,85	29,21	30,02	47,05	5,48	871,92	25468,74	1847,36	6,28			

220 NAPOS SZÁRAZ

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A144	30,05	30,52	29,67	46,25	5,36	917,13	27990,69	1652,34	5,84	5,49	1655,60	0,25
A145	30,46	30,86	29,91	47,38	5,25	940,00	29008,26	1633,33	5,59			
A146	29,85	29,72	30,01	45,14	4,82	887,14	26365,86	1712,06	5,43			
A147	30,51	30,71	29,67	46,85	5,05	936,96	28774,11	1628,20	5,39			
A148	30,13	30,27	29,94	45,61	4,73	912,04	27607,30	1652,10	5,19			
B144	29,27	29,61	29,85	43,12	3,36	866,68	25662,53	1680,27	3,88	4,22	1636,59	0,26
B145	29,64	30,35	29,88	43,66	3,66	899,57	27302,07	1599,15	4,07			
B146	29,69	29,73	29,81	42,95	3,73	882,68	26242,19	1636,68	4,23			
B147	29,60	29,98	29,96	43,96	4,02	887,41	26604,49	1652,35	4,53			
B148	29,95	29,8	29,63	42,94	3,93	892,51	26596,80	1614,48	4,40			

365 NAPOS SZÁRAZ

	a [mm]	b [mm]	h [mm]	m [g]	F [kN]	A	V	ρ	σ	σ átlag	ρ átlag	σ szórás
A122	29,74	30,04	29,71	46,21	6,22	893,39	26837,42	1721,85	6,96	6,09	1695,55	0,65
A123	29,71	30,20	29,66	46,02	5,66	897,24	27096,71	1698,36	6,31			
A124	30,08	30,53	29,85	47,47	5,78	918,34	28036,99	1693,12	6,29			
A126	29,68	30,34	29,62	46,23	5,00	900,49	27320,90	1692,11	5,55			
A128	29,68	30,72	29,79	46,84	4,51	911,77	28009,56	1672,29	5,35			
B122	29,56	30,33	29,58	44,59	4,73	896,55	27192,51	1639,79	5,28	4,99	1646,22	0,23
B123	29,52	30,49	29,60	45,33	4,63	900,06	27442,98	1651,79	5,14			
B124	29,60	30,68	29,80	45,25	4,39	908,13	27861,37	1624,11	4,83			
B126	29,61	30,14	29,84	44,59	4,19	892,45	26898,30	1657,73	4,69			
B128	29,64	30,28	29,79	45,05	4,48	897,50	27176,28	1657,70	4,99			

13. táblázat: Hajlítószilárdság mérésének eredményei

14 NAPOS

	a	b	h	m	F	A	V	ρ	τ	Átlag
A07	39,84	40,72	159,10	437,60	0,632	1622,28	258105,51	1695,43	1,44	1,59
A08	39,70	41,18	158,98	435,34	0,684	1634,85	259907,82	1674,98	1,52	
A09	39,76	40,82	160,37	438,01	0,757	1623,00	260281,02	1682,83	1,71	
A10			eltört					eltört		
A11	39,89	40,47	161,73	430,51	0,729	1614,35	261088,55	1648,90	1,67	
B07	39,77	38,60	160,03	409,61	0,535	1535,12	245665,57	1667,35	1,35	1,26
B08	39,61	38,98	160,39	411,26	0,516	1544,00	247641,81	1660,71	1,29	
B09	39,89	39,70	160,40	426,84	0,422	1583,63	254014,73	1680,37	1,01	
B10	39,90	39,81	158,94	428,29	0,530	1588,42	252463,32	1696,44	1,26	
B11	39,67	39,64	158,71	419,96	0,580	1572,52	249574,46	1682,70	1,40	

28 NAPOS

	a	b	h	m	F	A	V	ρ	τ	Átlag
A01	40,02	39,93	159,50	427,93	0,568	1598,00	254880,78	1678,94	1,34	1,36
A02	40,06	39,78	159,66	429,44	0,652	1593,59	254432,07	1687,84	1,54	
A03	40,02	39,65	159,72	430,39	0,625	1586,79	253442,58	1698,18	1,49	
A04	39,99	42,08	160,64	433,97	0,558	1682,78	270321,65	1605,38	1,18	
A05	39,57	41,33	161,10	421,29	0,553	1635,43	263467,47	1599,02	1,23	
B01	40,08	40,97	159,84	423,58	0,618	1642,08	262469,68	1613,82	1,38	1,43
B02	40,10	41,56	159,79	432,36	0,605	1666,56	266298,98	1623,59	1,31	
B03	39,97	40,55	159,82	427,66	0,580	1620,78	259033,62	1650,98	1,32	
B04	40,03	38,64	159,59	424,26	0,624	1546,76	246847,30	1718,71	1,57	
B05	39,97	39,51	161,39	426,80	0,661	1579,21	254869,46	1674,58	1,59	

148. táblázat: Fagyállóság vizsgálata 7 ciklus esetén

7 ciklus
Száraz

	a	b	h	m		F	A	V	ρ	σ	Átlag
				10.30	11.01						
A31	29,97	30,37	29,96	45,80	53,84	4,47	910,19	27269,26	1974,38	4,91	5,06
A32	30,32	29,96	30,11	45,90	53,54	4,36	908,39	27351,54	1957,48	4,80	
A33	30,31	29,85	30,06	45,86	53,57	4,84	904,75	27196,89	1969,71	5,35	
A34	30,18	30,16	30,09	46,04	53,69	4,61	910,23	27388,78	1960,29	5,06	
A35	30,18	30,09	30,37	46,50	54,37	4,72	908,12	27579,49	1971,39	5,20	
B31	30,63	29,82	29,78	45,23	53,27	3,10	913,39	27200,65	1958,41	3,39	3,35
B32	29,92	30,14	30,14	45,59	53,57	2,99	901,79	27179,91	1970,94	3,32	
B33	30,46	29,96	29,86	45,62	53,40	2,83	912,58	27249,69	1959,66	3,10	
B34	30,38	30,01	30,13	46,24	53,99	2,99	911,70	27469,64	1965,44	3,28	
B35	30,56	29,94	30,01	46,36	54,32	3,35	914,97	27458,14	1978,28	3,66	

7 ciklus
Nedves

	a	b	h	m								Átlag	
				10.17	10.18	10.20	10.22	10.24	10.25	10.28	10.30		11.01
A36	30,59	29,88	30,23	47,53	53,92	54,13	54,20	54,44	54,39	54,32	54,30	54,82	2,11
A37	30,76	30,23	30,23	48,53	54,48	54,68	54,73	54,96	54,94	54,82	54,82	55,31	
A38	30,95	30,16	30,13	47,75	54,29	54,42	54,48	54,70	54,71	54,60	54,57	55,11	
A39	30,27	30,40	30,15	46,58	53,01	53,25	53,28	53,51	53,53	53,44	53,34	53,77	
A40	30,33	30,12	30,11	47,25	53,72	53,88	54,01	54,24	54,25	54,17	54,08	54,52	
B36	31,48	29,99	30,03	46,87	53,75	53,94	54,01	54,27	54,29	54,18	54,11	54,63	3,05
B37	30,44	29,90	30,46	46,26	52,88	53,01	53,07	53,29	53,27	53,21	53,13	53,56	
B38	30,63	29,63	30,09	46,53	53,02	53,19	53,32	53,55	53,56	53,42	53,39	53,75	
B39	30,38	29,64	29,90	45,95	52,50	52,67	52,77	53,00	52,99	52,90	52,85	53,22	
B40	30,52	29,65	30,70	46,90	53,65	53,82	53,90	54,15	54,13	54,06	53,98	54,28	
							F	A	V	ρ	σ	Átlag	
							1,91	914,03	27631,10	1984,00	2,09	2,11	
							1,98	929,87	28110,12	1967,62	2,13		
							1,99	933,45	28124,91	1959,47	2,13		
							1,83	920,21	27744,27	1938,06	1,99		
							2,02	913,54	27506,68	1982,06	2,21		
							2,92	944,09	28350,88	1926,92	3,09	3,05	
							2,71	910,16	27723,35	1931,95	2,98		
							2,81	907,57	27308,69	1968,24	3,10		
							2,78	900,46	26923,85	1976,69	3,09		
							2,72	904,92	27780,98	1953,85	3,01		

19. táblázat: Fagyállóság vizsgálata 15 ciklus esetén

15 ciklus		Nedves												
	a	b	h	m				F	A	V	ρ	σ	Átlag	
				10.15	10.16	10.17	10.22							
A21	30,44	30,80	29,99	51,24	53,42	53,59	54,97	2,18	937,55	28117,18	1955,03	2,33	2,38	
A22	29,95	30,61	30,13	51,01	53,50	53,60	54,15	2,64	916,77	27622,27	1960,38	2,88		
A23	30,11	30,37	30,37	52,05	53,81	53,88	54,75	1,90	914,44	27771,56	1971,44	2,08		
A24	29,96	30,33	30,33	51,05	53,23	53,31	54,07	1,99	908,69	27560,47	1961,87	2,19		
A25	29,90	30,75	30,75	51,56	53,26	53,47	54,48	2,24	919,43	28272,32	1926,97	2,44		
B21	30,18	31,38	29,85	48,09	54,09	54,23	54,77	2,57	947,05	28269,39	1937,43	2,71	2,72	
B22	30,71	29,86	30,57	47,29	53,42	53,56	53,87	2,37	917,00	28032,71	1921,68	2,58		
B23	29,91	30,17	30,24	46,71	52,32	52,42	52,57	2,66	902,38	27288,11	1926,48	2,95		
B24	30,10	30,47	30,32	47,74	53,86	54,04	54,33	2,56	917,15	27807,90	1953,76	2,79		
B25	29,95	30,20	30,06	46,79	52,78	53,00	53,52	2,32	904,49	27188,97	1968,45	2,56		

15 ciklus		Száras												
	a	b	h	m			F	A	V	ρ	σ	Átlag		
				10.17	10.22									
A26	30,16	30,57	29,98	47,92	53,75	3,34	921,99	27641,30	1944,55	3,62	3,68			
A27	29,95	30,32	29,95	47,82	53,29	3,14	908,08	27197,12	1959,40	3,46				
A28	30,01	29,63	30,21	46,43	52,61	3,30	889,20	26862,62	1958,48	3,71				
A29	30,20	30,41	30,17	47,40	53,62	3,60	918,38	27707,58	1935,21	3,92				
A30	29,94	30,57	30,16	47,98	53,15	3,36	915,27	27604,42	1925,42	3,67				
B26	29,87	30,50	30,03	45,57	52,81	2,50	911,04	27358,38	1930,30	2,74	2,76			
B27	29,89	30,21	29,94	45,83	52,90	2,50	902,98	27035,13	1956,71	2,77				
B28	29,67	29,49	30,02	44,80	51,88	2,45	874,97	26266,55	1975,14	2,80				
B29	30,09	30,09	29,99	45,97	53,19	2,51	905,41	27153,19	1958,89	2,77				
B30	30,18	30,63	30,05	46,62	53,89	2,51	924,41	27778,62	1939,98	2,72				

150. táblázat: Fagyállóság vizsgálata 30 ciklus esetén

30 ciklus		Nedves						
	a	b	h	m			F	
				10.19	10.22	11.01		
A120	30,20	30,34	29,89	48,22	53,45	-	-	
B120	29,61	30,47	29,74	48,60	52,79	-	-	

30 ciklus		Száras					
	a	b	h	m		F	
				10.22	11.01		
A55	30,22	30,77	29,73	46,46	-	-	
B55	29,86	29,82	30,16	44,25	-	-	