

Umhverfisvæn brúarsteypa

Gísli Guðmundsson, Jón Elí Guðmundsson - Tæknisetur

Ólafur Sveinn Haraldsson, Helgi S Ólafsson - Vegagerðin

Einar Einarsson, Sigríður Ósk Bjarnardóttir - BM Vallá

Eggert Guðmundsson, Heiðar Karlsson - Verkfræðistofan Vista ehf



Rannsóknaráðstefna Vegagerðarinnar 7. nóvember 2025



Umhverfisvæn brúarsteypa

**Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar og
BM Vallá auk vinnuframlags frá öllum þátttakendum.**



Rannsóknaráðstefna Vegagerðarinnar 7. nóvember 2025



Rannsóknarspurningar sem settar voru fram í umsókninni:

- Hvað er raunhæft að lækka sementsmagn í gæðasteypu mikið án þess að hafa áhrif á styrk og endingu viðkomandi mannvirkis?
- Hvaða áhrif hefur breytt samsetning á mikilvægustu eiginleika eins og frostþol og styrk en einnig á kolsýringu og klórleiðni og þar með hættu á tæringu bendistáls?
- Er þörf á breyttum prófunaraðferðum fyrir steypu með þessa samsetningu t.d. hvað varðar mælingar á frostþoli hennar?
- Hver eru áhrif á kolefnispor viðkomandi mannvirkis miðað við hefðbundna steypu uppskrift?

Prófsteypur:

1. Hefðbundin brúarsteypa með 400 kg af sementi per m³ af steypu og v/s-hlutfall 0.4.
2. Hefðbundin brúarsteypa með 375 kg af sementi og 25 kg af kísilryki per m³ af steypu og v/b-hlutfall 0.4.
3. Steypa með 400 kg af flugöskusementi per m³ af steypu og v/b-hlutfall 0.37 (18 % flugaska (72 kg) og 6 % af kalksteini (24 kg)).
4. Steypa með 375 kg af flugöskusementi og 25 kg af kísilryki per m³ af steypu og v/b-hlutfall 0.37.
5. Steypa með 320 kg af industrial sementi og 80 kg af móbergi (5 micron) per m³ af steypu og v/b-hlutfall 0.37.

Allar steypur með 0-16 mm Björgunarefni, norsku sementi og íblendiefni frá Kemis.

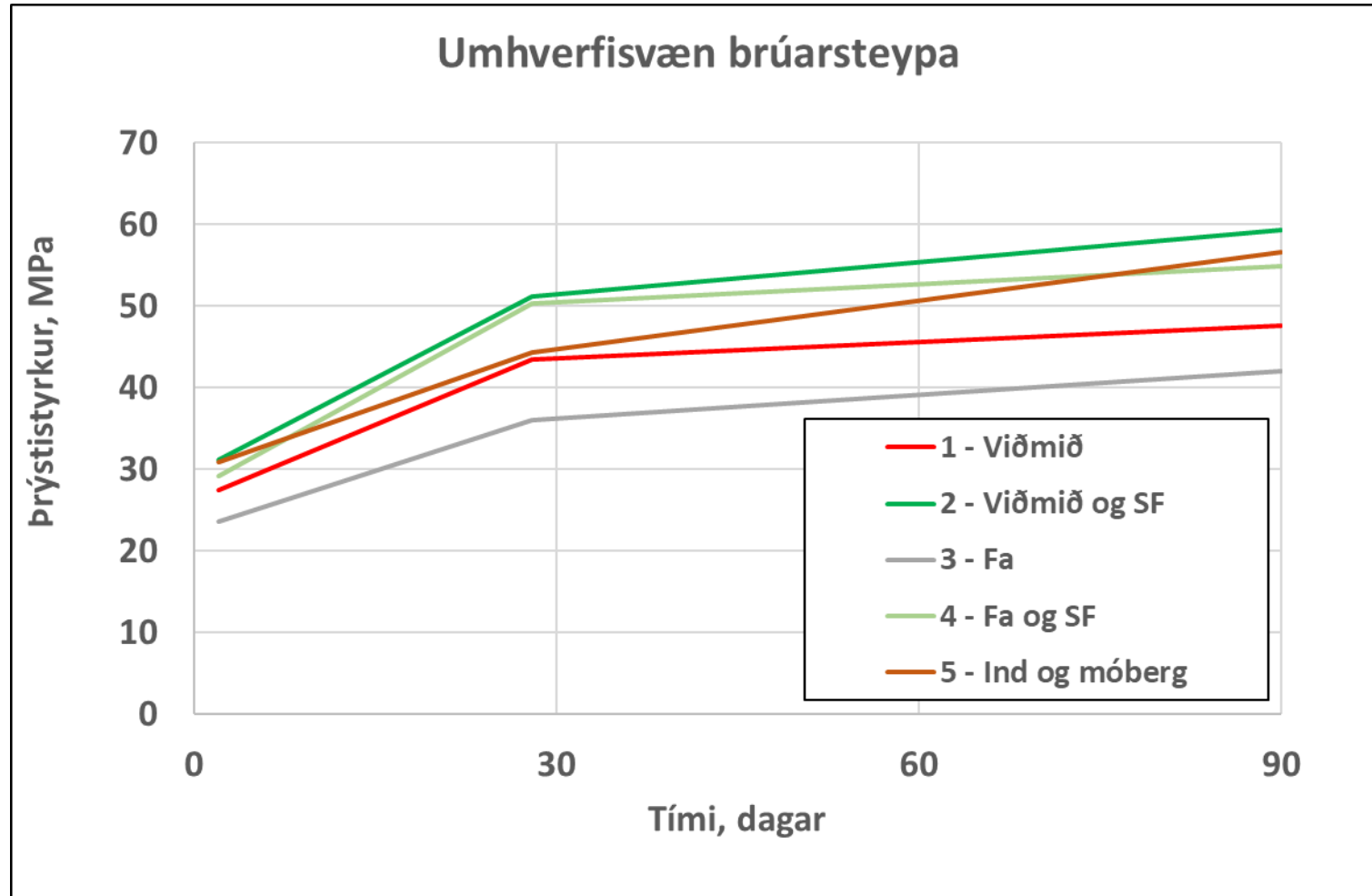
Fersk steypa - eiginleikar:

Steypublöndur:	1	2	3	4	5
Sigmál, mm	255	255	257	248	230
Sigmálsflæði, mm	555	630	580	505	410
Loft (fersk steypa), %	6,6	5,5	8,2	7,5	9,5
Talið loft, % (> 5 %)	7,7	9,2	7,3	10,4	9,4
Fjarlægðarstuðull, mm (< 20 mm)	0,14	0,08	0,12	0,09	0,09
Yfirborð loftbóla, mm-1 (> 25 mm)	17	21	24	21	20

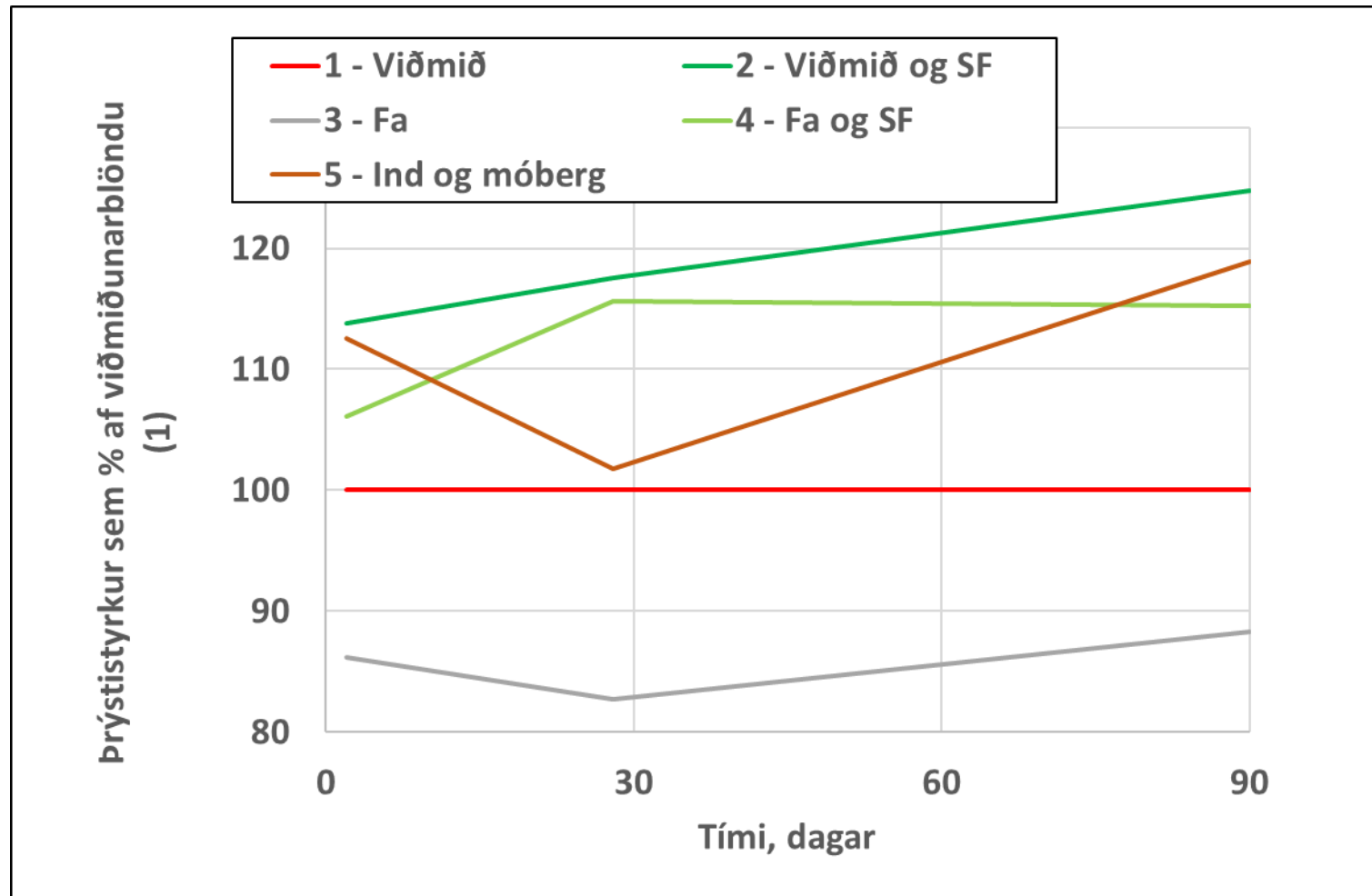
Prófanir á harðnaðri steypu:

- Þrýstistyrkur - 2, 28 og 90 daga.
- Fjaðurstuðull – 90 daga ákvarðað í skriðrekka.
- Skrið – rýrnun er einnig hluti af prófun – 90 daga sýni – prófunum ekki lokið.
- Frostþol – flögnun og vatnsupptaka.
- Klóríðleiðni (NT Build 492) - 28 og 90 daga.
- Rýrnun – þurrkrýrnun og autogeneous rýrnun – prófunum ekki lokið.
- Kolsýring - ... dagar í andrúmslofti og 65 % Rh og 25 °C – prófunum ekki lokið.
- Frostþol eftir kolsýringu – prófununum ekki lokið.
- Prófanir úti í mörkinni – prófunum ekki lokið.

Þrýstistyrkur.



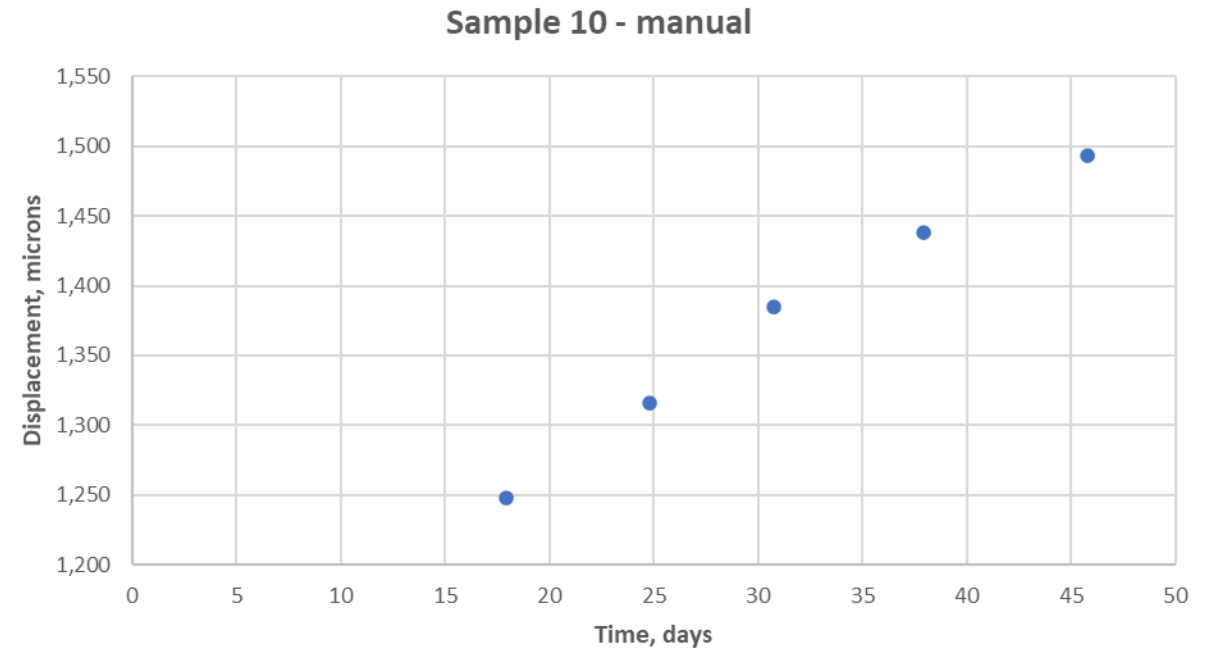
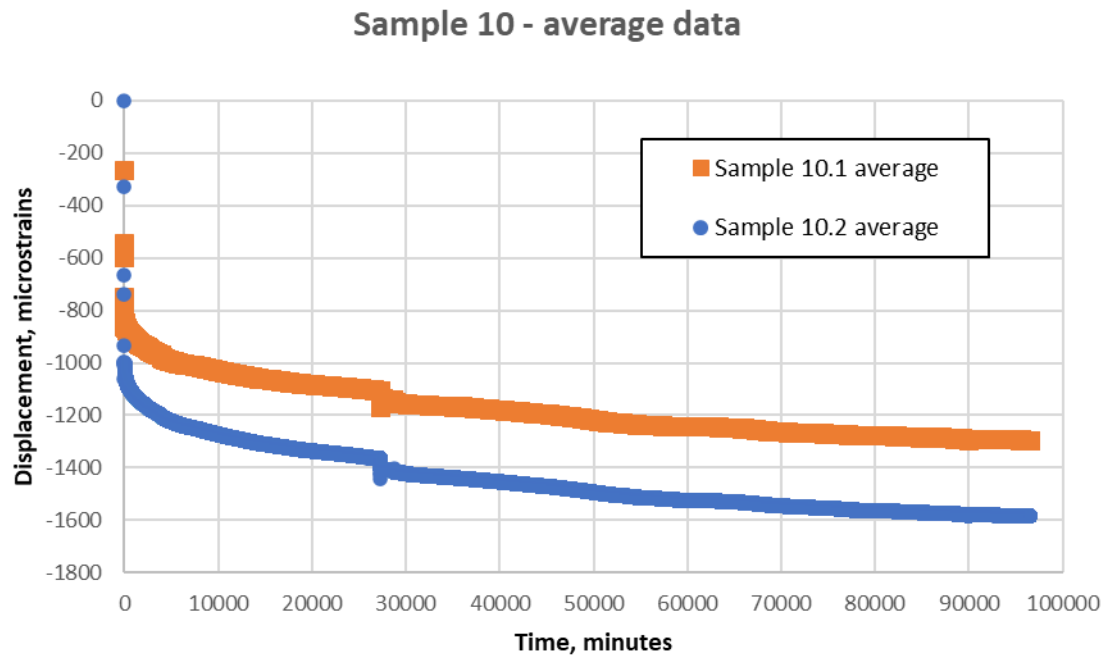
Þrýstistyrkur.



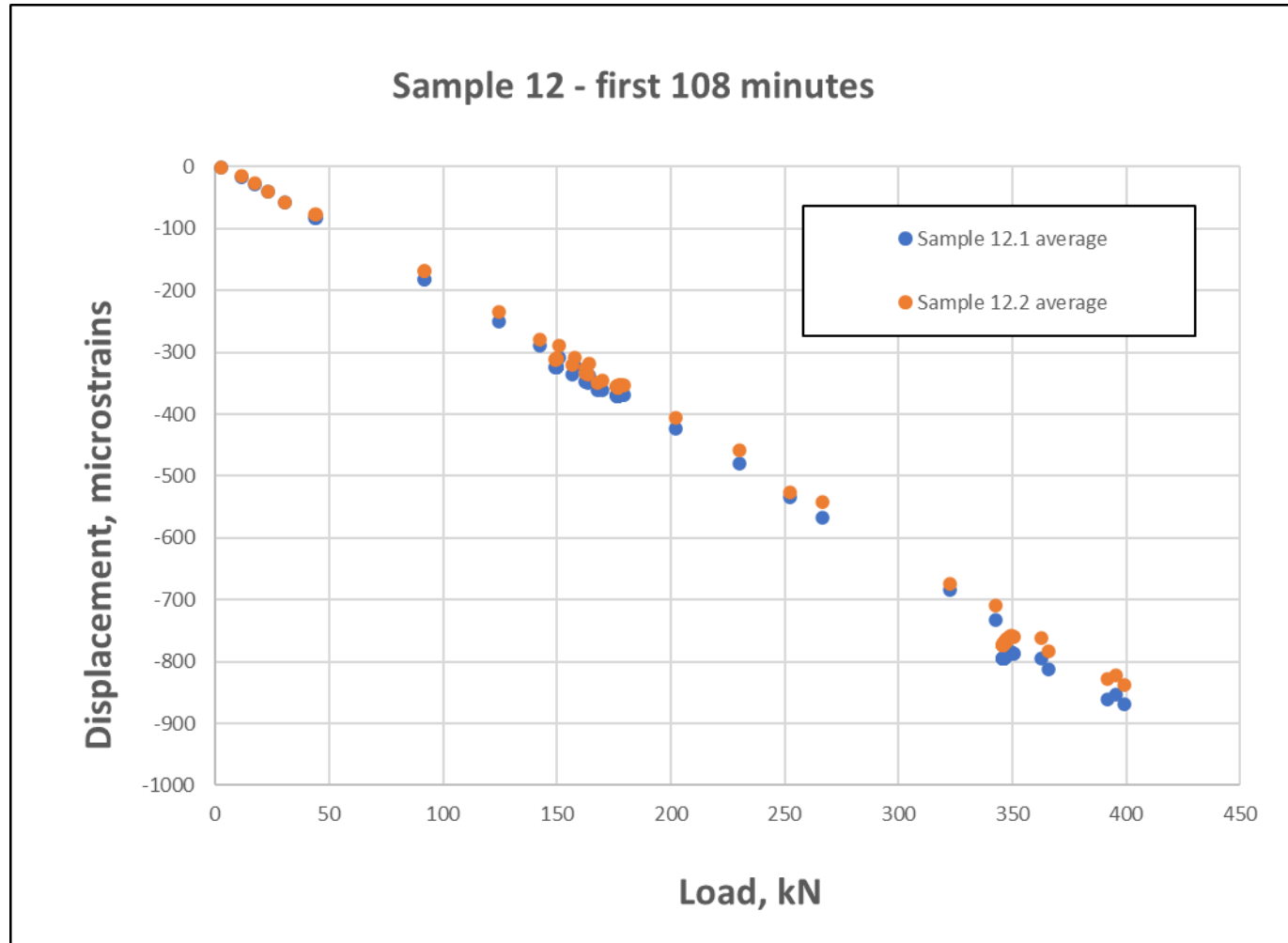
Skrið – Langtíma afmyndun steypu – Handmælt og sjálfvirkar mælingar.



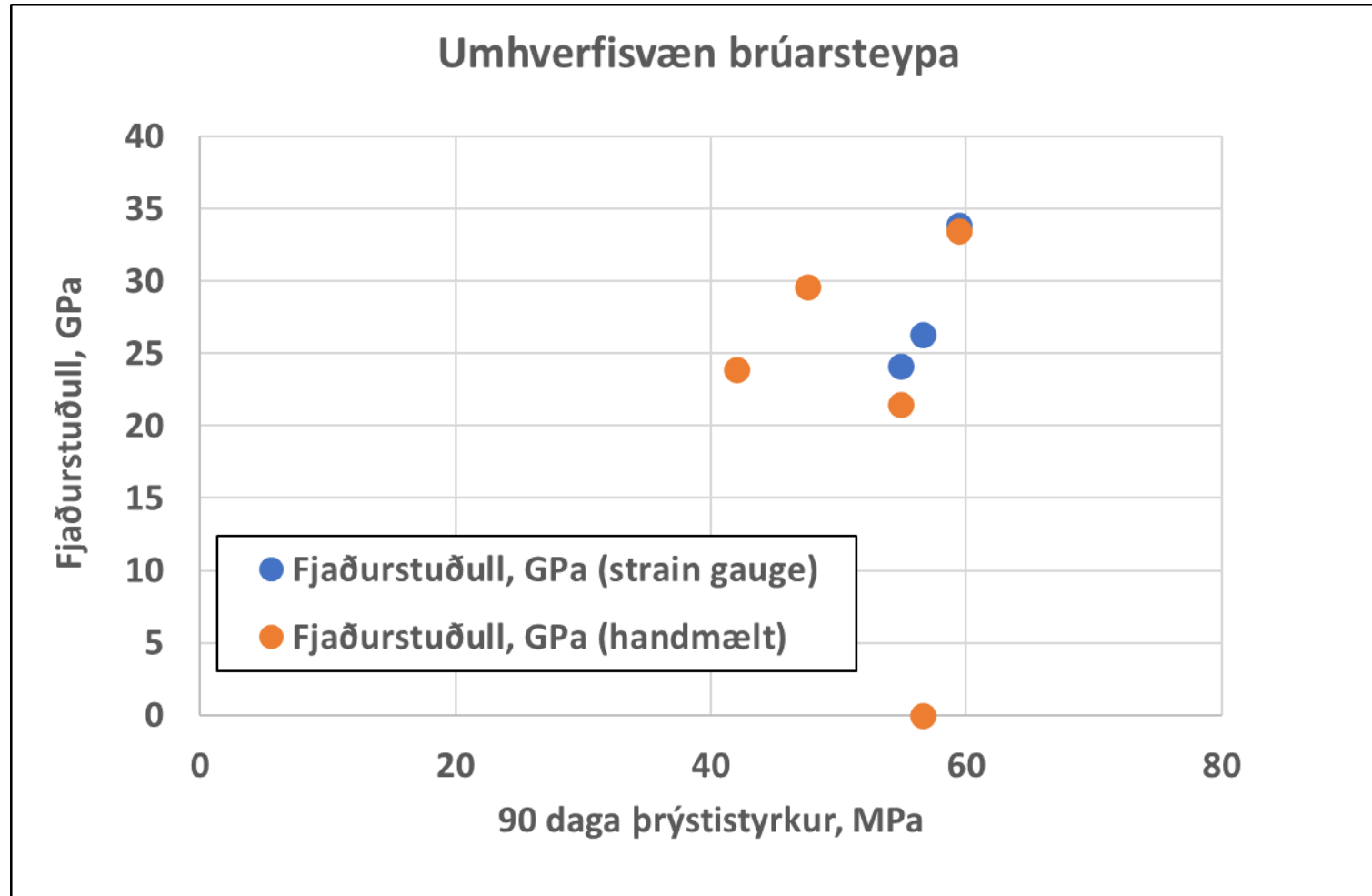
Afmyndun (skrið) sýnis 10 - Sýni 90 daga gamalt þegar prófun hófst og samfeld mæling í um 67 daga og handmæling í 46 daga við um 360 kN eða um 35 % af 90 daga styrk. Ekki leiðrétt fyrir rýrnun.



Fjaðurstuðull - mælt þegar álag var sett á sýni í skriðrekkum – sýni 90 daga gömul.



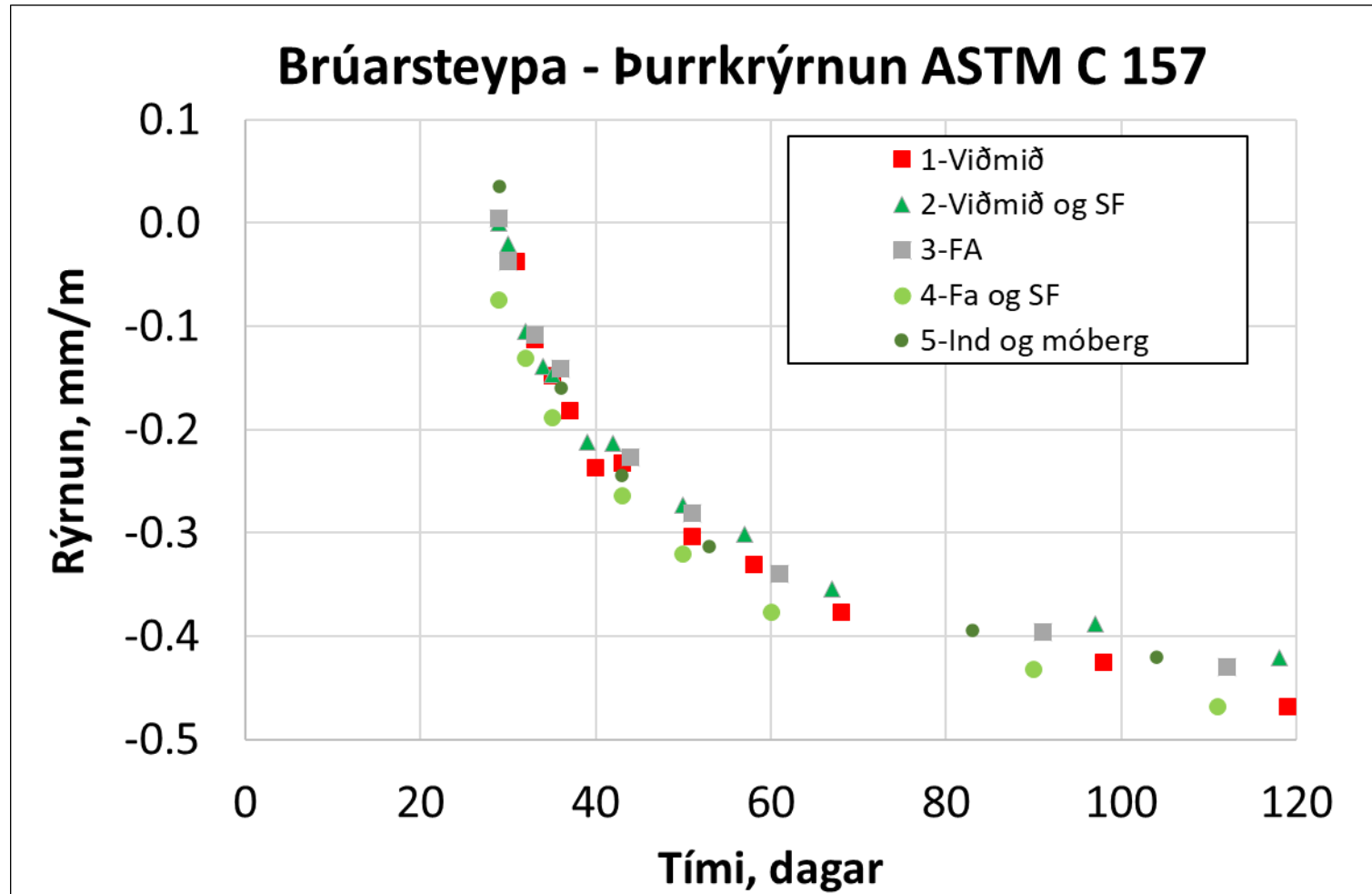
Fjaðurstuðull - mælt þegar álag var sett á sýni í skriðrekkum – sýni 90 daga gömul.



**Rýrnun – Þurrkrýrnun (ASTM C 157) - sýni í 28 daga í vatni og svo 50 % RH
 < 0.5 % rýrnun eftir 100+ daga – 7.5*7.5*23 cm strendingar.**

	1	2	3	4	5
Þurrkrýrnun, mm/m	-0,377 (37 dagar)	-0,355 (38 dagar)	-0,340 (33 dagar)	-0,377 (31 dagur)	-0,313 (25 dagar)
Þurrkrýrnun, mm/m	-0,468 (119 dagar)	-0,421 (118 dagar)	-0,429 (112 dagar)	-0,468 (111 dagar)	-0,420 (104 dagar)

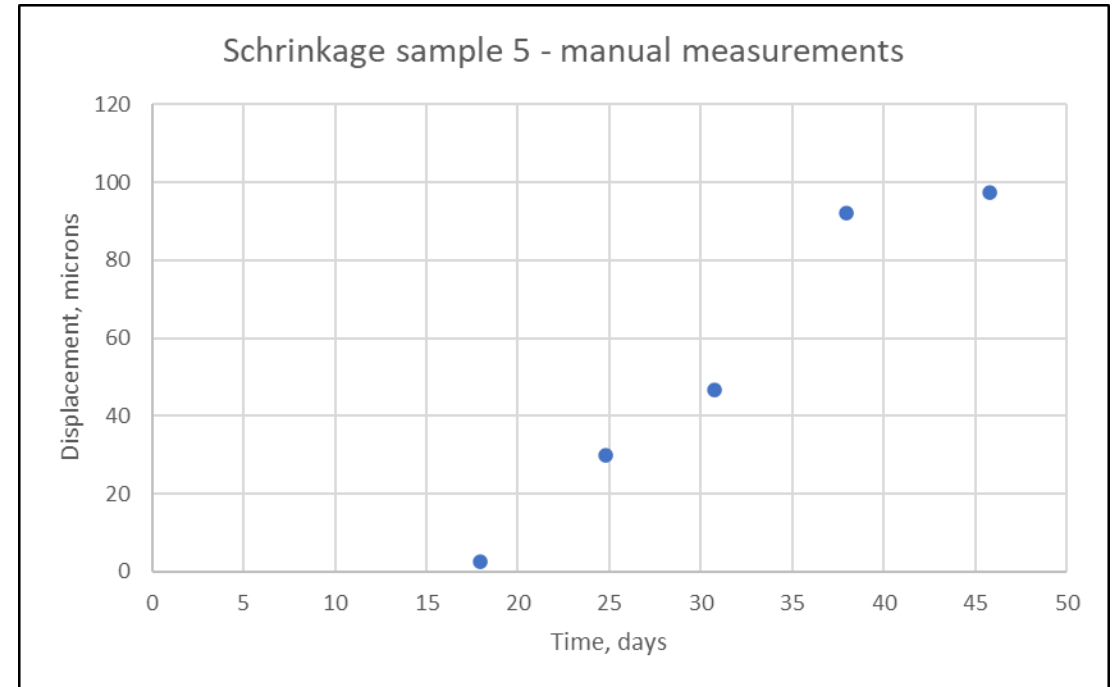
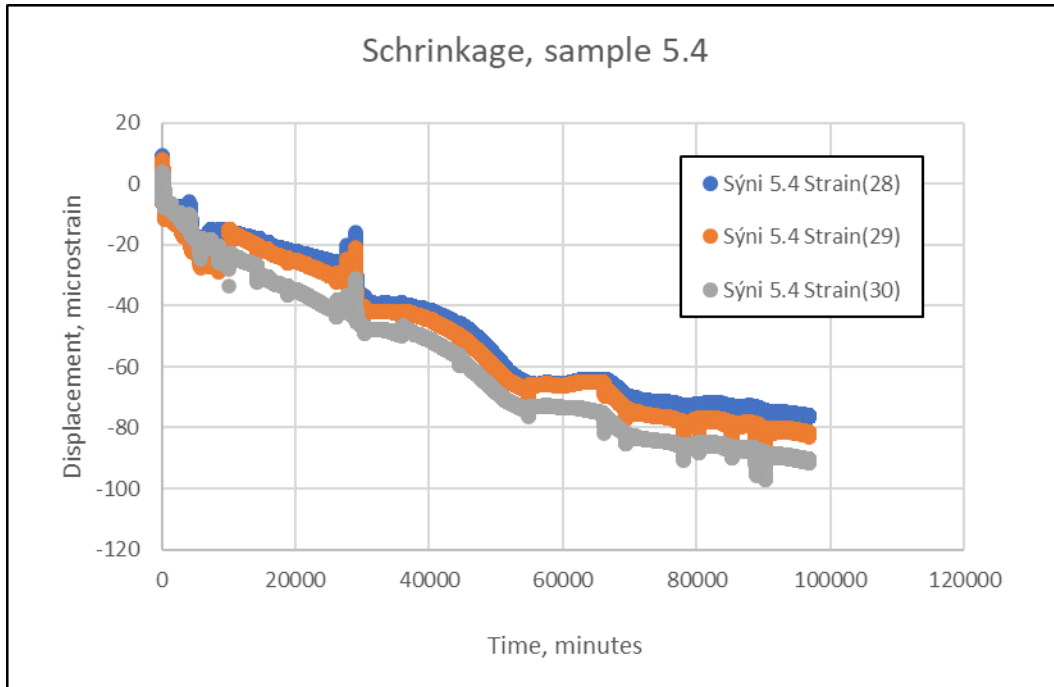
Rýrnun – Þurrkrýrnun (ASTM C 157) – sýni í 28 daga í vatni og svo 50 % RH.



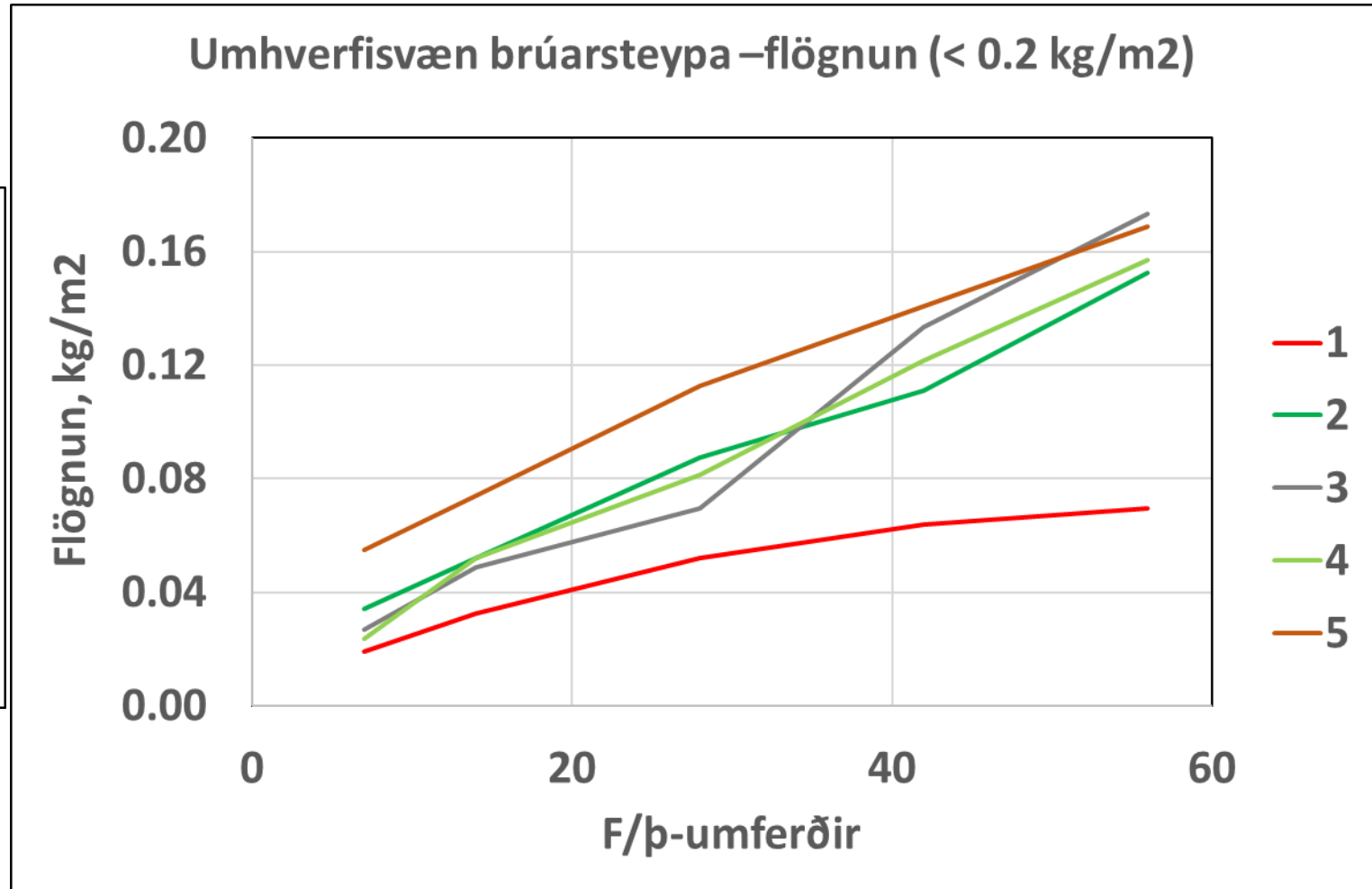
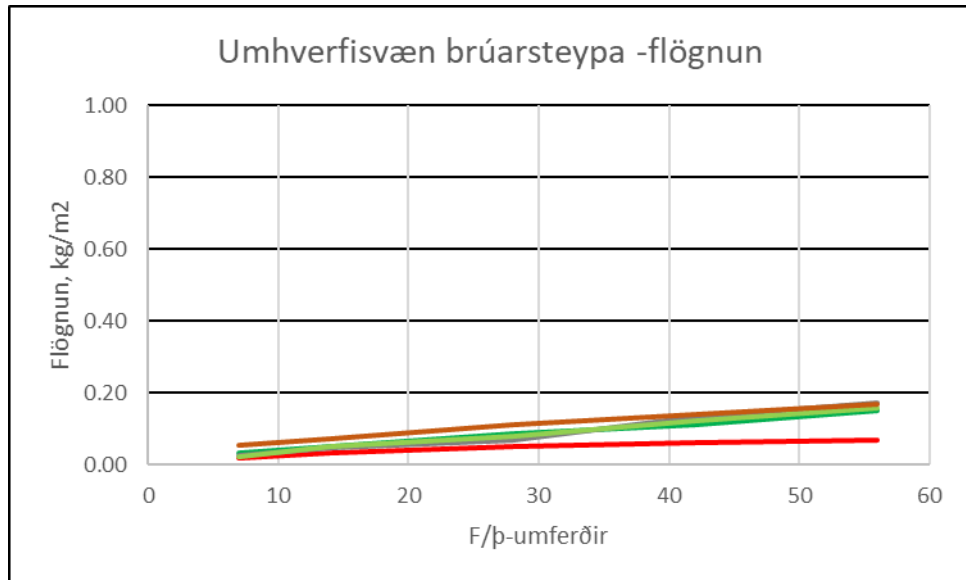
Skrið – Langtíma afmyndun steypu – Handmælt og sjálfvirkar mælingar.



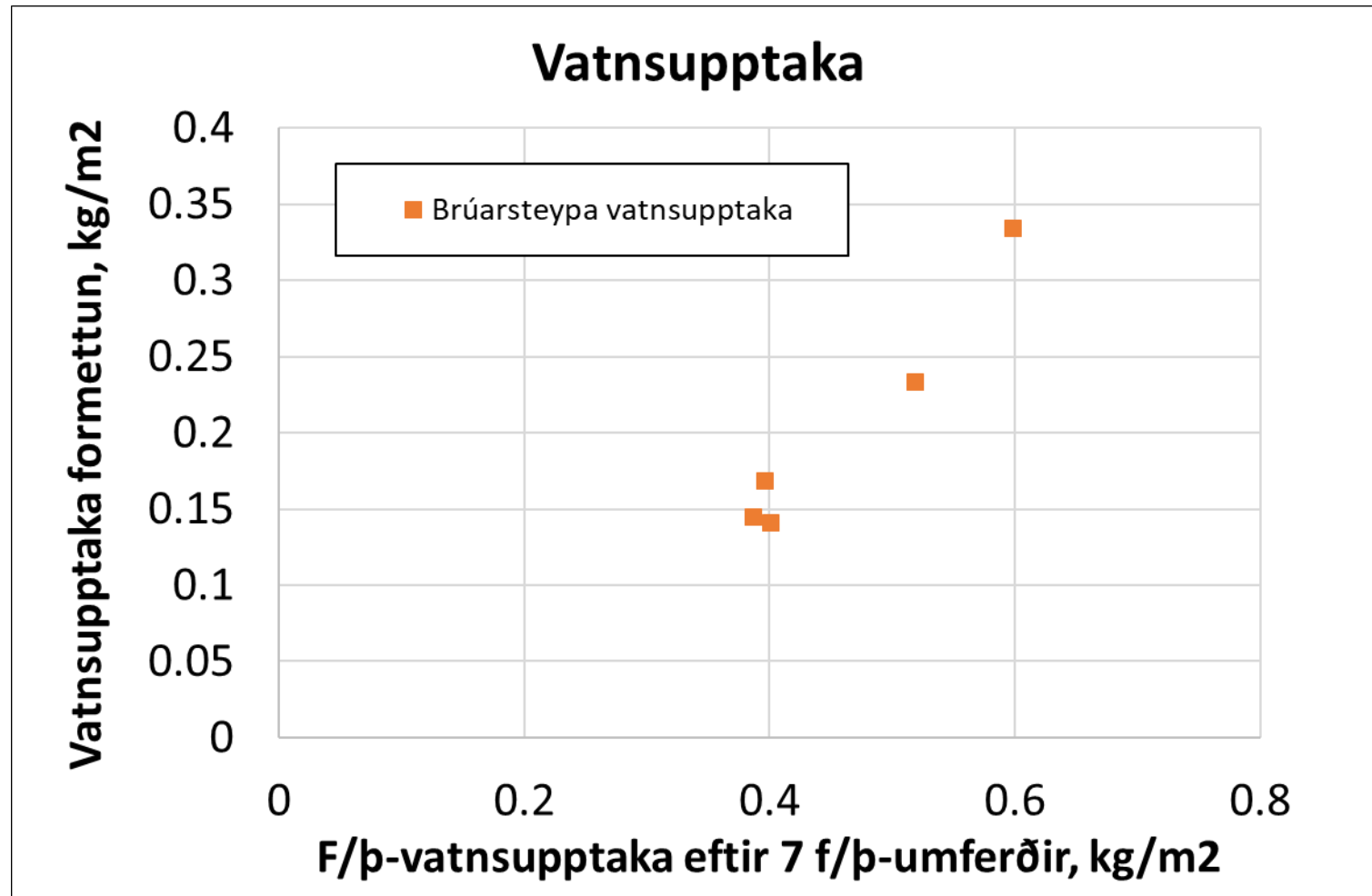
Rýrnun í prófunum á langtíma afmyndun steypu – Handmælt og sjálfvirkar mælingar
Sýni 15x30 cm sívalningar við um 25 °C og 60 % Rh. Sýni um 3 mánaða gömul þegar prófanir hófust.



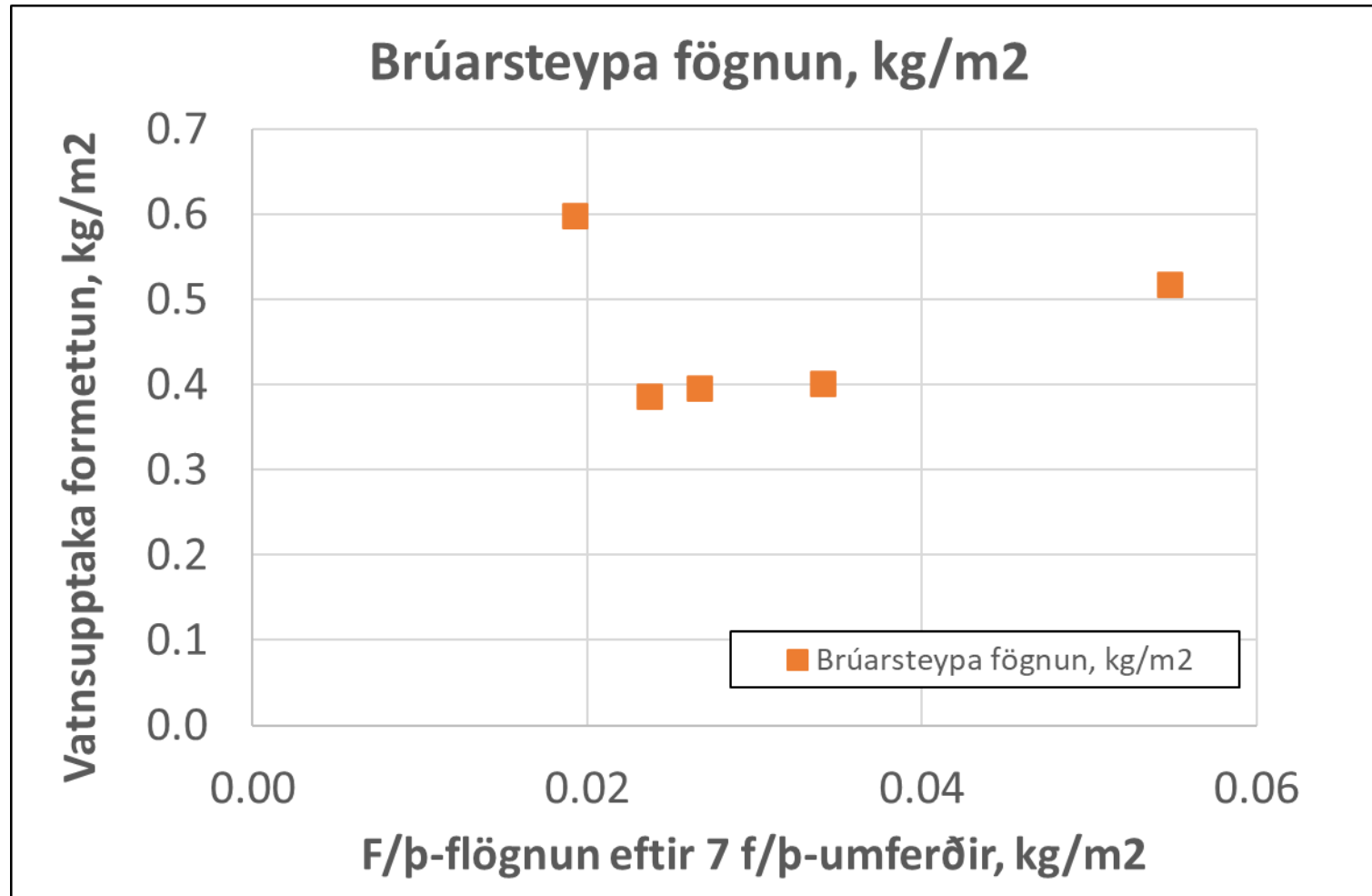
Frostþol – flögnun.



Frostþol – vatnsupptaka í formettun vs vatnsupptaka í f/þ-prófun.



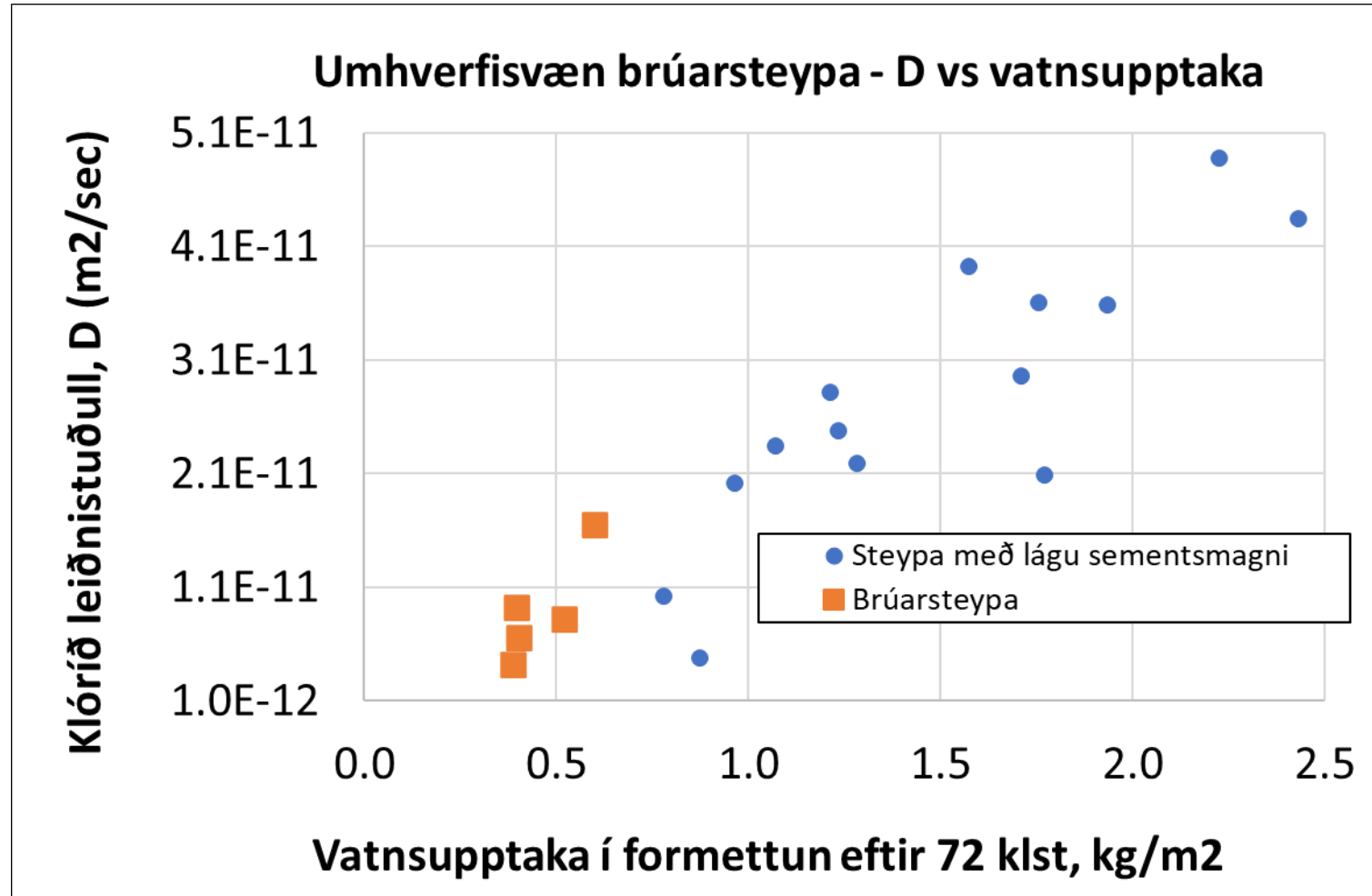
Frostþol – vatnsupptaka í formettun vs flögnun í f/þ-prófun.



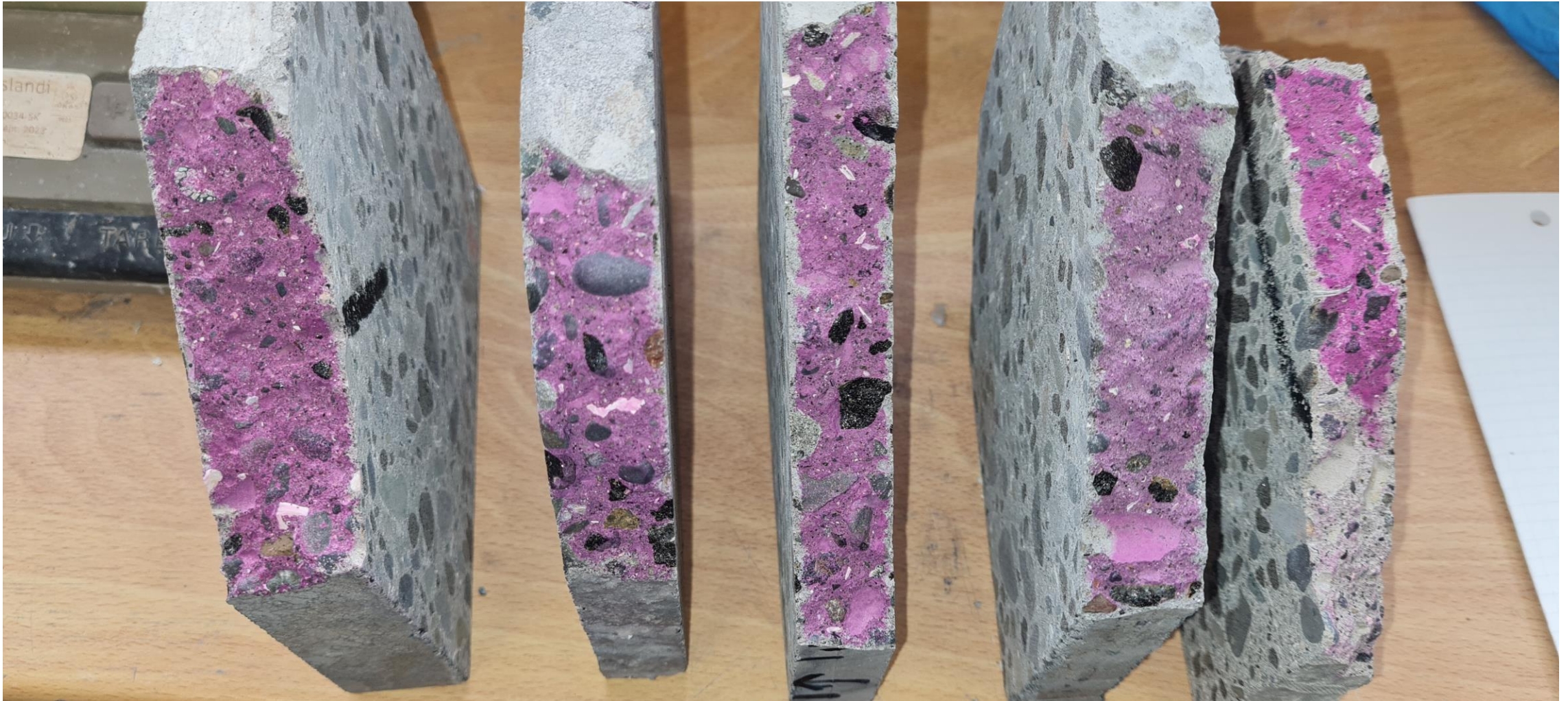
Klóríðleiðni (Nt Build 492 – CHT) – Klóríðleiðnistuðull (D).

Steypublöndur	1	2	3	4	5
28 daga					
Leiðnist, m ² /sec	1.65E-11	6.56E-12	9.26E-12	4.20E-12	8.22E-12
log D	-10.78	-11.18	-11.03	-11.38	-11.09
90 daga					
Leiðnist, m ² /sec	8.84E-12	5.49E-12	3.79E-12	2.09E-12	3.90E-12
Log D	-11.05	-11.26	-11.42	-11.68	-11.41
Brúarsteypa 13 til 31 ára gömul mannvirki					
Leiðnist, m ² /sec		9.33E-13 – 1.74E-13			
Log D		-12.03 til -12.76			

Frostþol – klóríðleiðni vs vatnsupptaka.



Kolsýring – Sýni geymd við 55-65 % RH og 22 °C í andrúmslofti (CO₂ um 425 ppm) í allt að 120 daga.



Kolsýring – sýni geymd við 55-65 % RH og 22 °C í andrúmslofti (CO₂ um 425 ppm).

	1 - Viðmið	2 – Viðmið og SF	3 - FA	4 – FA og SF	5 – Ind og móberg
Kolsýring í loft, dagar	120	119	113	112	105
Kolsýring (min-max), mm	1,33 – 2,95	0 – 1,68	1,40 – 2,65	1,42 – 3,01	2,18 – 2,72
Kolsýring miðgildi, mm	2,14	0,84	2,03	2,13	2,45

Kolefnisspor (GWP-total, gross) sements – frá Heidelberg Materials.

	kg CO ₂ -eq/tonn sement
Anleggsement, Brevik	693
Standardsement FA, Kjöpsvik	630
Standardsement FA, Brevik	566
Industrisement, Brevik	651

Kolefnisspor.

Samkvæmt bygg.reglugerð:

Kolefnisspor steypu (kg CO₂/m³) = Kolefnisspor sements * Magn sements + Viðbót frá öðru en sementi (40 kg CO₂/m³).

Fyrir steypublöndur 1 til 5:

1. CEM I: $693 \text{ kg CO}_2/\text{tn} * 0.4 \text{ tn}/\text{m}^3 + 40 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 = 317 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ (brúttó)
2. CEM I + SF: $693 \text{ kg CO}_2/\text{tn} * 0.375 \text{ tn}/\text{m}^3 + 40 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 = 300 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ (brúttó)
3. FA: $566 \text{ kg CO}_2/\text{tn} * 0.4 \text{ tn}/\text{m}^3 + 40 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 = 266 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ (brúttó)
4. FA + SF: $566 \text{ kg CO}_2/\text{tn} * 0.375 \text{ tn}/\text{m}^3 + 40 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 = 252 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ (brúttó)
5. Ind+mób.*: $651 \text{ kg CO}_2/\text{tn} * 0.32 \text{ tn}/\text{m}^3 + 40 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3 = 248 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ (brúttó)

*móberg kolefnisspor (4 % af kolefnisspori sements – 30 kg CO₂/m³)?

Kolefnisspor.



Brúargerð við Hornafjarðarfljót.

Mynd af heimasíðu Vg.

Steypumagn: um 2900 m³.

Ef öll steypa var eins og nr 2, þ.e. 375 kg/m³ af sementi og 25 kg/m³ SF þá er kolefnisspor steypublöndunnar um **870 tonn CO₂**, ef nr 4, þ.e. FA (Brevik) og SF þá er kolefnissporið um **731 tonn CO₂** og ef móbergið er notað er kolefnissporið um **806 tonn CO₂**.

CO₂ sparnaður um 7.4 til 16 % miðað steypu nr 2.

Kolefnisspor.

Framtíð kísliryks og flugösku í steypu er óráðin en bæði efnin eru úrgangsefni úr stóriðju. Flugaska kemur úr kolaorkuverum sem vonandi eru að hverfa úr notkun, enn ...

Nóg til af móbergi á Íslandi og öðrum sambærilegum efnum, en efnin eru náttúrlegt efni og vinnsla á því mun valda deilum vegna umhverfisspjalla.

Erfitt að ná árgangri sem allir sætta sig við, en heimsvísu er steinsteypa mikið notuð, þannig að vandamálið (kolefnislosun) er stórt og brýnt að leysa það.

Til ráða er að minnka sement í steypu, nota íauka (SCM), nota „activators“ s.b.r. sprautusteypu, nota rafmagn í framleiðslu á sementi og fanga CO₂ í berg.

Samantekt.

Í þessu verkefni er verið að prófa fimm mismunandi gerðir af brúarsteypum, ein gerðin (1) á við 45 ára og eldri mannvirki, ein er eins og verið er að nota í dag (2) og þrjár með mismiklu af íaukum sem lítil til engin reynsla er komin af.

Niðurstöður úr þeim prófunum sem liggja fyrir benda til þess að steypur með flugöskusementi (3), flugöskusementi blandað með kísilryki (4) og iðnaðarsementi með fínmöuðu móbergi (5) hafi sambærilega endingu og brúarsteypa sem Vegagerðin er að nota í dag.

Þannig mætti lækka sements magnið úr 400 kg/m³ í 375 kg/m³ með kísilryki og 320 kg/m³ með móbergi.

Samfara þessum breytingum þá lækkar kolefnisspor vegasteypu um 7 til 16 %.

Takk fyrir