



MANNVIT



LÁGHITASEMENT

LOKASKÝRSLA

SKJALANÚMÉR: MV 2017-007						
NÚGILDANDI ÚTGÁFA: 1.03						
ÚTGÁFA	DAGS. ÚTG	ÚTGÁFUSTAÐA	HÖFUNDUR	RÝNIR	SAMÞYKKT	VERKKAUPI
1.03	03.05.2017	Kóp.	GG	Sv.Sv.		Já
1.02	11.04.2017	Kóp.	GG	Sv.Sv.	Já	
1.01	29.03.2017	Kóp.	GG	Sv.Sv.	XX	N/A

Efnisyfirlit

1. Inngangur	3
2. Steypublöndur	4
3. Prófanir.....	4
4. Niðurstöður prófana	5
4.1 Mælingar á ferskri steypu.....	5
4.2 Mælinga á rúmpýngd og þrýstistyrk.....	6
4.3 Varmamyndun	6
4.4 Niðurstöður úr frostþolsprófunum.....	7
5. Samantekt	9
Viðauki A - Blönduhönnun seinni serían.....	A-1
Viðauki B - Varmamyndun í steypublöndum	B-1

Myndaskrá

Mynd 1. Hitamyndun í brúarsteypu..	4
Mynd 2. Þrýstistyrkur teiknaður upp á móti rúmpýngd.....	10



Töfluskrá

Tafla 1. Prófsteypur og prófanir	5
Tafla 2. Mælingar á ferskri steypu – fyrri serían	5
Tafla 3. Mælingar á ferskri steypu – seinni serían.....	5
Tafla 4. Meðaltal þrýstistyrks, litlir sívalningar..	6
Tafla 5. Heildarvarmamyndun, ásamt τ_e og α	7
Tafla 6. Loftdreifing í fyrri steypuseríu.	8
Tafla 7. Loftdreifing í seinni steypuseríu.....	8
Tafla 8. Niðurstöður úr frostþolsprófunum, fyrri steypusería..	8
Tafla 9. Niðurstöður úr frostþolsprófunum, seinni steypusería..	9

Titilblað

Skjalaheiti:	Skýrslu númer: MV 2017-007	Útgáfudagur: 03.05.2017	Útgáfunúmer: 1.03
---------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Lághitasemet	Upplag: pdf
	Fjöldi síðna: 10 + viðaukar

Höfundur/ar: Gísli Guðmundsson	Verkefnisstjóri (undirskrift): 
	Yfirfarið (undirskrift): 

Verkkaupi: Vegagerðin	Tengiliður verkkaupa: Gylfi Sigurðsson
Samstarfsaðilar:	

Útdráttur: <p>28 daga þrýstistyrkur er um 52 MPa í blöndum með Hólabrúarefni með engri flugösku og 20 % flugösku, um 42 MPa í blöndu með 30 % flugösku og um 33 MPa í blöndu með 20 % flugösku og Harðakambsefni. Styrkur þessara blandna eykst um 10 MPa þegar blöndurnar eru prófaðar 90 daga gamlar. Samband milli þrýstistyrks og rúmþyngdar er nokkuð gott, þar sem þrýstistyrkurinn eykst með aukinni rúmþyngd. Blandan með 30 % flugösku sker sig nokkuð úr og er styrkurinn nokkur lægri en línulegt samband gæfi. Þrýstistyrkur og rúmþyngd steypu með Harðakambsefni er nokkru lægri en hjá steypu með Hólabrúarefni. Hitamyndunin er mest í sýni án flugösku og hitamyndunin minnkar síðan með flugöskumagninu. Niðurstöður frostþolsprófananna eru háðar sementsgerðinnisem og fylliefninu. Frostþol 28 daga sýna með Hólabrúarefni og engri flugösku sem og 20 % flugösku um 1 kg/m², eða við efri mörk sem sett eru til frostþols steinsteypu. Steypan með 30 % flugösku mælist með 6,7 kg/m² flögnun. Að lokum er frostþol steypu með Harðakambsefni mjög gott, eða um 0,2 kg/m². Frostþolið eykst hjá öllum blöndunum við það að harðna í 90 daga, í stað 28 daga.</p>
Efnisorð: Lághitasement, flugaska, frostþol, hitamyndun, aldur

Dreifing:

Opin öllum starfsmönnum
(Rafræn í bóksafni)

Lokuð
(Engin dreifing nema með leyfi verkkaupa)

1. Inngangur

Í framkvæmdastaðlinum ÍST EN 13670 og Model Code 2010 Final Draft eru settar fram körfur um hámarkshita í steypu á kvörnunarstiginu. ÍST EN 13670 miðar við að steypuhiti sé ≤ 70 °C og Model Code 2010 gerir ráð fyrir að ≤ 65 °C. Í ÍST EN 13670 gr. 8.5 segir: „Hámarkshiti í steinsteypu í byggingarhluta sem er í votu eða síendurteknu votu umhverfi má ekki fara yfir 70 °C með þeirri samsetningu efna, sem notuð er, nema annað sé tekið fram og gögn lögð fram sem sýna að hærra hitastig muni ekki hafa nein skaðleg áhrif á notagildi steypunnar“, einnig segir, að "Ef nýleg steypa verður fyrir háu hitastigi er hættu á síðbúinni myndun "ettringits" (efni sem myndast í Portlandsementsefju við efnahvörf milli kalsíumalúminats og kalsíumsúlfats) háð rakastigi og steypublöndunni sjálfri (alkalíinnihaldi, efnasamsetningu sementsins, notkun íauka o.s.frv.)".

Í Model Code 2010 gr. 5.1.10 segir: „Note that it is useful to limit the temperatur range to 65 °C during the hydration process (very young concrete) in order to avoid the delayed formation of ettringite in hardened concrete.“ Í Alverk 1995 eru hámarkshita hins vegar engin takmörk sett, þannig að líkindum hefur ekki verið reynt að takmarka hann.

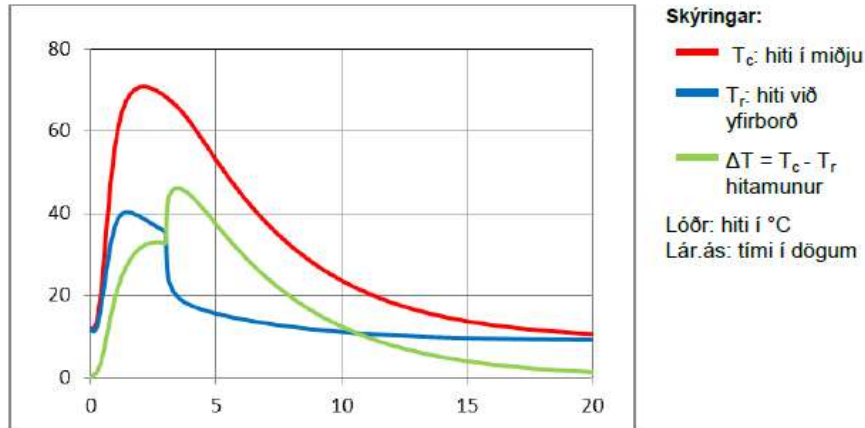
Þegar unnið var að framkvæmdum við brúna við Hvítá við Bræðratungu árið 2012 sýndu mælingar, gerðar af eftirlitsaðilanum VSÓ, að hitastig í miðjum brúarstöpli hafi farið upp í eða hámarksgildin sem tilgreind eru í ÍST EN 13670 og Model Code 2010, sjá mynd Mynd 1. Nauðsynlegt er að taka fram, að þrátt fyrir að hitastigið hafi í þessu tilviki farið upp í eða yfir tilgreind mörk hefur ekki orðið vart, við að mannvirkið hafi hlotið skaða af.

Krafan um áðurnefndan hámarkshita er sett fram í áðurnefndum stöðlum og leiðbeiningum og fjölmörgum öðrum virtum heimildum, sem taka verður alavarlega. Grundvallaratriðið til þess að reyna að uppfylla kröfurnar er að nota sement með lága hitamyndun, en þegar það dugir ekki til þarf að nota kæslilöngur eða kalt vatn í sementið og svo að reyna að forðast mikla steypumassa. Í ljósi reynslunnar er ekki álitlegt að minnka sementsmagnið.

Ef gengið er út frá því, að Vegagerðin muni hér eftir leitast við að uppfylla áðurnefndar kröfur um hámarkshita í steypu, er nauðsynlegt að rannsaka hvort flugöskublönduð sement uppfylli aðrar kröfur svo sem um flögnun í frost/þíðuprófum. Ferlið fyrir frost/þíðupróf á 28 daga gömlum sýnum, ásamt undirbúningi er langt í 4 mánuði, þannig að það er óraunhæft að setja fram kröfur um hitamyndun í verklýsingum án þess að rannsaka hvað raunhæfir kostir séu í boði.

Markmið með þessu verki er að kanna frostþol og varmamyndun í steinsteypu með flugöskusementi. Byggt verður á reynslu norsku Vegagerðarinnar að svo miklu leyti sem það er mögulegt. Annars vegar verður notað Anlegg FA-sement (með 20 % flugösku) og 4 % kísilryki og hins vegar Anlegg sement með viðbættri flugösku, þannig að heildarmagn flugösku verði 30 % og 4 % kísilryk. Til samanburðar verði blanda með Anleggssementi. Gengið er út frá því að notuð verði algeng íslensk fylliefni. Þegar búið verður að þróa steypublöndurnar m.a. með stöðugu loftkerfi verður hitamyndun og frostþol ákvarðað.

Verkefnið er styrkt af Vegagerðinni. Niðurstöður þessarar skýrslu ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar.



Mynd V160-a: Stöpull 1,6 m á þykkt.

Myndin sýnir hitamyndun í 1,6 m þykkum brúarstöpli, annars vegar í miðju og hins vegar við yfirborð. Steypa var lögð niður 12°C. Mót voru fjarlægð 3 sólarhringum eftir niðurlögn, sbr. brot í ΔT ferlinum. (Óskynsamlegt er að fjarlægja mót svo snemma í þessu tilfalli, en var gert til samanburðar við önnur dæmi). Max hitamunur $\Delta T = 46^\circ\text{C}$. Útihiti er 9°C .

Mynd 1. Hitamyndun í brúarsteypu. Mynd frá Gylfa Magnússyni (2012)¹.

2. Steypublöndur

Í þessari rannsókn voru útbúnar fjórar steypublöndur, þrjár með fylliefni frá Hólabrú í Hvalfirði (HÓ) og ein með fylliefni frá Harðakambi á Snæfellsnesi (HK). Blönduhlutföllin voru þau sömu, dæmigerð brúarsteypa með v/s-hlutfall 0,4 með um 400 kg/m³ af bindiefni og í áreitissflokki XF4. Viðmiðunarsteypa (HÓ-A-4) var steypst með norsku Anlegg sementi, með 4 % viðbættu kísilryki. Síðan voru steyptar tvær steypur með flugösku sementi, annars vegar með Standard FA (með 20 % flugösku) og 4 % viðbættu kísilryki (HÓ-FA-01) og hins vegar Anlegg sement með 30 % af viðbættir flugösku og 4 % af viðbættu kísilryki (HÓ-FA-30-3). Þessar þrjár steypur voru steypst með fylliefni frá Hólabrú. Að lokum var ein steypa steypst með Standard FA (með 20 % flugösku) og 4 % viðbættu kísilryki og með fylliefni frá Harðakamb (HK-FA-2). Sementstegundirnar tvær, flugaskan og kísilrykið eru frá Norcem AS. Nánari lýsing á einstökum steypublöndum eru gefnar í A-1.

Þegar búið var að steypa allar prófsteypurnar og prófanir byrjaðar komu gallar í blönduhönnuninni í ljós og ákveðið var að endursteypa allar blöndurnar og hefja prófanir að nýju. Fyrri steypurnar eru nefndar fyrri steypusería og endursteypurnar eru nefndar seinni steypusería. Ástæða fyrir þessu voru mistök við ákvörðun á rakainnihaldi fylliefna. Ákveðið var að halda þeim prófunum gangandi sem þegar voru hafnar. Vegna þessara mistaka varð loftdreifing léleg í steypunum í fyrri seríunni (sjá Tafla 6) og tiltölulega mikil rýrnun átti sér stað í nokkrum blöndum. Niðurstöður þeirra mælinga sem haldið var áfram með á sýnum úr fyrri seríunni eru birtar í þessari skýrslu, þótt þær hafa litla praktíska þýðingu.

3. Prófanir

Yfirlit yfir prófsteypur og helstu prófanir er að finna í Tafla 1. Fyrir utan þær prófanir sem listaðar eru upp í Tafla 1 var rúmþyngd, sigmál og loftmagn ákvarðað í ferskri steypu. Þrýstistyrkur var ákvarðaður á 28 og 90 daga gömlum sýnum, en auk þrýstistyrks var rúmþyngd mæld samtímis á sömu sýnum. Hitamyndun var mæld samkvæmt NT Build 388. Loftmagnið og dreifing þess var ákvörðuð í harðnaðri

¹ Gylfi Magnússon (2012). Hörðnun steypu. Áhrif steypuhita á steypuspennur. VSÓ/Vegagerðin.

steypu samkvæmt ASTM C 457 aðferð B. Frostþol var mælt á 28 og 90 daga gömlum sýnum samkvæmt SS 137244.

Tafla 1. Prófsteypur og prófanir

	Steypudagur	Þrýstistyrkur	Hitamyndun	Lofttaling	Frostþíða
Fyrri steypusería					
HÓ-A-4	9.8.2016	x		x	x
HÓ-FA-1	26.5.2016	x		x	x
HÓ-FA-30	5.8.2016	x		x	x
HK-FA-2	2.6.2016	x		x	x
Seinni steypusería					
HÓ-A-4 (2)	28.9.2016	x	x	x	x
HÓ-FA-1-2 (2)	5.10.2016	x	x	x	x
HÓ-FA-30-3-2	28.9.2016	x	x	x	x
HK-FA-2-2 (2)	5.10.2016	x	x	x	x

4. Niðurstöður prófana

4.1 Mælingar á ferskri steypu

Í Tafla 2 og Tafla 3 eru gefnar upp rúmþyngd, sigmál og loftmagni í ferskri steypu í bæði fyrri og seinni seríunni. Í blöndu HÓ-A-4 var sigmálið 70 mm en sigmál hinna blandanna var á bilinu frá 140 til 270 mm. Þar sem sigmálskeila er 300 mm að lengd er ljóst að flestar blöndurnar hafa verið vel fljótandi. Loftmagnið var á bilinu 3 til 5 % í fyrri seríunni og 5,2 til 7,6 % í seinni seríunni.

Tafla 2. Mælingar á ferskri steypu – fyrri serían

	Steypudagur	Rúmþyngd, kg/m ³	Sigmál, mm	Loftmagn, %
HÓ-A-4	09.08.2016		70	5,0
HÓ-FA-1	26.05.2016		265	4,4
HÓ-FA-30-3	05.08.2016		255	4,8
HK-FA-2	02.06.2016		250	3,0

Tafla 3. Mælingar á ferskri steypu – seinni serían

	Steypudagur	Rúmþyngd, kg/m ³	Sigmál, mm	Loftmagn, %
HÓ-A-4 (2)	28.09.2016	2434	265	7,0
HÓ-FA-1-2 (2)	05.10.2016	2461	140	5,2

HÓ-FA-30-3-2	28.09.2016	2381	270	7,6
HK-FA-2-2 (2)	05.10.2016	2373	190	6,0

4.2 Mælinga á rúmþyngd og þrýstistyrk

Í Tafla 4 er gefin upp rúmþyngd (hörðnuð sýni) og þrýstistyrkur fyrri og seinni steypusería, hjá bæði 28 og 90 daga gömlum sýnum. Eins og sjá má er styrkur fyrri seríunnar töluvert hærri en seinni seríunnar. Athygli verkur að styrkur HK-FA-2-2 er töluvert lægri en HÓ-FA-1-2. Eini munurinn á þessum blöndum er HK-FA-2-2 er með Harðakambs fylliefni en HÓ-FA-2-2 er með Hólabergs fylliefni. Milli 28 og 90 daga þá eykst þrýstistyrkurinn milli 16 og 25 % miðað við 28 daga þrýstistyrk.

Tafla 4. Meðaltal þrýstistyrks, litlir sívalningar. Fjöldi mælinga innan sviga.

	Steypudagur	Dags. prófunar	Aldur, dagar	Rúmþyngd, kg/m ³	Þrýstistyrkur, MPa	Þrýstistyrks breyting milli 28d og 90d, %
Fyrri steypusería						
HÓ-A-4 (3)	9.8.2016	6.9.2016	28	2,553	75,5	10,5
HÓ-A-4-4 (1)	9.8.2016	7.11.2016	90	2,534	83,4	
HÓ-FA-1 (3)	26.5.2016	23.6.2016	28	2,532	64,8	13,9
HÓ-FA-1 (1)	26.5.2016	24.8.2016	90	2,526	73,8	
HÓ-FA-30 (3)	5.8.2016	2.9.2016	28	2,552	59	19,1
HÓ-FA-30-3-4 (1)	5.8.2016	3.11.2016	90	2,542	70,3	
HK-FA-2 (3)	2.6.2016	30.6.2016	28	2,479	48,9	3,9
HK-FA-2 (3)	2.6.2016	31.8.2016	90	2,485	50,8	
Seinni steypusería						
HÓ-A-4 (2)	28.9.2016	26.10.2016	28	2,461	51,8	24,3
HÓ-A-4 (2)	28.9.2016	27.12.2016	90	2,461	64,4	
HÓ-FA-1-2 (2)	5.10.2016	2.11.2016	28	2,473	53,3	15,8
HÓ-FA-1-2 (2)	5.10.2016	3.1.2017	90	2,480	62,2	
HÓ-FA-30-3-2	28.9.2016	26.10.2016	28	2,439	41,9	22,2
HÓ-FA-30-3	28.9.2016	27.12.2016	90	2,437	51,2	
HK-FA-2-2 (2)	5.10.2016	2.11.2016	28	2,371	33,4	24,8
HK-FA-2-2 (2)	5.10.2016	3.1.2017	90	2,393	41,7	

4.3 Varmamyndun

Varmamyndun var mæld í blöndum úr seinni seríunni. Varmamyndunin var mæld samkvæmt NT Build 388. Hitamyndunin var mæld í s.k. „Haybox“ kaloríumæli (e. calorimeter). Haybox varmamyndun er framkvæmd þannig að steypu sýni er komið fyrir í einangruðu rými. Síðan hitnar sýnið upp þegar steypan byrjar að hvarfast og kólnar svo niður þegar hvörfuninni er lokið. Hitastig steypunnar, sem

kjarnahiti, er skráð reglulega sem og umhverfishiti. Verulegur varmi tapast út um hliðar kalóríumælisins og hefur það áhrif á prófunina. Við ákvörðun á varmamynduninni þarf að taka tillit til kólnuninnar og er það gert með s.k. kælitölu. Kælitalan er einkennandi fyrir sérhvern kalóríumæli. Hitastigsprófunin er notuð til þess að ákvarða varmamyndunina í sérhverju sýnin ásamt blönduhlutföllum, samkvæmt NT Build 388. Varmamyndunin er gefin upp sem kJ/kg bindiefni. Síðan er varmamyndunin felldar að jöfnunni:

$$Q(M20) = Q_{\infty} \exp(-(\tau_e / M20)^{\alpha}) \quad (1)$$

þar sem

$Q(M20)$: Varmamyndun samkvæmt líkani (kJ/kg sement) miðað við 20 °C

Q_{∞} : Heildarvarmi þegar τ_e stefni á hið óendanlega (kJ/kg sement)

M20: Jafngildistími miðað við 20 °C

τ_e : breyta

α : breyta

Q_{∞} , og breyturnar τ_e og α eru notaðar til þess að fella ferilinn að reiknaða ferlinum fyrir varmamyndunina. Gildin fyrir þessa stuðla eru gefin í Tafla 5. Eins og búast mátti við er mesta hitamyndunin hjá blöndu HÓ-A-4 (2), en blandan er án flugösku. Steypur HÓ-FA-1-2- (2) og HK-FA-2-2 (2) eru 20 % flugösku og varmamyndunin er svipuð í þeim steypum, þótt stuðlarnir τ_e og α séu nokkuð frábrugðnir milli blandanna. Blanda HÓ-FA-30-3-2 sem er með 30 % flugösku er með minnstu varmamyndunina.

Tafla 5. Heildarvarmamyndun, ásamt τ_e og α fyrir steypublöndurnar fjórar.

	HÓ-A-4 (2)	HÓ-FA-1-2- (2)	HK-FA-2-2 (2)	HÓ-FA-30-3-2
Q_{∞} (kJ/kg sement)	300	280	280	220
τ_e	14,0	23,0	18	14,0
α	0,85	0,80	1,2	0,95

Varmamyndunin fyrir hverja blöndu eru einnig gefnar í B-1. Eins og sjá má í B-1 er jafngildistíminn gegnum gangandi frekar lágur, liggur á milli 100 og 200 tímar, eðlilegra hefði verið að gildið væri um 300 tímar. Ástæða fyrir því er líklega sú að kalóríumælirinn tapar of miklum hita í sérhverri mælingu og efnahvörfin í steypu sýnunum ná ekki að hvarfast fullkomlega. Einnig sveiflast mæliniðurstöðurnar verulega, sem væntanlega má skýra með tiltölulega miklu hitatapi.

4.4 Niðurstöður úr frostþolsprófunum

Vanalega er miðað við að steypa sé frostþolin ef loftmagnið er meira en 5 %, fjarlægðarstuðullinn ætti ekki að vera stærri en 0,2 til 0,25 mm og einkennandi yfirborði lofbóla ætti ekki að vera minna en en 20 til 25 mm⁻¹. Frostflögnun sýnanna var ákvörðuð samkvæmt prófunaraðferðinni SS 137244, þar sýni eru prófuð með 3 % saltlausn og yfirborðsflögnun er mæld eftir 7, 14, 28, 42 og 56 umferðir. Ein frost/þíðuumferð tekur 24 tíma. Í Alverk 95 er miðað við að steypusýni teljist veðrunarþolin ef flögnunin er minni en 0,5 kg/m2 eftir 28 umferðir.

Í Tafla 6 og Tafla 7 eru niðurstöður á greiningu lofdreifingar í sýnunum. Í Tafla 6 eru niðurstöður úr fyrri seríunni og í Tafla 7 eru niðurstöður úr seinni seríunni. Miðað við kröfur til frostþolinnar steypu er ljóst að allar blöndurnar í fyrri seríunni eru ekki frostþolnar. Steypublöndurnar í seinni seríunni með betri lofdreifingu með tilliti til frostþols en aðeins ein þeirra er með lofdreifingu sem uppfyllir ofangreind viðmið.

Tafla 6. Loftdreifing í fyrri steypuseríu.

	Loftmagn í ferskri steypu, %	Talið loft, %	Fjarlægðarstuðull, mm	Yfirborð loftbóla, mm ⁻¹
HÓ-A-4	5,0	6,9 (2,8)	0,46	9
HÓ-FA-1	4,4	3,9 (1,7)	0,59	9
HÓ-FA-30-3	4,8	3,9 (2,6)	1,01	5
HK-FA-2	3,0	2,4	0,64	11

Tafla 7. Loftdreifing í seinni steypuseríu.

	Loftmagn í ferskri steypu, %	Talið loft, %	Fjarlægðarstuðull, mm	Yfirborð loftbóla, mm ⁻¹
HÓ-A-4 (2)	7,0	5,3	0,27	17
HÓ-FA-1-2 (2)	5,2	5,4	0,32	15
HÓ-FA-30-3-2	7,6	7,5	0,23	16
HK-FA-2-2 (2)	6,0	4,6	0,20	27

Í töflu Tafla 8 eru niðurstöður úr þeim frostþolsprófunum sem voru gerðar á sýnum úr fyrri steypuseríunni. Eins og búast mátti við komu sýnin illa út úr prófununum og féllu öll 28 daga sýnin og 90 daga sýnin HÓ-A-4-4 og HÓ-FA-1 á prófuninni.

Tafla 8. Niðurstöður úr frostþolsprófunum, fyrri steypusería, flögnun (kg/m²). Fjöldi prófhuta per sýni er gefinn upp innan sviga.

	Aldur, dagar	Loft, % (ferskt/hörðnuð)	7 umferðir	14 umferðir	28 umferðir	42 umferðir	56 umferðir
HÓ-A-4 (3)*	28	7,0/6,9	0,30	1,29	1,39	1,55	1,65
HÓ-A-4-4 (1)	90	7,0/6,9	Ekki prófað				
HÓ-FA-1 (3)	28	5,2/3,9	0,51	1,04	1,97	3,03	4,60
HÓ-FA-1 (1)	90	5,2/3,9	0,36	0,97	1,53	Hætt	
HÓ-FA-30 (3)	28	7,6/3,9	2,99	3,73	6,04	Hætt	
HÓ-FA-30-3-4 (1)	90	7,6/3,9	Ekki prófað				
HK-FA-2 (3)	28	6,0/2,4	0,27	0,69	1,38	2,26	3,05
HK-FA-2 (3)	90	6,0/2,4	Ekki prófað				

*ein sneiðin mælist með 0,49 kg/m² flögnun eftir 56 umferðir

Í Tafla 9 eru niðurstöður úr þeim frostþolsprófunum sem voru gerðar á sýnum úr seinni steypuseríunni. Niðurstöður úr sýnum HÓ-A-4-2, HÓ-FA-1-2, HÓ-FA-1-2 voru nokkuð dreifðar. Þar sem að meðaltalsgildi eru birt í Tafla 9 er líklega dregið úr þessu misræmi, en engu að síður eru þetta óvanalegt. Ekki var kannað hvað mögulega gat valdið þessu misræmi.

28 daga gamalt sýni HK-FA-2-2 stenst prófunina, 28 daga sýni HÓ-A-4-2 og HÓ-FA-1-2 er alveg við mörkin og 28 daga sýni HÓ-FA-30-3-2 kolfellur. Frostþolið eykst (flögnunin minnkar) hjá 90 daga sýnunum miðað við 28 daga sýnin og aðeins sýni HÓ-FA-30-3-2 fellur á prófuninni.

Tafla 9. Niðurstöður úr frostþolsprófunum, seinni steypusería, flögnun (kg/m²). Meðaltöl mælinga á þremur prófhlutum (sneiðum) per sýni.

	Aldur, dagar	Loft, % (ferskt/hörðnuð)	7 umferðir	14 umferðir	28 umferðir	42 umferðir	56 umferðir
HÓ-A-4 (2)	28	7,0/5,3	0,22	0,35	0,54	0,75	1,00*
HÓ-A-4 (2)	90	7,0/5,3	0,05	0,09	0,15	0,21	0,30
HÓ-FA-1-2 (2)	28	5,2/5,4	0,39	0,51	0,73	0,81	0,98**
HÓ-FA-1-2 (2)	90	5,2/5,4	0,16	0,27	0,39	0,56	0,77***
HÓ-FA-30-3-2	28	7,6/7,5	1,60	2,60	4,00	5,49	6,72
HÓ-FA-30-3-2	90	7,6/7,5	0,42	0,60	1,16	1,93	2,77
HK-FA-2-2 (2)	28	6,0/4,6	0,15	0,19	0,22	0,22	0,23
HK-FA-2-2 (2)	90	6,0/4,6	0,22	0,25	0,26	0,27	0,27

*ein sneiðin mælist með 0,49 kg/m² flögnun eftir 56 umferðir

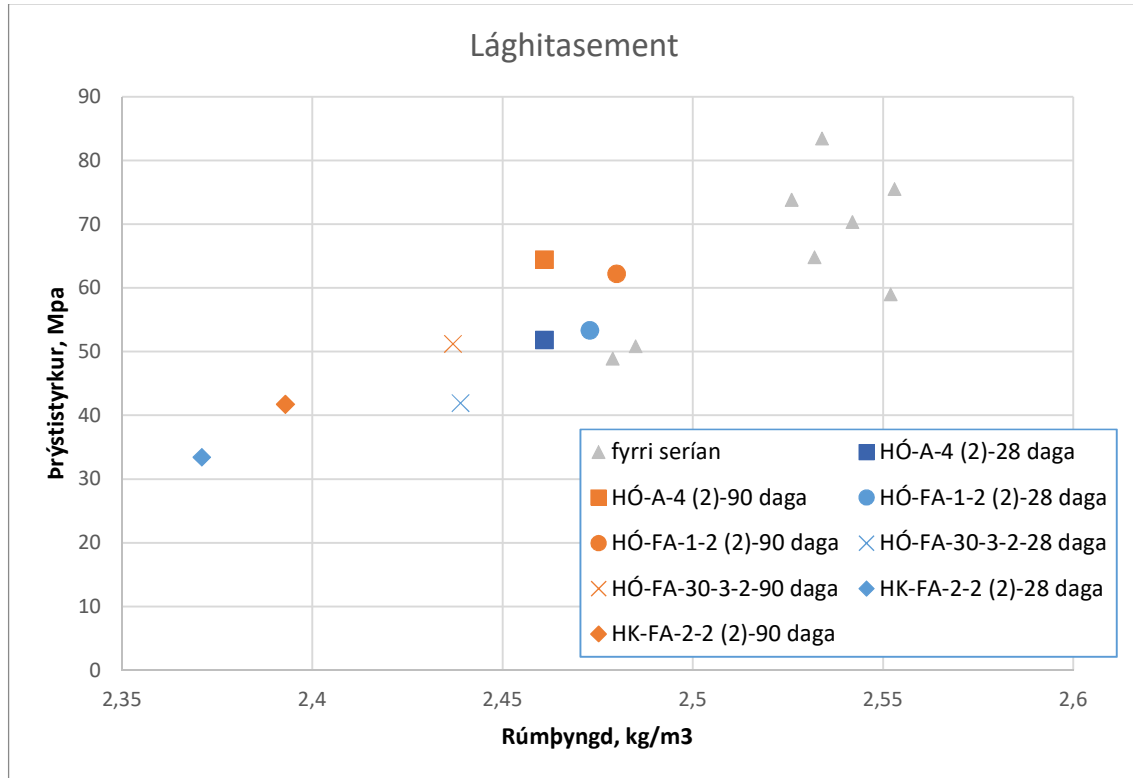
**ein sneiðin kemur vel út með 0,32 kg/m² flögnun eftir 56 umferðir

***nokkurt frávik milli sneiða (56d: 0,38;1,20;0,73)

5. Samantekt

Frostþolsprófanir voru gerðar á steypum með þremur mismunandi sementstegundum. Um var að ræða sement með 20 og 30 % flugösku og til viðmiðunar sement án flugösku. Allar steypublöndurnar voru með 4 % viðbætt kísilryk. Sementið með 20 % flugösku var framleitt með flugösku og sementið með 30 % flugösku var allt með viðbættri flugösku. Allar sementstegundirnar voru steypar með Hólabrúarfylliefni og ein blanda með 20 % flugösku var steypd með Harðakambsfylliefni. Að öðru leiti voru blönduhlutföllin þau sömu og miðað var við að vatns/bindiefnahlutfallið væri um 0,4.

28 daga þrýstistyrkur er um 52 MPa í blöndum með Hólabrúarefni með engri flugösku og 20 % flugösku, um 42 MPa með 30 % flugösku og um 33 MPa í blöndu með 20 % flugösku og Harðakambsefni. Segja má að fyrir allar þessar blöndur að styrkurinn eykst um 10 MPa þegar blöndurnar eru prófaðar 90 daga gamlar, óháð sementsgerð og fylliefni. Á Mynd 2 er sýnt sambandi á milli þrýstistyrks og rúmpýngdar. Eins og sjá má virðist sambandið vera línulegt og nokkuð gott, þar sem þrýstistyrkurinn eykst með aukinni rúmpýngd. Blanda HÓ-FA-30-3-2 sker sig nokkuð úr og er styrkurinn nokkuð lægri en línulegt samband gæfi. Einnig má sjá á Mynd 2 að steypur úr fyrri seríunni passa ágætlega við niðurstöður úr seinni seríunni. Steypurnar tvær úr fyrri seríunni sem eru með lægstan styrk og lægstu rúmpýngd eru með Harðakambsefni og 20 % flugösku. Því má vera ljóst að þrýstistyrkur og rúmpýngd steypu með Harðakambsefni er nokkru lægri en hjá steypu með Hólabrúarefni. Í ljósi þessara niðurstæðna með frostþol steypublandna með Harðakambsefnið þá er það áhugavert að blöndur með því mældust með lægstan þrýstistyrk og lægstu rúmpýngdina.



Mynd 2. Þrýstistyrkur teiknaður upp á móti rúmþyngd fyrir bæði 28 og 90 daga blöndur, sem og blöndur úr fyrri seríunni. Samband á milli rúmþyngdar og þrýstistyrks er nokkuð gott, þar sem þrýstistyrkurinn eykst með aukinni rúmþyngd.

Hitamyndunin er mest í sýni án flugösku og hitamyndunin minnkar síðan með flugöskumagninu.

Niðurstöður frostþolsprófananna eru mjög háðar sementsgerðinni, en einnig fylliefninu. Allar steypublöndurnar í seinni seríunni eru með þokkalega loftdreifingu með tilliti til frostþols. Fyrir 28 daga sýnin þá er frostþol sýna með Hólalbrúarefni og engri flugösku sem og 20 % flugösku um 1 kg/m², eða við efri mörk sem sett eru til frostþols steinsteypu. Steypan með 30 % flugösku mælist með 6,7 kg/m² flögnun, en það er langt yfir þeim mörkum sem sett eru varðandi frostþol. Að lokum er frostþol steypu með Harðakambsefni mjög gott, eða um 0,2 kg/m². Frostþolið eykst hjá öllum blöndunum við það að harðna í stöðluðu umhverfi í 90 daga, í stað 28 daga. Steypur með Hólalbrúarefni án flugösku mælist með 0,3 kg/m² flögnun og steypa með 20 % flugösku með 0,8 kg/m². Blandan með 30 % flugösku og Hólalbrúarefni mælist núna með um 3 kg/m², þótt frostþolið hafi aukist verulega er þetta verulega mikil flögnun. Steypan með Harðakambsefni er með svipa flögnun og áður eða um 0,3 kg/m².

Viðauki A - Blönduhönnun seinni serían



Test mix Results

Mix ID

Hólabrú Anlegg - 4

Project
Efni til innþéttingar sprungna í slitlagi brúa
Client
Vegagerðin
Name
Dr. Gísli Guðmundsson
Subject
2. endurteking blöndu

Project no.
7.009.316

Date
28.09.2016
Signature
SvSv

Specification			Material properties		Estimated	Actual
Environment class	XF4/ Freeze-thaw attack		Cement [kg/m ³]		400	398
Strength class	C35/45	Slump class	S3	Water [kg/m ³]	160	161
Min. cement [kg/m ³]	400	Air [%]	6.0	W/c-ratio	0.40	0.40
Max. w/c-ratio	0.40	Chloride cl.	Cl 0,2	Binder [kg/m ³]	400	398

Notes

Mæla hitastig, sigmál, rúmpyngd, loft og raka (örbylgjuburrkun), varmamyndun.
Steypa prófhliuti: 6 stk. 100x200mm sív., 2 stk. 150x300mm sív.

Proportion

Binder	Class	Equivalent cement	Density [kg/m ³]	Proportion [w. %]	[kg]	Batch [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
Anlegg Norcem		1.00	3140	96.0	19.20	0.122	382
Flugaska		1.00	2400				
Kísilryk		1.00	2200	4.0	0.80	0.007	16
Water					6.660	0.156	156

Aggregates	Moisture [w. %]	ASS [m ² /kg]	Abs. water [%]	Density [kg/m ³]	Proportion (moist agg.) [v. %]	[kg]	Batch (SSD) [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
Hólabrú 0-3	7.90	6.89	3.80	2840	4	3.84	0.026	74
Hólabrú 0-8	5.60	3.64	2.90	2900	59	57.07	0.382	1107
Hólabrú 8-16	1.60	0.31	2.90	2900	37	34.44	0.239	694

Admixtures

	Dry residue [w. %]	Density [kg/m ³]	Proportion [w. % pow.]	[kg]	Batch [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
Kemloft KBL	1.00	1010	0.01	0.002	0.000	0.04
Kemplast K99	35.50	1155				
Kemflot KK120	18.50	1040	1.56	0.312	0.006	6.21

Fibres

	Density [kg/m ³]	Proportion [kg]	Batch [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
Total			122.32	1.007

Total

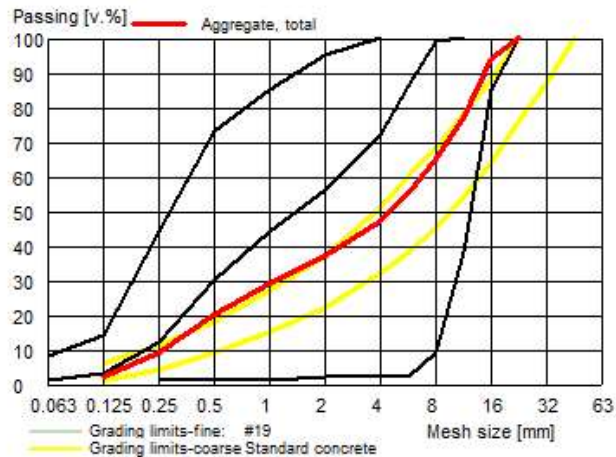
122.32 1.007 2434

Measurements

	Estimated	Actual
Density [kg/m ³]	2444	2434
Slump [mm]	140	265
Air [%]	6.0	7.0
Temperature [°C]	21	23
Cyl. strength [MPa]	45.2	
Total moisture [w. %]	9.57	9.65

Characteristics

	Estimated	Actual
Paste + Air [v. %]	35.0	36.1
Filler <0.25 mm [kg/m ³]	573	571
WRI	0.830	0.803
ASS [m ² /kg]	2.54	2.54
K.boI.S [MPa]	32.0	
Batch [m ²]	0.050	0.050



ComPose5.03
MANNVIT/KI

File name :
Holabrublanda-3 anlegg.opm

Last printed :
29.9.2016 - 10:34



Test mix Results

Mix ID
Hólabrú FA 1-2

Project
Efni til innþettingar sprungna í slitlagi brúa
Client
Vegagerðin
Name
Dr. Gísli Guðmundsson
Subject
2. blanda af Hólabrú FA 1

Project no.
7.009.316
Date
5.10.2016
Signature
SvSv

Specification			Material properties		Estimated	Actual
Environment class	XF4/ Freeze-thaw attack		Cement [kg/m ³]		400	405
Strength class	C35/45	Slump class	S3	Water [kg/m ³]	158	161
Min. cement [kg/m ³]	400	Air [%]	6.0	W/c-ratio	0.40	0.40
Max. w/c-ratio	0.40	Chloride cl.	Cl 0,2	Binder [kg/m ³]	400	405

Notes *Raki í örbylgju: 9,55% => v/(s+k) = 0,40*

Proportion

Binder	Class	Equivalent cement	Density [kg/m ³]	Proportion [w. %]	[kg]	Batch [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
Standard FA	CEM III/B-M	1.00	3140	96.0	19.20	0.129	389
Kísilryk		1.00	2200	4.0	0.80	0.007	16
Water					6.570	0.156	156

Aggregates	Moisture [w. %]	ASS [m ³ /kg]	Abs. water [%]	Density [kg/m ³]	Proportion (moist agg.) [v. %]	[kg]	Batch (SSD) [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
Hólabrú 0-3	7.90	6.89	3.80	2840	4	3.81	0.026	74
Hólabrú 0-8	5.60	3.64	2.90	2900	59	56.71	0.386	1119
Hólabrú 8-16	1.60	0.31	2.90	2900	37	34.22	0.242	702

Admixtures

	Dry residue [w. %]	Density [kg/m ³]	Proportion [w. % pow.]	[kg]	Batch [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
Kemloft KBL	1.00	1010	0.02	0.003	0.000	0.06
Kemplast K99	35.50	1155				
Kemflot KKI20	18.50	1040	1.35	0.270	0.005	5.47

Fibres

	Density [kg/m ³]	Proportion [kg]	Batch [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
--	------------------------------	-----------------	---	----------------------

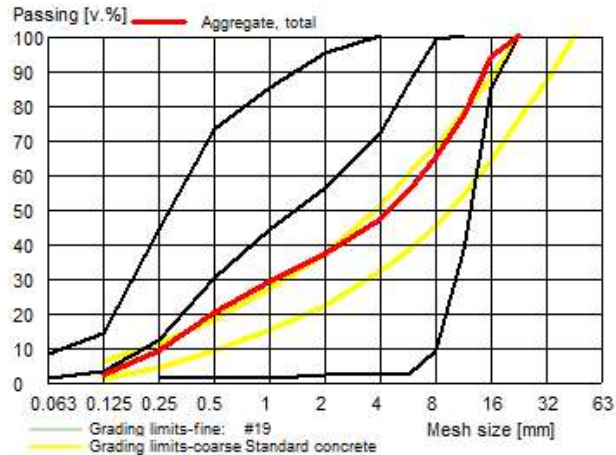
Total **121.58** **1.004** **2461**

Measurements

	Estimated	Actual
Density [kg/m ³]	2431	2461
Slump [mm]	140	140
Air [%]	6.0	5.2
Temperature [°C]	22	24
Cyl. strength [MPa]	42.7	
Total moisture [w. %]	9.55	9.57

Characteristics

	Estimated	Actual
Paste + Air [v. %]	35.4	35.0
Filler <0.25 mm [kg/m ³]	572	579
WRI	0.820	0.812
ASS [m ³ /kg]	2.54	2.54
K.bol.S [MPa]	30.0	
Batch [m ³]	0.050	0.049





Test mix Results

Mix ID

Hólabrú FA 30 - 3-2

Project
Efni til innþéttingar sprungna í slitlag brúa
Client
Vegagerðin
Name
Dr. Gísli Guðmundsson
Subject
2. blanda af Hólabrú FA 30 - 3

Project no.
7.009.316

Date
28.09.2016
Signature
SvSv

Specification			Material properties		Estimated	Actual
Environment class	XF4/ Freeze-thaw attack		Cement [kg/m ³]		400	395
Strength class	C35/45	Slump class	S3	Water [kg/m ³]	160	160
Min. cement [kg/m ³]	400	Air [%]	6.0	W/c-ratio	0.40	0.40
Max. w/c-ratio	0.40	Chloride cl.	Cl 0,2	Binder [kg/m ³]	400	395

Notes

Mæla hitastig, sigmál, rúmpyngd, loft og raka (örbylgjuburrkun), varmamyndun.
Steypa prófhliuti: 6 stk. 100x200mm sív., 2 stk. 150x300mm sív.

Proportion

Binder	Class	Equivalent cement	Density [kg/m ³]	Proportion [w. %]	[kg]	Batch [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
Anlegg Norcem		1.00	3140	66.0	13.20	0.083	261
Flugaska		1.00	2400	30.0	6.00	0.049	119
Kísilryk		1.00	2200	4.0	0.80	0.007	16
Water					6.650	0.154	154

Aggregates	Moisture [w. %]	ASS [m ² /kg]	Abs. water [%]	Density [kg/m ³]	Proportion (moist agg.) [v. %]	[kg]	Batch (SSD) [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
Hólabrú 0-3	7.90	6.89	3.80	2840	4	3.76	0.025	71
Hólabrú 0-8	5.60	3.64	2.90	2900	59	55.97	0.372	1078
Hólabrú 8-16	1.60	0.31	2.90	2900	37	33.77	0.233	676

Admixtures

	Dry residue [w. %]	Density [kg/m ³]	Proportion [w. % pow.]	[kg]	Batch [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
Kemloft KBL	1.00	1010	0.02	0.004	0.000	0.08
Kemplast K99	35.50	1155				
Kemflot KKI20	18.50	1040	1.73	0.346	0.007	6.84
Froðueyðir	1.00	1000				

Fibres

	Density [kg/m ³]	Proportion [kg]	Batch [m ³ /m ²]	[kg/m ²]
--	------------------------------	-----------------	---	----------------------

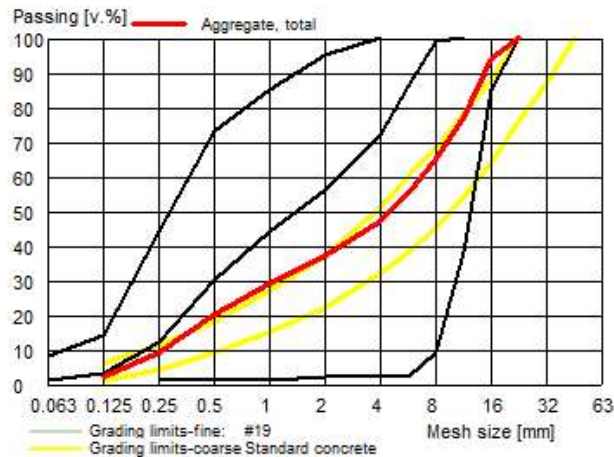
Total **120.50** **1.006** **2381**

Measurements

	Estimated	Actual
Density [kg/m ³]	2409	2381
Slump [mm]	140	270
Air [%]	6.0	7.6
Temperature [°C]	21	23
Cyl. strength [MPa]	42.3	
Total moisture [w. %]	9.68	9.76

Characteristics

	Estimated	Actual
Paste + Air [v. %]	36.3	37.6
Filler <0.25 mm [kg/m ³]	570	563
WRI	0.831	0.804
ASS [m ² /kg]	2.54	2.54
K.bol.S [MPa]	30.0	
Batch [m ²]	0.050	0.051





Project
Efni til innþéttingar sprungna í slitlagi brúa.
Client
Vegagerðin
Name
Dr. Gísli Guðmundsson
Subject
2. blanda af Harðikambur FA 2

Project no.
7.009.316
Date
5.10.2016
Signature
SvSv

Test mix Results

Mix ID

Harðikambur FA 2-2

Specification			Material properties	Estimated	Actual	
Environment class	XF4/ Freeze-thaw attack		Cement [kg/m ³]	401	401	
Strength class	C35/45	Slump class	S3	Water [kg/m ³]	160	156
Min. cement [kg/m ³]	400	Air [%]	6.0	W/c-ratio	0.40	0.39
Max. w/c-ratio	0.40	Chloride cl.	Cl 0,2	Binder [kg/m ³]	401	401

Notes

í Ecalc vantar enn uppl rakamælingar fylliefna í ofni og steypu í örbylgju

Proportion

Binder	Class	Equivalent cement	Density [kg/m ³]	Proportion [w. %]	[kg]	Batch [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
Standard FA	CEM III/B-M	1.00	3010	96.0	19.22	0.128	385
Kísilryk		1.00	2200	4.0	0.80	0.007	16
Water					5.060	0.156	156

Aggregates	Moisture [w. %]	ASS [m ³ /kg]	Abs. water [%]	Density [kg/m ³]	Proportion (moist agg.) [v. %]	[kg]	Batch (SSD) [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
HK-Sandur 0/8	7.40	4.05	1.50	2820	50	48.41	0.325	916
HKMöl 8/16 mm	2.10	0.37	2.00	2770	30	26.87	0.194	537
HKMöl 16/22 mm	1.80	0.24	1.60	2800	20	18.14	0.129	362

Admixtures

	Dry residue [w. %]	Density [kg/m ³]	Proportion [w. % pow.]	[kg]	Batch [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
Kemloft KBL	1.00	1010	0.06	0.012	0.000	0.24
Kemplast K99	35.50	1155				
Kemflot KKI20	18.50	1040	0.09	0.019	0.000	0.38

Fibres

	Density [kg/m ³]	Proportion [kg]	Batch [m ³ /m ³]	[kg/m ³]
Total		118.53	1.000	2373

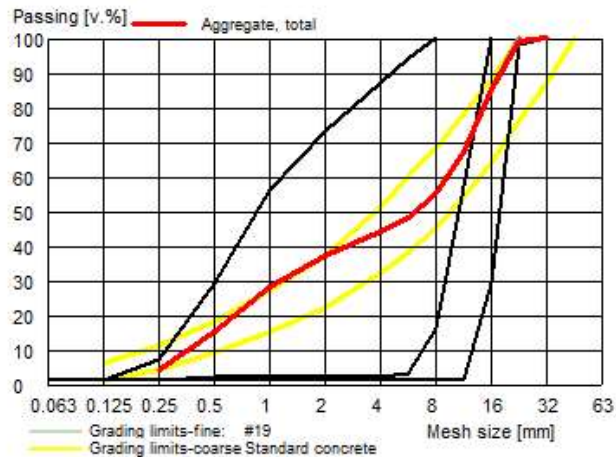
Total

Measurements

	Estimated	Actual
Density [kg/m ³]	2365	2373
Slump [mm]	140	190
Air [%]	6.0	6.0
Temperature [°C]	22	21
Cyl. strength [MPa]	43.8	
Total moisture [w. %]	8.72	8.51

Characteristics

	Estimated	Actual
Paste + Air [v. %]	35.6	35.2
Filler <0.25 mm [kg/m ³]	473	474
WRI	0.865	0.818
ASS [m ³ /kg]	2.18	2.19
K.bol.S [MPa]	31.0	
Batch [m ³]	0.050	0.050



Viðauki B - Varmamyndun í steypublöndum

ADIABATISK VARMAMYNDUN Í STEINSTEYPU

Blanda nr.

4-3

Verkkaupi	-	Dagsetning	22.02.17
Tengiliður	-	Verk nr.	1702
Verkefni	-	Tilvisun	-
		Framkv. af	KI
Vegna		Blanda nr.	4-3
		Steypudagur	16/1-15-25

Kælitala [h-1]

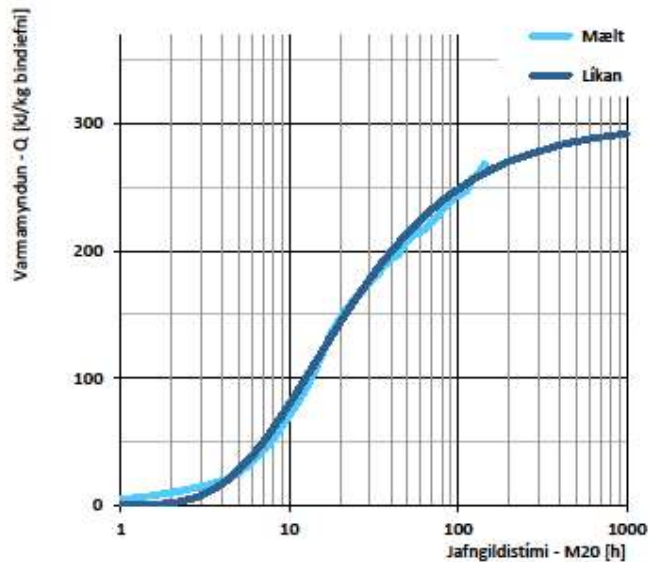
0.050

Steypusamsetning	Varmamynd [kJ/m ³ kg°C]	Rúmþyngd [kg/m ³]	Þyngd [kg/m ³]	Bindiefni alls [kg/m ³]	V/s-tala
Bindiefni				416	0.40
Anlegg	0.84	3,140	399		
Flugaska	0.84	2,400			
Kísilryk	0.84	2,200	17		
Vatn	4.20	1,000	166		
Mettivatn	4.20	1,000	63		
Fylliefni					
			Mettivatn [%]		
Fylliefni	0.84	3.36	2,869	1888	
Íblöndunarefni					
			Þurrefni [%]		
Kemloft KBL	4.20	1.0	1,010	0.03	
Kemflot KK120	4.20	18.5	1,040	3.33	
Samtals	1.02		2537		

Varmamyndun

$$Q_{(M20)} = Q_{\infty} \exp(-(\tau_e / M20)^{\alpha})$$

Q_{∞} [kJ/kg sem.]	300
τ_e [h]	14.0
α	0.85



Athugasemdir

Blanda nr. HÓ-A-4 (2)

**ADIABATISK VARMAMYNDUN
Í STEINSTEYPU**

Blanda nr.

HÓ-FA-1-2

Verkkaupi	Vegagerðin	Dagsetning	23.3.2017
Tengiliður	Gylfi Sigurðsson	Verk nr.	7-009-316
Verkfæni	Lághitaselement	Tilvísun	-
		Framkv. af	-
Vegna		Blanda nr.	HÓ-FA-1-2- (2)
		Steyppudagur	13.1.2017 14:15

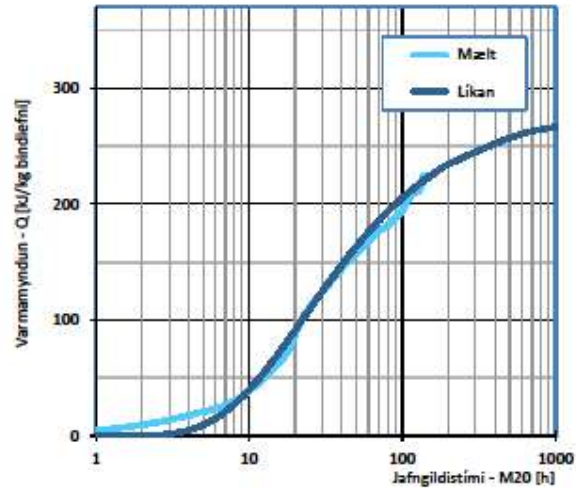
Kælitala [h-1] 0,050

Steypusamsetning	Varma-rymd [kJ/m ³ °C]	Rúm-þyngd [kg/m ³]	Þyngd [kg/m ²]	Bindiefni alls [kg/m ²]	V/s-tala
Bindiefni				386	0,39
Standard FA	0,84	3.010	371		
Kísilryk	0,84	2.200	15		
Vatn	4,20	1.000	151		
Mettivatn	4,20	1.000	50		
Fylliefni	Mettivatn [%]				
Hólabrú 0/3, 0-8 og 8-16	0,84	2,95	2.900	1678	
Íblöndunarefni	Þurrefni [%]				
Kemloft KBL	4,20	1,0	1.010	0,08	
Kemloft KKI20	4,20	35,5	1.040	5,03	
Samtals	1,14		2270		

Varmamyndun

$$Q_{(M20)} = Q_{\infty} \exp(-(\tau_{\infty} / M20)^{\alpha})$$

Q_{∞} [kJ/kg sem]	280
τ_{∞} [h]	23,0
α	0,80



Athugasemdir

**ADIABATISK VARMAMYNDUN
Í STEINSTEYPU**

Blanda nr.

HÓ-FA-30-3

Verkkaupi	Vegagerðin	Dagsetning	23.3.2017
Tengiliður	Gylfi Sigurðsson	Verk nr.	7-009-316
Verkefni	LághitaseMENT	Tilvísun	-
		Framkv. af	GG
Vegna		Blanda nr.	HÓ-FA-30-3-2
		Steyppudagur	16/1-15:25

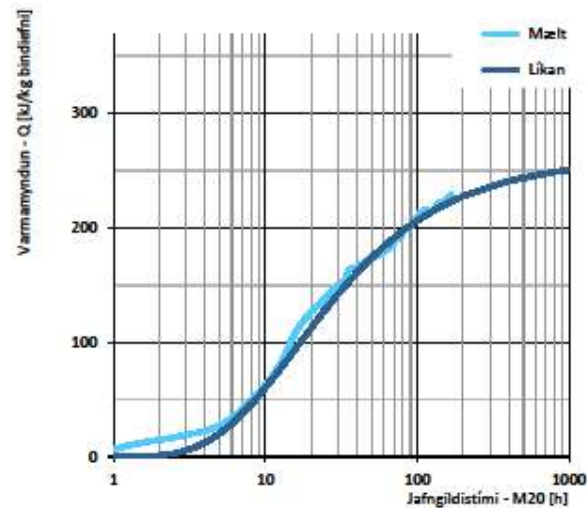
Kælitala [h-1] **0,050**

Steypusamsetning	Varma- rymd [kJ/m ³ °C]	Rúm- þyngd [kg/m ³]	Þyngd [kg/m ²]	Bindiefni alls [kg/m ²]	V/s-tala 0,39
Bindiefni				400	
Anlegg	0,84	3.140	264		
Flugaska	0,84	2.400	120		
Kisilryk	0,84	2.200	16		
Vatn	4,20	1.000	156		
Mettivatn	4,20	1.000	57		
Fylliefni		Mettivatn [%]			
Fylliefni	0,84	3,36	2.869	1684	
Íblöndunarefni		Purrefni [%]			
Kemloft KBL	4,20	1,0	1.010	0,03	
Kemflot KKI20	4,20	18,5	1.040	5,38	
Samtals	1,16		2302		

Varmamyndun

$$Q_{(M20)} = Q_{\infty} \exp(-(\tau_{\infty} / M20)^{\alpha})$$

Q_{∞} [kJ/kg sem] **260**
 τ_{∞} [h] **16,0**
 α **0,80**



Athugasemdir

**ADIABATISK VARMAMYNDUN
Í STEINSTEYPU**

Blanda nr.

HK-FA-2-2

Verkkaupi	Vegagerðin	Dagsetning	23.3.2017
Tengiliður	Gylfi Sigurðsson	Verk nr.	7-009-316
Verkefni	LághitaseMENT	Tilvisun	-
		Framkv. af	
Vegna		Blanda nr.	HK-FA-2-2 (2)
		Steypudagur	3.2.2017 15:03

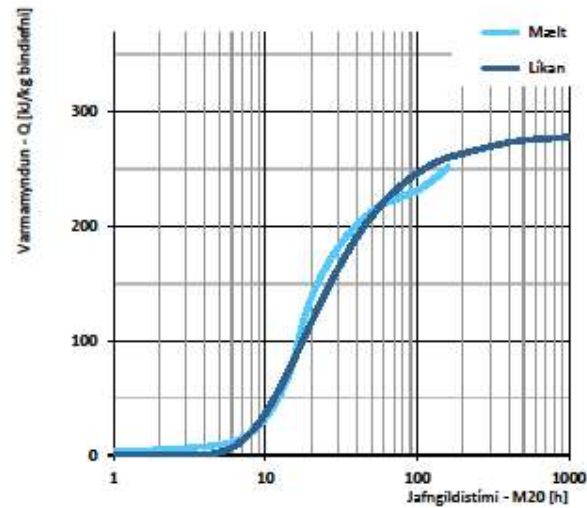
Kælitala [h-1] 0,050

Steypusamsetning	Varma- rymd [kJ/m ³ °C]	Rúm- þyngd [kg/m ³]	Þyngd [kg/m ²]	Bindiefni alls [kg/m ²]	V/s-tala 0,38
Standard FA	0,84	3.101	384		
Kísilryk	0,84	2.200	16		
Vatn	4,20	1.000	151		
Mettivatn	4,20	1.000	30		
Fylliefni					
		Mettivatn [%]			
Fylliefni	0,84	1,67	2.800	1814	
Íblöndunarefni					
		Þurrefni [%]			
Kemloft KBL	4,20	1,0	1.010	0,03	
Kemflot KKI20	4,20	18,5	1.040	5,00	
Samtals	1,10		2400		

Varmamyndun

$$Q_{(M20)} = Q_{\infty} \exp(-(\tau_0 / M20)^{\alpha})$$

Q_{∞} [kJ/kg sem] 280
 τ_0 [h] 18,0
 α 1,20



Athugasemdir