



## Ending steypu í sjávarumhverfi

Rannsóknir og prófanir vegna viðgerðar á stöplum  
Borgarfjarðarbrúar á árunum 1998 – 2010

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar



Einar Hafliðason  
Júní 2016

Titill: Ending steypu í sjávarumhverfi  
Höfundur: Einar Hafliðason  
Fulltrúi verkkaupa: Rögnvaldur Gunnarsson (*Vegagerðin*)  
Dagsetning: 30.6.2016  
Dreifing skýrslu: Vegagerðin  
Rýnt af: *RG*  
Samþykkt: *RG*  
Lýsing: *Samantekt á rannsóknum og prófunum vegna viðgerðar á stöplum Borgarfjarðarbrúar styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar.*

*Höfundur skýrslunnar ber ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar.*

## Efnisyfirlit

<b>ENDING STEYPU Í SJÁVARUMHVERFI.</b>	<b>1</b>
<b>1 INNGANGUR - YFIRLIT</b>	<b>1</b>
<b>2 ÁFANGASKÝRSLA UM VIÐGERÐ Á STÖPLUM BORGARFJARÐARBRÚAR MAÍ 1996</b>	<b>3</b>
2.1 Inngangur og aðdragandi.	3
2.2 Skipulag verkefnisins.	4
2.2.1 Gömul steypa:	4
2.2.2 Ný steypa	5
2.2.3 Stálkápa	5
2.3 Hönnun og framkvæmd:	5
2.3.1 Ásteypa:	5
2.3.2 Stálkápa:	6
2.3.3 Vinna við verkefnið:	6
2.4 BYGGINGARAÐFERÐIR OG AÐSTÆÐUR Í BORGARFIRÐI	6
2.4.1 Skemmdastig stöpla – steypueiginleikar- frásláttur móta	8
2.5 SKEMMDAÞRÓUN - TIL 1996	8
2.5.1 Yfirlit.	8
2.5.2 Vettvangsskoðanir:	9
2.5.3 Matslykill.	10
2.5.4 Lýsing skemmda:	10
2.5.5 Athuganir Péturs Ingólfssonar, VSÓ.	11
2.5.6 Ástand og þróun skemmda frá 1994:	11
2.5.7 Niðurstöður:	12
2.6 VIÐGERÐIR	12
2.6.1 Niðurstaða.	13
2.7 RANNOKNIR Á BORGARFJARÐARBRÚ TIL 1994	14
2.7.1 Yfirlit.	14
2.7.2 Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. H84/1176 15. mars 1985 og júlí 1985:	14
2.7.2.1 Alkalívirkni:	14
2.7.2.2 Frost-þíðu próf og lofttalning:	14
2.7.2.3 Niðurstöður úr rannsókn H84/1176:	15
2.7.3 Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins H85/994 21 janúar 1986:	15
2.7.3.1 Kjarnar teknir úr stöpli 9 í ágúst 1985:	15
2.7.3.1.1 Rakainnihald:	15
2.7.3.1.2 Saltinnihald:	15
2.7.3.1.3 Mettivatn, poróset, rúmþyngd:	16
2.7.3.1.4 Niðurstöður úr rannsókn H85/994:	16
2.7.3.2 Niðurstöður.	16
2.8 RANNSÓKNIR Á BORGARFJARÐARBRÚ 1994 - 1996	16
2.8.1 Yfirlit.	16
2.8.2 Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins Skýrsla 94-23, 29.12.1994.	16
2.8.2.1 Yfirlit.	17
2.8.2.2 Niðurstöður smásjárgreiningar:	17
2.8.2.2.1 Borgarfjarðarbrúin	17
2.8.2.2.1.1 Efst í hlutinn.	17
2.8.2.2.1.2 Mið hlutinn	18
2.8.2.2.1.3 Neðsti hlutinn.	18

2.8.2.2.1.4	Niðurstöður efnagreininga með rafeindasmásjá:	19
2.8.2.2.1.5	Niðurstöður.	21
2.8.2.2.2	Rannsóknir á öðrum sambærilegum mannvirkjum 1994-1996.	22
2.8.2.2.2.1	• Brú á Ölfusárós.	22
2.8.2.2.2.2	Öldubryótur Þorlákshöfn. Dólosar.	22
2.8.2.3	Ályktanir Rb 29.12.1994 bls 7	23
2.8.3	Iðntæknistofnun EW 5010 23. jan. 1995.	24
2.8.3.1	Niðurstaða.	25
2.8.4	Smásjárskoðun með ljóssmásjá á sýnum teknum neðansjávar úr stöpli 6. 1995.	25
2.8.4.1	Niðurstaða úr athugun Rb á neðansjávarsýnum dags. 16.11.1995:	25
2.8.5	Yfirborðsflögnun í brúarstöplum sem standa í sjó, annar áfangi efnagreiningar.	25
2.8.5.1	Yfirlit.	25
2.8.5.2	Mælingar í rafeindasmásjá.	26
2.8.5.3	Klórsmælingar á steinsteypu.	26
2.8.5.4	Niðurstöður:	27
<b>2.9</b>	<b>ORSAKIR SKEMMDA, NIÐURSTÖÐUR:</b>	<b>28</b>
<b>2.10</b>	<b>ÁÆTLANIR UM VIÐGERÐARAÐFERÐIR</b>	<b>28</b>
2.10.1	Byggingaraðferðir:	29
2.10.1.1	Ásteypa utan á stöpla.	29
2.10.1.1.1	Kostir.	29
2.10.1.1.2	Ókostir	29
2.10.1.2	Klæðning á stöpla með steiptum einingum.	29
2.10.1.2.1	Kostir:	29
2.10.1.2.2	Ókostir:	29
2.10.1.3	Stóplar klæddir stálkápu.	29
2.10.1.3.1	Kostir.	30
2.10.1.3.2	Ókostir.	30
2.10.2	Frumathugun á gerð móta eða stálkápu	30
2.10.2.1	Ásteypa: Frumathugun	30
2.10.2.2	Stálkápa: Frumathugun	30
2.10.2.3	Leit í gagnabönkum:	30
2.10.3	Niðurstöður AV, nóv 1994.	30
2.10.3.1	Kostur 1:	30
2.10.3.2	Kostur 2:	31
2.10.4	Forsendur hönnunar og hönnunarvinna 1995-1996.	31
2.10.4.1	Þurrkví.	31
2.10.4.1.1	Forsendur:	31
2.10.4.1.2	Hreinsun stöpulþyfirborðs.	31
2.10.4.2	Byggingaraðferð.	32
2.10.4.2.1	Viðgerð stöpuls með álímdum forsteiptum plötum:	32
2.10.4.2.1.1	Hönnunarforsendur:	32
2.10.4.2.1.2	Þanmúr á bak við einingar:	32
2.10.4.2.1.3	Steypa í einingar:	32
2.10.4.2.2	Viðgerð stöpuls með staðsteyptri steypu	33
2.10.4.2.2.1	Hönnunarforsendur:	33
2.10.4.2.2.2	Kröfur til steypu:	33
2.10.4.2.2.3	Niðurlögn og aðhlúun:	33
2.10.4.2.2.4	Niðurstaða:	33
<b>2.11</b>	<b>VAL Á VIÐGERÐARAÐFERÐUM</b>	<b>34</b>
2.11.1	Umfang viðgerðar:	34
2.11.2	Viðgerðaraðferð:	34
2.11.3	Almennar kröfur til steinsteypu í sjó:	34
2.11.4	Rannsóknir á steinsteypu, rannsóknaraðferðir og markgildi rannsókna.	35
<b>2.12</b>	<b>FRAMKVÆMDA- OG KOSTNAÐARÁÆTLUN</b>	<b>35</b>
2.12.1	Kostnaður.	35
2.12.2	Framkvæmd:	36

<b>3</b>	<b>RANNSÓKNIR, PRÓFSTEYPUR OG STEYPA KÁPU Á STÖPUL 4, 1998 OG STÖPUL 9, 1999</b>	<b>37</b>
<b>3.1</b>	<b>Inngangur</b>	<b>37</b>
<b>3.2</b>	<b>Stöpull 4. Stöpkápa steipt 14. júlí 1998</b>	<b>37</b>
3.2.1	Undirbúningur	37
3.2.1.1	Flutningur og uppsetning aðstöðu	37
3.2.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	38
3.2.1.3	Öryggismál	38
3.2.1.4	Vinnupallar	38
3.2.1.5	Kví	39
3.2.2	Vinna við stöpul	40
3.2.2.1	Ástand stöpul	40
3.2.2.2	Hreinsun stöpul	41
3.2.2.3	Járnalögn	41
3.2.2.4	Mót	41
3.2.2.5	Steypa	41
<b>3.3</b>	<b>Lokafrágangur</b>	<b>46</b>
<b>3.4</b>	<b>Stöpull 9. Stöpkápa steipt 13. október 1999</b>	<b>47</b>
3.4.1	Undirbúningur	47
3.4.1.1	Aðstaða, verktakar	47
3.4.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	47
3.4.1.3	Öryggismál	47
3.4.1.4	Vinnupallar	47
3.4.1.5	Kví	47
3.4.2	Vinna við stöpul	48
3.4.2.1	Ástand stöpul	48
3.4.2.2	Hreinsun stöpul	48
3.4.2.3	Járnalögn	48
3.4.2.4	Mót	48
3.4.2.5	Steypa	48
3.4.2.5.1	Steypa: Uppskrift	48
3.4.2.5.2	Steypublanda:	49
3.4.2.6	Steypa: Framkvæmd.	49
3.4.2.7	Lokafrágangur	51
<b>3.5</b>	<b>Staða eftir kápusteypu á stöpla 4 og 9.</b>	<b>51</b>
<b>4</b>	<b>RANNSÓKNIR, PRÓFSTEYPUR OG STEYPA KÁPU Á STÖPLA 10/2002, 1/2003, 3/2004, 6/2004, 7/2005, 11/2006, 12/2006, 8/2007, 5/2009, OG 2 /2010.</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>Stöpull 10. Stöpkápa steipt 24. september 2002</b>	<b>53</b>
4.1.1	Undirbúningur	53
4.1.1.1	Aðstaða, verktakar	53
4.1.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	53
4.1.1.3	Öryggismál	53
4.1.1.4	Vinnupallar	53
4.1.1.5	Kví	54
4.1.2	Vinna við stöpul	54
4.1.2.1	Ástand stöpul	54
4.1.2.2	Hreinsun stöpul	54
4.1.2.3	Járnalögn	54
4.1.2.4	Mót	54
4.1.2.5	Steypa	54
4.1.2.6	Lokafrágangur	56
<b>4.2</b>	<b>Stöpull 1. Stöpkápa steipt 21. ágúst 2003</b>	<b>56</b>

4.2.1	Undirbúningur	56
4.2.1.1	Aðstaða, verktakar	56
4.2.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	56
4.2.1.3	Öryggismál	56
4.2.1.4	Vinnupallar	56
4.2.1.5	Kví	56
4.2.2	Vinna við stöpul	57
4.2.2.1	2.1 Ástand stöpuls	57
4.2.2.2	Hreinsun stöpuls	57
4.2.2.3	Járnalögn	57
4.2.2.4	Mót	57
4.2.2.5	Steypa	57
4.2.2.6	Lokafrágangur	62
<b>4.3</b>	<b>Stöpull 3. Stöpkápa steipt 28. júlí 2004</b>	<b>62</b>
4.3.1	Undirbúningur	62
4.3.1.1	Aðstaða, verktakar	62
4.3.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	62
4.3.1.3	Öryggismál	62
4.3.1.4	Vinnupallar	63
4.3.1.5	Kví	63
4.3.2	Vinna við stöpul	63
4.3.2.1	Ástand stöpuls	63
4.3.2.2	2.2 Hreinsun stöpuls	63
4.3.2.3	Járnalögn	63
4.3.2.4	Mót	63
4.3.2.5	Steypa	63
4.3.2.6	Lokafrágangur	64
<b>4.4</b>	<b>Stöpull 6. Stöpkápa steipt 14. október 2004</b>	<b>64</b>
4.4.1	Undirbúningur	64
4.4.1.1	Aðstaða, verktakar	64
4.4.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	64
4.4.1.3	Vinnupallar	64
4.4.1.4	Kví	64
4.4.2	Vinna við stöpul	65
4.4.2.1	Ástand stöpuls	65
4.4.2.2	Hreinsun stöpuls	65
4.4.2.3	Járnalögn	65
4.4.2.4	Mót	65
4.4.2.5	Steypa	65
4.4.2.6	Lokafrágangur	66
<b>4.5</b>	<b>Stöpull 7. Stöpkápa steipt 19. júlí 2005</b>	<b>66</b>
4.5.1	Undirbúningur	66
4.5.1.1	Aðstaða, verktakar	66
4.5.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	66
4.5.1.3	Öryggismál	66
4.5.1.4	Vinnupallar	66
4.5.1.5	Kví	66
4.5.2	Vinna við stöpul	66
4.5.2.1	Ástand stöpuls	66
4.5.2.2	Hreinsun stöpuls	66
4.5.2.3	Járnalögn	66
4.5.2.4	Mót	67
4.5.2.5	Steypa	67
4.5.2.6	Lokafrágangur	68
<b>4.6</b>	<b>Stöpull 11. Stöpkápa steipt 2. ágúst 2006</b>	<b>68</b>
4.6.1	Undirbúningur	68

4.6.1.1	Aðstaða, verktakar	68
4.6.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	68
4.6.1.3	Öryggismál	68
4.6.1.4	Vinnupallar	68
4.6.1.5	Kví	68
4.6.2	Vinna við stöpul	69
4.6.2.1	Ástand stöpuls	69
4.6.2.2	Hreinsun stöpuls	69
4.6.2.3	Járnalögn	69
4.6.2.4	Mót	69
4.6.2.5	Steypa	69
4.6.2.6	Lokafrágangur	70
<b>4.7</b>	<b>Stöpull 12 steyptur 5. október 2007</b>	<b>71</b>
4.7.1	Undirbúningur	71
4.7.1.1	Aðstaða, verktakar	71
4.7.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	71
4.7.1.3	Öryggismál	71
4.7.1.4	Vinnupallar	71
4.7.1.5	Kví	71
4.7.2	Vinna við stöpul	71
4.7.2.1	Ástand stöpuls	71
4.7.2.2	Hreinsun stöpuls	71
4.7.2.3	Járnalögn	71
4.7.2.4	Mót	72
4.7.2.5	Steypa	72
4.7.2.6	Lokafrágangur	73
<b>4.8</b>	<b>Stöpull 8. Stöpulkápa steypt 23. október 2007</b>	<b>73</b>
4.8.1	Undirbúningur	73
4.8.1.1	Aðstaða, verktakar	73
4.8.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	73
4.8.1.3	Öryggismál	73
4.8.1.4	Vinnupallar	73
4.8.1.5	Kví	73
4.8.2	Vinna við stöpul	74
4.8.2.1	Ástand stöpuls	74
4.8.2.2	Hreinsun stöpuls	74
4.8.2.3	Járnalögn	74
4.8.2.4	Mót	74
4.8.2.5	Steypa	74
4.8.2.6	Lokafrágangur	75
<b>4.9</b>	<b>Stöpull 5. Stöpulkápa steypt 28. júlí 2009</b>	<b>76</b>
4.9.1	Undirbúningur	76
4.9.1.1	Aðstaða, verktakar	76
4.9.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	76
4.9.1.3	Öryggismál	76
4.9.1.4	Vinnupallar	76
4.9.1.5	Kví	76
4.9.2	Vinna við stöpul	76
4.9.2.1	Ástand stöpuls	76
4.9.2.2	Hreinsun stöpuls	77
4.9.2.3	Járnalögn	77
4.9.2.4	Mót	77
4.9.2.5	Steypa	77
4.9.2.6	Lokafrágangur	77
<b>4.10</b>	<b>Stöpull 2. Stöpulkápa steypt 25. maí 2010</b>	<b>78</b>
4.10.1	Undirbúningur	78

4.10.1.1	Aðstaða, verktakar	78
4.10.1.2	Umferðastjórnun, merkingar	78
4.10.1.3	Öryggismál,	78
4.10.1.4	Vinnupallar	78
4.10.1.5	Kví.	78
4.10.2	Vinna við stöpul	78
4.10.2.1	Ástand stöpuls	78
4.10.2.2	Hreinsun á stöpli	79
4.10.2.3	Járnalögn	79
4.10.2.4	Mót	79
4.10.2.5	2.5 Steypa	79
4.10.2.6	Lokafrágangur	82

## **5 LOKAORÐ**

**83**



## Ending steypu í sjávarumhverfi.

Viðgerðir á stöplum Borgarfjarðarbrúar 1998-2010

### 1 Inngangur - yfirlit

Brú á Borgarfjörð var byggð á árunum 1975-1979 og er hún 520 m löng byggð í 13 x 40 m löngum höfum og var hún opnuð til umferðar árið 1979 eftir þriggja ára byggingartíma. Brúin er byggð við erfiðar aðstæður í mjög ágengum sjávarumhverfi.

Fljótlega eftir að stöplar brúarinnar höfðu verið steptir komu í ljós skemmdir í stöpli nr 4 (talið frá suðri til norðurs, landstöplar ekki taldir með) og nokkrum árum síðar fór að bera á skemmdum í fleiri stöplum.

Allt frá árinu 1977 var fylgst vandlega með þróun skemmda og margar skýrslur gerðar um ástand og tæringu stöplanna og á árunum 1982 – 1996 af Péttri Ingólfssyni (VSÓ).

Árið 1994 var skipaður vinnuhópur sem falið var það hlutverk að:

- Finna orsakir steypuskemmda þannig að hægt verði að segja fyrir um endingu steypu í sjó við sambærilegar aðstæður og í Borgarfirði.
- Hanna viðgerð á stöplum.
- Gera kostnaðaráætlun á viðgerðinni.
- Gera áætlun um tímasetningu viðgerða.

Vinnuhópurinn skipaðu: Einar Hafliðason, Birgir Guðmundsson og Rögnvaldur Gunnarsson.

Til þess að skilja orsakir skemmdanna og hvernig mætti bregðast við þeim voru gerðar viðamiklar rannsóknir á steypu í ágengu umhverfi og í framhaldi af því hannaðar steypublöndur sem ætlað var að standast þetta umhverfi.

Vinnuhópurinn réð til sín aðstoð frá Almennu Verkfræðistofunni (Gylfi Sigurðsson) ásamt Ólafi Wallevik, Hákonni Ólafssyni og Gísla Guðmundssyni frá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. Reynt var að fara yfir alla helstu þætti sem til greina komu til að skýra orsakir steypuskemmdanna.

Skýrslu var skilað í maí 1996 (Áfangaskýrsla um viðgerð á stöplum Borgarfjarðarbrúar) sjá kafla 2, þar sem gerð er grein fyrir skemmdaþróun, rannsóknum og athugunum frá 1980 fram til 1996. auk þess sem gerð er grein fyrir mögulegum viðgerðaraðferðum.

Í framhaldi af áfangaskýrslunni, maí 1996, var ákveðið að ráðast í tilraunaverkefni með Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. ***Steinsteypa í ágengu umhverfi – Kápusteypa á Borgarfjarðarbrú.*** Jafnframt var ákveðið að stept skyldi utan um skemmdasvæði stöplanna í þurrkví til að tryggja gæði hreinsunar og steypuvinnu.

Markmið verkefnisins var að aðlaga steypublöndu sem stæðist áraun sjávarins, þ.e. m.a. að koma í veg fyrir að efnabreytingar eigi sér stað í steypunni og búa til frostþolna steypu sem er auðveld í útlögn.

Árið 1999 eftir að kápa hafði verið steyppt á tvo stöpla, stöpul 4 og stöpul 9 verða kaflaskil í verkefninu.

Ekki tókst að framleiða nægjanlega einsleitna steypu með tilliti til styrks, þjáltni og góðs loftkerfis.

Nýr kafli tekur þá við þar sem áherslan er lögð á **veðrunarþolna steinsteypu án loftútblöndunar** og ráðist er í umfangsmikil tilraunaverkefni í samvinnu við Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins um gerð haldbærrar steypu sem staðist gæti þau ágengu umhverfisáhrif sem steypa í sjávarumhverfi verður fyrir. Jafnhliða sem tilraunir og þróun gefa tilefni til eru kápur steypnar á þá 10 stöpla sem eftir voru. Á þessu tímabili koma fram mjög virk íblöndunarefni sem tryggja útlögn steypunnar (sjálfútleggjandi steypa) ásamt styrk og þéttleika án hárrar vatns/sementstölu.

Stöplarnir voru steypptir samkvæmt eftirfarandi: nr./ár. 10/2002, 1/2003, 3/2004, 6/2004, 7/2005, 11/2006, 12/2006, 8/2007, 5/2009, og 2 /2010.

Tilgangur þessarar samantektar er að draga saman í eina skýrslu allar upplýsingar, rannsóknir og greinargerðir um viðgerðir á Borgarfjarðarbrú. Gerð er tilraun til að draga saman þá vitneskju sem fengist hefur með þeim rannsóknum og einnig hvernig rannsóknirnar hafa verið nýttar til viðgerða á brúnni.

Horft til framtíðar verður fróðlegt að skoða endingu steypunnar á einhverju árabili á þessari öld. Ekki er gert ráð fyrir að steypan endist til eilífdar, en þá er líka brýnt að það liggi fyrir á einum stað yfirlit og upplýsingar um allar þær mismunandi steypublöndur sem notaðar voru ásamt yfirlit yfir prófanir og niðurstöður prófana sem gerðar voru til að draga lærdóm af því sem gert var.

## 2 Áfangaskýrsla um viðgerð á stöplum Borgarfjarðarbrúar maí 1996



Borgarfjarðarbrú, byggð árin 1975-1979. Lengd 13 x 40 = 520 m

### 2.1 Inngangur og aðdragandi.

Fljótlega eftir að stöplar brúarinnar höfðu verið steiptir komu í ljós skemmdir í stöpli 4. Nokkrum árum síðar fór að bera á skemmdum í fleiri stöplum og hefur verið fylgst með þróun skemmda í stöplunum síðan. Í ágúst 1994 var haldinn sérstakur fundur um stöðu mála og lýsti Pétur Ingólfsson þar samanburði á rannsóknum sem gerðar voru á steypu Borgarfjarðarbrúar og bar þær saman við ástandsmatið samkvæmt skýrslu VSO/PI „Ástandsmat brúarstöpla, júlí 1994”.

Helstu niðurstöður eru eftirfarandi:

- Skemmdir á stöplum eru í meginatriðum þrennskonar.
- Eyðing steypu á stöpluhliðum á svæði milli -2,1 og -3,1. Þessi eyðing er byrjuð á öllum stöplum en er mislangt á veg komin.
  - Þar sem hún er lengst á veg komin hefur steypuþversnið rýrnað um 10%.
  - Staðbundnar skemmdir á stöpli sem orðnar eru svo stórar að þær hafa áhrif á burðargetu stöplulsins. Á stöpli 4 er skemmdin orðin svo umfangsmikil að hún rýrir burðargetu stöplulsins (í því sniði) um u.þ.b. 18%. Skemmdin á stöpli 1 er ekki eins stór og þar dugir en að hluta til viðgerðin sem framkvæmd var 1985.
  - Steypa í spíssum er víða mikið eydd og auk þess er ísvarnarjárn farið að ryðga verulega á takmörkuðum svæðum á stöplum 1,2 og 3. Virðist þessi ryðmyndun hafa verið mjög hröð. Þessi öra ryðmyndun er á takmörkuðu svæði á hverju ísvarnarjárn.
- Enn sem komið er ber ekki á því að bendistál stöpla sé farið að ryðga mikið, en eins og áður er getið hafa ísvarnarjárn farið að ryðga mjög hratt á nokkrum stöðum.
- Hraði eyðingar á stöpluhliðum er að meðaltali 2-3 mm/ári eftir að hún er komin af stað.
- Steypuskemmdir eru nú orðnar umfangsmiklar og burðargeta hefur rýrnað verulega.
- Skemmdapróun er komin á það stig að innan fárra ára verður járnagrind án steypuhulu á verulegu svæði á stöplum 1,4,5,6 og 9.
- Veruleg áhætta er tekin ef ekki verður gert við stöplana á næstu árum. Áhættan er fólgin í tveimur þáttum.

- Vegna eyðingar steypu hefur burðargeta minnkað og fer hratt minnkandi ef steypuhula fer algjörlega af steypustyrktarjárnunum.
- Steypustyrktarjárn er nú án þeirrar ryðvarnar sem basísk steypuhula gefur þeim. Í saltmettuðu umhverfi gætu þau ryðgað mjög hratt þegar ryðmyndun fer af stað.
- Ástand undirvatnssteypu hefur ekki verið kannað með reglubundnum hætti.

Í framhaldi af þessum fundi var skipaður vinnuhópur sem falið var það hlutverk að:

- Finna orsakir steypuskemmda þannig að hægt verði að segja fyrir um endingu steypu í sjó við sambærilegar aðstæður og í Borgarfirði.
- Hanna viðgerð á stöplum
- Gera kostnaðaráætlun á viðgerðinni.
- Gera áætlun um tímasetningu viðgerða.

Vinnuhópurinn var skipaður þannig:

Einar Hafliðason. Áætlanadeild, Reykjavík, formaður.

Birgir Guðmundsson, Vegagerðin, Borgarnesi.

Rögvaldur Gunnarsson, Framkvæmdadeild, Reykjavík

## 2.2 Skipulag verkefnisins.

Nefndin hóf störf um miðjan september 1994 og var verkefnið skilgreint og reynt að ná utan um atriði sem skoða þyrfti.

Eftirfarandi yfirlit var grundvöllur frekara skipulags á rannsóknarvinnu:

### 2.2.1 Gömul steypa:

Núverandi staða:

- Skýrslur um skoðanir á Borgarfjarðarbrú

Markmið rannsókna er að finna ástæður flögnunar og í framhaldi af því að skilgreina kröfur til steypu í sjó.

Heimildasöfnun:

- Steypa í sjó
- Ending steypu í stórstraumsfjöruborði
- Áhrif dýpis og vatnsþrýstings við þrýstingsbreytingu á sjávarföllum
- Áhrif seltustigs á endingu steypu

Skoðun:

Frekari skoðun og sýnatökur úr Borgarfjarðarbrú.

- Sýnataka • Ástand járnalagnar

Skoðun annarra mannvirkja í svipuðu umhverfi m.t.t ástands járnalagnar og álags frá ís.

- Brynjudalsá 1974 • Dýrafjörður • Eyjafjarðará 1986 • Ölfusá hjá Óseyrarnesi 1988
- Önundarfjörður 1980

Samanburður á niðurstöðum steypurannsókna í Borgarfirði og mannvirkja við svipaðar aðstæður.

Safna saman gögnum sem til eru á steypu í ofanefndum brúm og bera saman við niðurstöður.

Sýnataka úr brúm í sjó með kjarnabor.

Rannsóknir á sýnum úr brúm í sjó:

- Veðrunarþol
- Steypa
- Steinefni
- Sement
- V/S-tala
- Loft-Loftdreifing
- Saltinnihald
- Pökkun
- Mekanísk mótstaða.

Prófanir miðist við að finna hvað hafi ráðið úrslitum um endingu steypu í Borgarfjarðarbrú.

Aldur steypu þegar hún verður fyrir þrýstingi sjávar.

- Seltustig sjávar
- Pökkun steypunnar
- Þrýstingsbreytingar vegna sjávarfalla
- V/S-tala
- Loft-Loftdreifing
- Steinefni.

### 2.2.2 Ný steypa

Heimildasöfnun miðast við að finna kröfur úr erlendum stöðlum og verklýsingum ásamt samanburði við rannsóknir og tilraunir.

Kröfur til steypu í sjó:

- Styrkur
- Loft-Loftdreifing
- Sement
- V/S-tala
- Hörðunartími áður en sjó er hleypt á steypu
- Íblöndunarefni
- Þjálnefni
- Trefjar.

Undirvinna gamallar steypu:

- Þurrkun
- Hreinsun

Sprungumyndun í nýrri steypu:

- Steypuaðferð
- Áfangaskipting

Rannsóknir:

- Prófsteypa
- Veðrunarþol
- Styrkur
- V/S-tala
- Mekanísk áraun
- Íblöndunarefni.

### 2.2.3 Stálkápa

Heimildasöfnun:

- Ryðfrítt stál
- Stáltegundir
- Verð
- Suða-suðuaðferð
- Ending í sjó
- Mekanísk áraun

Rannsóknir:

- Ending í sjó
- Stál
- Suða-suðuaðferð

## 2.3 Hönnun og framkvæmd:

### 2.3.1 Ásteypa:

Hönnun þurrkvíar:

- Frumathugun
- Frumdrög að mögulegum lausnum
- Yfirlitsmynd
- Snið
- Samsetning
- Uppsetning
- Áfangaskipting
- Magntaka og kostnaðarmat

- Gróf magntaka • Gróft kostnaðarmat • Samanburður mögulegra lausna.

Hönnun móta:

- Frumdrög að mögulegum lausnum • Yfirlitsmynd • Snið • Samsetning • Uppsetning
- Áfangaskipting • Magntaka og kostnaðarmat • Gróf magntaka • Gróft kostnaðarmat
- Samanburður mögulegra lausna.

Steypa:

- Járnun • Íblöndunarefni • Trefjar • Titrun • Loft-Loftdreifing • Steyputækni
- Aðhlúun

### 2.3.2 Stálkápa:

Hönnun stálkápu:

- Frumathugun • Frumdrög að mögulegum lausnum • Yfirlitsmynd • Snið
- Samsetning • Uppsetning • Áfangaskipting • Magntaka og kostnaðarmat
- Gróf magntaka • Gróft kostnaðarmat • Samanburður mögulegra lausna.

Steypa milli stöplum og stálkápu

- Járnun • Íblöndunarefni • Trefjar • Titrun • Loft-Loftdreifing • Steyputækni
- Aðhlúun

### 2.3.3 Vinna við verkefnið:

Leitað hefur verið aðstoðar eftirtalinnna aðila við úrlausn verkefnisins:

VSÓ/Pétur Ingólfsson (PI) og Einar Stefánsson (ES):

- Skoðanir á stöplum
- Sýnataka úr stöplum.
- Ýmsar forathuganir vegna tilrauna til skýringa á orsökum skemmda.

Almenna verkfræðistofan/Gylfi Sigurðsson (GS) og Pálmi Lárusson (PL):

- Frumhönnun þurrkvíar og síðan lokahönnun.
- Heimildaleit í gagnaböndum.
- Athuganir á útfærslu með stálkápu.
- Ýmsar athuganir vegna steypurannsókna og steyputækni m.t.t. úrvinnslu á forsteypum einingum og ásteypu.

TV h/f Tækniþjónusta Verktakar /Tryggvi Jakobsson:

- Athuganir á tækjabúnaði og aðferðafræði vegna háþrýstibrots á steypufirborði stöpla.

Djúpmýnd h/f:

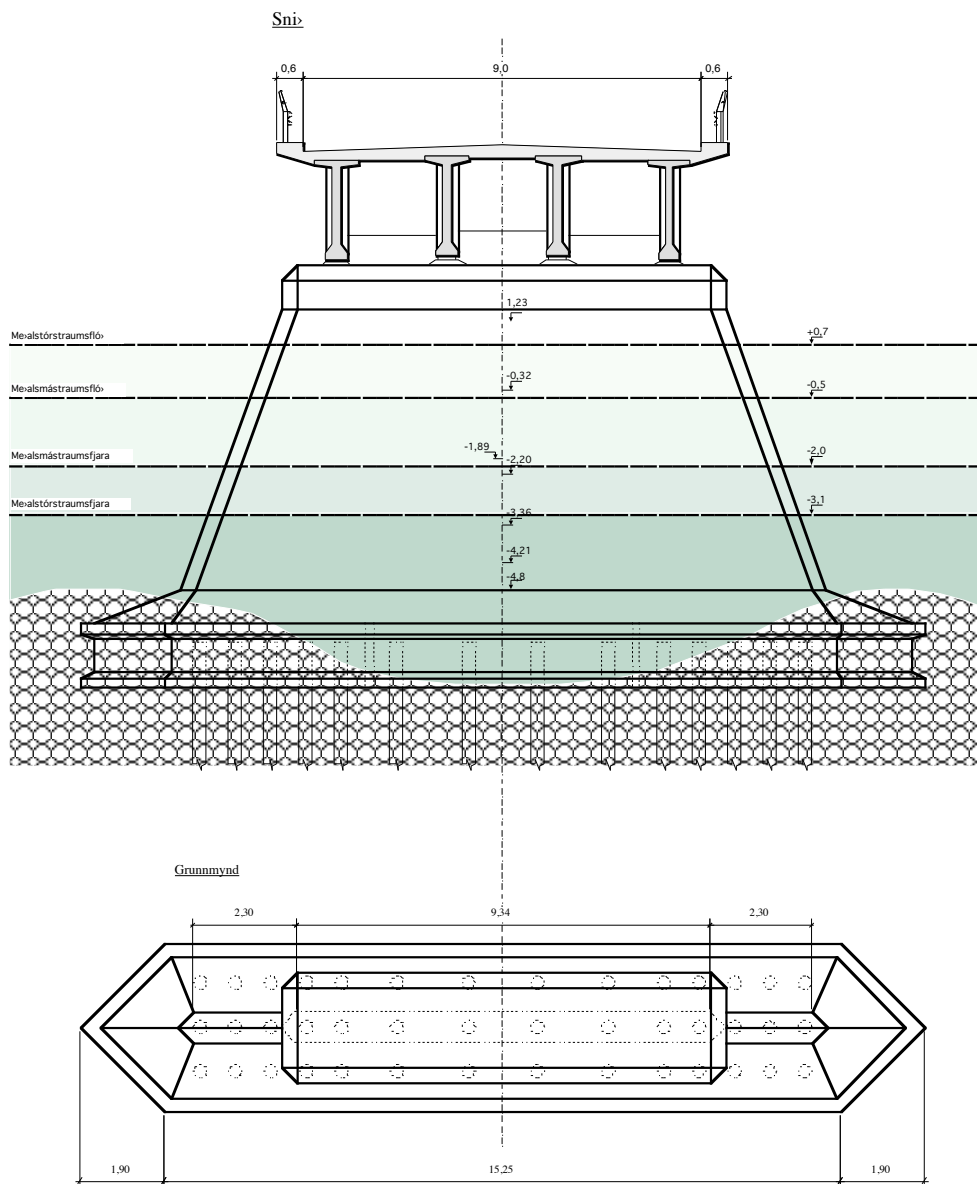
- Neðansjávarmyndataka af stöplum.
- Sýnataka úr stöpli 6 neðan sjávarborðs.

Auk ofangreindra aðila hafa starfsmenn Vegagerðarinnar í Borgarnesi og Reykjavík komið að úrvinnslu ýmissa verkefna.

## 2.4 BYGGINGARAÐFERÐIR OG AÐSTÆÐUR Í BORGARFIRÐI

Brú á Borgarfjörð var byggð á árunum 1975-1979 og er hún 520 m löng byggð í 13 x 40 m höfum. Yfirbyggingin sem hvílir á 12 steypum millistöplum, er gerð úr forsteypum bitum sem framleiddir voru í verksmiðju í landi og þeim fleytt út með flotkrana. Ofan á bitana er steyp plata, 0,25 -0,3 m þykk. Notað var hraðsement (með dönsku gjalli).

Undir stöplana voru reknir 15 m langir tréstaumar, 42 stk. pr. stöpul.



Stöplar Borgarfjarðarbrúar

Til að auðvelda uppsteypu stöplanna úti í firðinum var neðsti hluti þeirra, svokölluð mótaskel, framleidd uppi á landi og henni fleytt út á fjörð með áföstum mótum og járnalögn fyrir stöpulinn. Mótaskel með mótum var síðan sökkt niður yfir staurana í réttri hæð og planlegu. Í mótaskel og í neðri hluta stöpulmóta upp í kóta ca -4,1 var steyp t með undirvatnssteypu. Mótið var síðan þurrkað, yfirborð dagsamallar undirvatnssteypunnar hreinsað og steyp t í stöpulmótið.

Stöplar 1-6 voru steyp t á árið 1976 og stöplar 7-12 steyp t 1977. Yfirbygging brúarinnar var byggð 1978 og 1979. Árið 1980 var vegfylling tengd við Borgarnes og vegurinn opnaður til umferðar sumarið 1980.

Sjávarsveifla Borgarfjarðar :

- Meðalstórstraumsflóð: +0,7 m
- Meðalsmástraumsflóð: -0,5 m
- Meðalsmástraumsfjara: -2,0 m
- Meðalstórstraumsfjara: -3,1 m

## 2.4.1 Skemmdastig stöpla – steypueiginleikar- frásláttur móta

(VSÓ - Stöplar Borgarfjarðarbrúar - Samantekt steypurannsókna - Október 1994)

Stöpull	Skemmdarstig	Byggingarár	Steypust. kg/cm <sup>2</sup>	Loft %	Rúmp. kg/m <sup>3</sup>	V/S tala	Fylliefni Stafholtsey/Höfn %	Frásláttur efra/neðra mót
1	1	76	475	5,6	2459			2/8
2	2	76	450	5,5	2478	0,53		2/6
3	2	76	472	5,1	2459	0,52-0,56	93,5 6,5	1/14
4	1	76	495	4,9	2454	0,51-0,53	93,5 6,5	1/20
5	1	76	507	5,4	2468	0,51-0,55	93,5 6,5	2/
6	1	76	509	4,0	2462	0,53-0,61	93,5 6,5	10/26
7	3	77	498	3,7	2424	0,59-0,60	94,5 5,5	10/
8	2	77	375	5,6	2386	0,55-0,56	94,5 5,5	6/
9	1	77	366	5,9	2391	0,52-0,54	97,1 2,9	6/
10	2	77	422	5,6	2385	0,52	97,1 2,9	12/
11	3	77	472	5,0	2387	0,51-0,52	97,1 2,9	20/
12	3	77	480	5,4	2387	0,47-0,49	97,1 2,9	15/

Skemmdarstig 1 Miklar staðbundnar skemmdir flögnun á stöpluhliðum > 3 cm.

Skemmdarstig 2 Flögnun á stöpluhliðum milli 2 og 3 cm.

Skemmdarstig 3 Flögnun á stöpluhliðum minni en 2 cm.

## 2.5 SKEMMDAÞRÓUN - TIL 1996

### 2.5.1 Yfirlit.

Strax eftir veturinn 1976 - 1977 kom fram staðbundin steypuskemmd á stöpli 4 og skellur í yfirborði stöplanna þar sem sementsefjulag í yfirborði hafði flagnað af og yfirborð steypunnar var orðið hrjúft.



Skemmdir á stöpli 3, 25. maí 1994

Þróun steypuskemmdanna hefur verið á þann veg að skipta má þeim í tvo flokka.

- Staðbundnar skemmdir sem augljóslega má rekja til þess að blöndun steypunnar hefur mistekist. Þessar skemmdir eru neðarlega á stöpli 1 og 2 og á miðjum stöpli 4.
- Eyðing steypuyfirborðs á stöpluhliðum. Þessi eyðing er mest, og í byrjun nær eingöngu á svæðinu milli smástraumsfjöru og stórstraumsfjöru.

Skemmdaþróunin er mishröð. Staðbundnu skemmdirnar urðu innan fárra ára það slæmar að járnagrindin varð sýnileg.





Dæmigerðar flögnunarskemmdir á stöpli.

Flögnunin á hliðunum er rólegra ferli og er eyðing 2-3 mm á ári eftir að flögnunin er komin af stað.

Í dag er ástand stöpla orðið mjög slæmt. Þar sem eyðingin er lengst komin er hún 30-40 mm þannig að steypuhulan á járnagrindinni er aðeins 10-20 mm. Eyðingin hefur einnig færst ofar á stöplana. Af 12 millistöplum eru nú aðeins 3 stöplar sem eru í viðunandi ástandi.

Í skýrslum sem gerðar voru um steypuskemmdirnar á árunum 1977-1979 kemur m.a. fram:

- að þykkt sementsefjulag var á yfirborði stöplum vegna mjög þéttra móta.
- að ágangur íss er talsverður á stöplana.
- að frostsKemmdir séu hugsanlegur orsakavaldur.
- að verið gæti að of fljótt hafi verið slegið frá stöplum
- að orsök skemmda gæti verið súlfatvirkni eða alkalivirkni.

Við framleiðslu steypunnar, steypueftirlit ásamt steypurannsóknunum var allri tiltækri þekkingu og reynslu beitt til að tryggja sem bestan árangur í steypugæðum. Mjög vandlega var reynt að fylgjast með blöndunartíma ásamt vatnsnotkun og öll frávik frá fyrirhuguðum blöndunarhlutföllum skráð skilmerkilega. Þetta eftirlit kom þó ekki í veg fyrir að blöndun virðist hafa mistekist í þremur steypubílum eins og strax kom í ljós ofarlega á stöpli 4 og neðarlega á stöpli 1 og 2.

Þessar skýrslur eru mikilvæg gögn í dag til að geta metið hvað og hvort eitthvað hefur farið úrskaiðis í þessum þætti ferilsins.

### 2.5.2 Vettvangsskoðanir:

Eins og áður hefur verið greint frá hafa stöplar verið skoðaðir með reglubundnum hætti. Skoðunin hefur verið framkvæmd með sjónmati, skráningu á þeim svæðum sem steypa er að skemmast, mælingu á eyðingu steypu og myndatöku af stöplum.

Hér á eftir er yfirlit yfir þær skýrslur sem gerðar hafa verið:

- 1 RB -122 Skoðunarferð 3. maí 1977
- 2 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - BPP 10.2.1977
- 3 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka -uppdættir- JH,KSB, SvO 4.5.1977
- 4 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla eftir viðgerðir - ljósmyndir. LR 29.9.1997
- 5 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - SvO 8.2.1978
- 6 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - uppdættir- LR 26.4.1978
- 7 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - KSB 27.2.1979
- 8 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - PI 7.6.1979
- 9 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - SvO 18.3. 1980
- 10 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - BPP 15.5. 1980

- 11 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - uppdr. SvO, LR1.7. 1981
- 12 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - PI 24.5. 1982
- 13 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - uppdrættir- PI 7-9-1983
- 14 Borgarfjarðarbrú - myndataka - GIW. vor 1984
- 15 Borgarfjarðarbrú - myndataka - PI júlí 1984
- 16 Borgarfjarðarbrú - skoðun - uppdrættir sept 1984
- 17 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - PI 26.5.1986
- 18 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - PI 13.5.1988
- 19 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - PI 1990
- 20 Borgarfjarðarbrú - skoðun stöpla - myndataka - matslykill - VSÓ júlí 1992
- 21 Borgarfjarðarbrú - ástandsmat brúarstöpla - VSÓ júní 1993
- 22 Borgarfjarðarbrú - ástandsmat brúarstöpla - VSÓ júlí 1994
- 23 Borgarfjarðarbrú - ástand millistöplars nr. 4 - VSÓ janúar 1996
- 24 Borgarfjarðarbrú - Skoðun stöpla 4 og 5 GIW mars 1996

BPP – Baldur Þór Þorvaldsson, JH – Jakob Hálfánarson, KSB – Kristján S. Baldursson, SvO – Svavar Ottósson  
 LR – Lórens Rafn Kristvinsson, GiW – Guðmundur Ingi Waage

### 2.5.3 Matslykill.

Til að fá mynd af skemmdaþróun stöplanna og til að auðvelda samanburð milli stöpla var gerður matslykill fyrir staðbundnar skemmdir, skemmdir á spíss og flögnun á stöpulhlíðum.

#### Matslykill VSÓ júlí 1992

Einkunn	Staðbundnar skemmdir	Spíss	Stöpulhlíð
	<b>SK</b>	<b>S</b>	<b>H</b>
1	Engar	Engar	Engar
2	Steinar dottir úr steypu	Slit sést en er ekki mælanlegt	Steinar sjást í yfirborði
3	Litlar staðbundnar holur. Stærð < 20x30 sm. Dýpi < 2 sm.	Brúnir farnar að afrúnnast en steinar ekki farnir að losna.	Slit langs eftir stöpli á meira en 30 sm breiðu svæði. Dýpi 1-3 sm
4	Litlar staðbundnar holur. Stærð < 30x30 sm. Dýpi < 3-4 sm.	Verulegt sjáanlegt slit á spíss 2-4 sm. Sést undir ísvarnarjárn.	Slit langs eftir stöpli. Dýpi 3-4 sm.
5	Stærð > 30x30 sm. Sést í járn.	Steypa farin að brotna verulega úr spíss og sést í járn.	Dýpt allt að 4 sm. Sést í járn
6	Járngrind sýnileg.	Járngrind sýnileg.	Járngrind sýnileg.

### 2.5.4 Lýsing skemmda:

Eftirfarandi eru samandregnar niðurstöður úr skoðunarskýrslu VSÓ frá júlí 1994 þar sem lýst er þróun skemmda og spáð í framtíðina.

- Stöpull 1 Viðgerðin á spíss Seleyrarmegin að neðan er ónýt en að öðru leyti standa viðgerðirnar sig ágætlega. Á næstu árum mun steypa eyðast í spíss að neðan og járngrind verða sýnileg.
- Stöpull 2 Mjög litlar breytingar milli ára en spíssjárn að ofan að verða ónýt.
- Stöpull 3 Spíssar að verða ónýtir og lítil vörn fer að verða í spíssjárn því það er orðið verulega ryðgað. Eyðing í stöpulhlíð Borgarnesmegin er komin vel af stað.
- Stöpull 4 Ef bornar eru saman myndir af skemmdum frá 1992 og 1994 er ljóst að þróunin er ör. Árið 1992 voru 10 möskvar sjáanlegir, árið 1993 voru 15 möskvar sjáanlegir en 1994 eru 22 möskvar sjáanlegir. Skemmdin er vel afmörkuð og því mun umfang hennar ekki aukast jafn hratt og milli árána 1992 og 1994.
- Stöpull 5 Varla er meira en 1-2 ár þangað til járngrind í spíss verður sýnileg og það fer að sjást í járn á stöpulhlíð Borgarnesmegin. Eyðing er orðin það mikil að steypuþversniðið hefur rýrnað um 10 %
- Stöpull 6 Sú breyting hefur orðið að nú sést í járn á einum stað. Ástand stöplarsins svipað og stöplars 5 þótt spíssar séu mun betri. Alvarleg er hin mikla eyðing stöpulhlíða Borgarnesmegin. Eyðing er orðin það mikil að steypuþversniðið hefur rýrnað um 10 %.
- Stöpull 7 Stöpullinn lítur mun betur út en stöpull 5 og 6. Þessi stöpull hefur verið flokkaður sem góður en nú eru skemmdir að fara af stað.
- Stöpull 8 Eyðing á stöpulhlíð Borgarnesmegin hefur verið ofmetin 1993. Nú mældist hún með réttsekið 2-3 sm þar sem hún var mest
- Stöpull 9 Nú er farið að sjást í lóðrétt járn Borgarnesmegin og er steypuyfirborð orðið gróft og stakir steinar farnir að standa út úr því. Það er því ljóst að á næstu árum mun steypuhulan eyðast á stórum svæðum af járngrindinni. Þennan stöpl þyrfti að gera við strax.
- Stöpull 10 Stöpull er lítið eyddur nema á svæði á Seleyrarhlíð þar sem brátt getur farið að sjást í járn.
- Stöpull 11 Eyðing er að byrja á stöpulhlíð Seleyrarmegin að ofan, en að öðru leyti stendur stöpullinn sig vel.

Stöpull 12 Eyðing stöpulhlíða er að fara af stað og staðbundnar skemmdir sem nú eru orðnar djúpar munu stækka hratt.

### 2.5.5 Athuganir Péturs Ingólfssonar, VSÓ.

Auk þess sem PI hefur verið með í skoðun stöpla frá upphafi hefur hann verið til ráðgjafar um að finna orsakir skemmdanna. Teknar hafa verið saman skýrslur og yfirlit til glöggvunar á samhengi mála ásamt tillögugerð um rannsóknir. PI hefur einnig haft umsjón með sýnatökum 1994.

- Borgarfjarðarbrú. Ástandsmat brúarstöpla júlí 1994
- Viðgerð á stöplum Borgarfjarðarbrúar. VSÓ 1994
- Stöplar Borgarfjarðarbrúar. Rannsóknaráætlun fyrir steypu. VSÓ sept. 1994
- Stöplar Borgarfjarðarbrúar. Samantekt steypurannsókna. VSÓ okt. 1994
- Stöplar Óseyrarbrúar. Landstöplar Brynjudalsárbrúar Bogaspyrna Brákarsundsbrúar. Ástandsmat VSÓ nóvember 1994
- Minnisblað um Viðbótarrannsóknir - Skemmdaorsök 19.9.1994
- Minnisblað um samtal við Kyösti Tuutti 23.1.1995  
Ályktun Tuutti eftir að hafa litið yfir niðurstöður úr skýrslu Rb 94-23 er að:
  - Alkalíinnihald steypunnar er of mikið.
  - Steypan er óþétt, v/s-tala of há, og vatn ætti greiða leið inn í steypuna sem gæfi möguleika á jónaskiptum.
  - Ekki er um súlfatvirkni að ræða.
  - Halda þarf alkalíinnihaldi steypunnar niðri með því að velja lágalkalí sement og fylliefni án alkalíefnasambanda.
  - V/s-tala ætti að vera minni en 0,4 og fjarlægðarstuðull minni en 0,15, helst minni en 0,1.
  - Efnagreiningar eru enn of fár til að vera markvissar.

Ath. Síðari rannsóknir benda ekki til að alkalíinnihald steypunnar sé of mikið. Lágalkalí sement leysir því ekki endilega vandamálið

### 2.5.6 Ástand og þróun skemmda frá 1994:

Skoðun á þróun skemmda frá 1994 með hliðsjón af þeim spám sem þar voru fram settar virðast ætla að ganga eftir sbr. síðustu skoðanir frá des 1995 og mars 1996

*Í skýrslu VSÓ frá janúar 1996 kemur eftirfarandi fram vegna skoðunar á stöpli 4:*

#### **Mat á skemmdum.**

Til að átta sig betur á hversu hratt steypa skemmist hafa verið teiknuð þau steypustyrktarjárn sem steypuhulan er farin af þegar myndir voru teknar 1992, 1993, 1994 og 1995.

Ljóst er að útbreiðsla skemmdanna eykst nokkuð svipað frá ári til árs.

1992 sést í 4 m af bendistáli

1993 sést í 6,4 m af bendistáli

1994 sést í 10,6 m af bendistáli

1995 sést í 13,3 m af bendistáli

Umfang skemmdanna nú í árslok 1995 er orðið nokkuð svipað og það var áður en viðgerð fór fram 1985 nema að viðgerðin tollir enn á hluta spíssins

Þar sem mest er flagnað af stöplinum Borgarnesmegin eru 180 mm eyddir burt.

Ekki var hægt að mæla eyðinguna Seleyrarmegin en hún virðist aðeins minni en eyðingin Borgarnesmegin.

Þykkt stöplulsins er því ca 35 sm þar sem hann er þynnstur.

Hraði eyðingarinnar Borgarnesmegin milli ára er eftirfarandi:

1992 dýpt 100 mm

1993 dýpt 120 mm 1 ár

1994 dýpt 180 mm 1 1/2 ár.

Reikna má því með að eyðingin sé milli 3 og 4 sm á ári.

#### **Rýrnun á burðargetu stöpluls.**

Í því sniði sem skemmdir eru mestar eru 55 lóðrétt járn. Af þeim eru nú 8 óvirk eða 14%. Reikna má með að 2 járn verði óvirk á ári (sem þýðir að burðargeta rýrnar um 4%) þannig að útbreiðsla þessarar skemmdar mun ekki hafa afgerandi áhrif á burðargetu stöplulsins þótt ekki verði gert við hann 1996. Hins vegar má gera ráð fyrir að rýrnun burðargetu verði orðin yfir 20% 1997 einungis vegna þessara skemmda.

### Ástand stöpluls að öðru leiti.

Aðstæður leyfðu ekki að steypuskemmdir innar á stöpli Seleyrarmegin væru skoðaðar en ljóst er að skemmdirnar hafa stækkað töluvert frá 1994. Ekki sést í járn.

Þá er rétt að minna á að neðan við viðgerðir í kóta -2,7 var eyðing mæld á mikilli fjöru 1993 30-40 mm eftir allri stöpulhlíð.

Búast má við að á þessu svæði fari að sjást í járn strax á þessu ári.

Ástand spiss að neðan var lítið breytt frá fyrri árum og sást aðeins í eitt standandi járn.

### Í skýrslu frá GIW mars 1996 kemur eftirfarandi fram vegna skoðunar á stöplum 4 og 5:

Töluverð aukning hefir orðið á útbreiðslu skemmda. Nú sjást vel níu lóðrétt járn og örlar á því tíunda Seleyrarmegin í stöpli 4 og tólf járn Borgarnesmeigin. Þá er farið að sjást í gegn um stöpul innan við ísvarnarjárn.

Í stöpli 5 er farið að sjást í járn á flögnuðu svæði sem nær niður undir lágmarksvatnsborð (stórstraumsfjöru).

Skemmdasvæðið er mun neðar í þessum stöpli en í stöpli 4 og er mun meira Borgarnesmeigin. Áhyggjuefni er að flögnun virðist ná eftir endilöngum stöpli þannig að líklegt er að járnagrind komi nánast samtímis út á allri hlíð stöpluls.

Hér er vert að minna á að stöpull 4 var frá upphafi gallaður þar sem mistök urðu í framleiðslu steypunnar hvað varðar 1-2 steypubíla.

### 2.5.7 Niðurstöður:

Almennt má þó segja að:

- Bendistál stöpla er almennt ekki farið að rýrna mikið nema í stöpli 4 þar sem steypuhulan er horfin af steypustyrktarjárnunum.
- Bendijárn í stöplum þar sem þau eru hulin steypu sýna engin merki tæringar.
- Ísvarnarjárn eru farin að ryðga mjög hratt á nokkrum stöðum.
- Þróun síðustu ára, 1994-1996 staðfestir að innan fárra ára verður járnagrind án steypuhulu á verulegu svæði á stöplum 1,4,5,6 og 8.
- Skoðunarskýrslur staðfesta að steypa flagnar jafnt og stöðugt.

### 2.6 VIÐGERÐIR

Hér á eftir verður gefið örstutt yfirlit yfir þær viðgerðir sem fram hafa farið og gefin lýsing á endingu þeirra.

**1979:** Á árunum 1977-1979 var ráðist í umfangsmiklar viðgerðir með epoxy-viðgerðarefnum.



Viðgerð á stöpli 2 1979 Mynd tekin í mars 1980

Annars vegar var gert við staðbundnar skemmdir á stöplum 1, 2 og 4, hins vegar var fyllt í flögnunarskemmdir á yfirborði stöplanna. Þar sem dýpt yfirborðsskemmdanna var á þessum tíma minni en 10 mm var hér um mjög þunnt lag að ræða. Þessar viðgerðir entust flestar mjög stutt. Yfirleitt losnaði viðgerðin í heilu lagi frá stöplinum. Þó hafa nokkrir viðgerðir fletir dugað allt til dagsins í dag og sjást á stöplunum sem hvítar skellur.

**1981:** Sumarið 1981 var steyppt utan um neðanverðan stöpl 2. Smíðuð var þurrkví sem náði utan um hluta af stöplinum, ónýtt steypa fjarlægð og 100-150 mm kápu bætt staðbundið utan á stöplendann að utanverðu (neðanverðu). Þessi viðgerð hefur staðist þokkalega en byrjað er að sjást á henni.

**1985:** Árið 1985 var gerð tilraun til að gera við og lagfæra nokkra stöpla. Til þess voru valin nokkur viðgerðarefni sem þá voru á markaðinum auk þess sem nokkrir stöplar voru einnig málaðir. Viðgerðirnar voru unnar af pramma á fjórum stórstraumsfjörutímabilum um sumarið. Óvenju gott veður var á meðan unnið var að viðgerðunum og féll vinna niður í aðeins 2 daga vegna veðurs. Hreinsun steypu var gerð með sandblæstri auk fleygunnar og í sumum tilfellum var reynt að þurrka steypu með gastækjum. Viðgerðarefnin voru hrærð í smáum skömmtum þar sem þau voru flest hver hraðharðnandi. Við notkun hinna ýmsu viðgerðarefna var unnið í fyllsta samráði og í sumum tilfellum með aðstoð umboðsaðila þeirra.

Eftirfarandi efni voru notuð:

Steypuskemmd stöpli 1: Frá Liquid Plastics Ltd. - Vernd:	FCR 841 FCR 843 FCR 845 FCR 851 FCR 847	Stálvari Viðgerðarefni fínt Viðgerðarefni gróft Sementsmálning Yfirborðsstyrkir.	
Steypuskemmd stöpli 4: Frá SBD - Olís:	Epoxy plus bonding aid Epoxy plus low slump mortar Mulsifix fast set mortar SBD Solvent	Steypulím Viðgerðarefni Viðgerðarefni Leysir	
Aðrir stöplar: Frá Málningu hf..	Epoxy plus penetrating sealer Ritecure Steinvari 2000 Vatnsvari 40 Steypulím	Styrkir Steypuþekja Málning Monosílan	
Frá American Chemical Corp.	Aquata Paint	Epoxy málning.	



Viðgerð á stöpli 4 1985

### 2.6.1 Niðurstaða.

Í stystu máli sagt hafa þessi efni endist misvel. Ekki hefur verið gerð nákvæm úttekt á hversu lengi þau entust en í dag má heita að flestar þessar viðgerðir séu orðnar ónýtar.

## 2.7 RANNOKNIR Á BORGARFJARÐARBRÚ TIL 1994

### 2.7.1 Yfirlit.

Fram til ársins 1994 voru gerðar nokkrar rannsóknir til að reyna að greina orsakir þeirra skemmda sem komu strax fram á stöplunum.

M.a. voru gerðar mælingar á frostþoli, lofti, loftdreifingu og klórmagni í steypunni:

- 1) Alkalívirgni, frostþíðupróf og lofttalning. 1985
- 2) Saltinnihald, rakainnihald, mettvatn, porösitet, rúmþyngd og loftdreifing. 1986.

### 2.7.2 Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. H84/1176 15. mars 1985 og júlí 1985:

*Kjarnar teknir úr stöplum 1, 6 og 9. árið 1984.*

#### 2.7.2.1 Alkalívirgni:

Allir kjarnar voru skoðaðir í smásjá og alkalítala þeirra ákvörðuð. Alkalítalan er summa 6 mismunandi þátta (gamlar sprungur, nýjar sprungur, virk korn, nýtt alkalíhlaup, alkalíhlaup í bóllum, hlaup í sprungum) sem geta tengst alkalívirgni. Af þeim er alkalíhlaup eina ákveðna vísbendingin um alkalívirgni. Hver þáttur er metinn á bilinu 0-2. Þannig getur alkalítalan mest orðið 12.

0 = engin virkni, 1-3 = mjög lítil virkni, 3-6 = meðal virkni, 7-9 = kröftug virkni, 9-12 = mjög kröftug virkni.

*Alkalívirgni í stöplum 6 og 9.*

Sýni nr.:	9-2	9-3	9-4	9-5	6-1	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6
Gamlar sprungur	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Nýjar sprungur	1	1-2	1	1	1	1	1	1	1	1
Virk korn	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Nýtt hlaup	0	0	0	0	0	0	1-2	1	0	0
Hlaup í bóllum	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Hlaup í sprungum	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alkalítala:	1	1-2	1	1	0	1	3-4	5	1	1

#### 2.7.2.2 Frost-þíðu próf og lofttalning:

Frost-þíðu próf samkvæmt staðli NT 209 með mismunandi undirbúningi sýna, sem miðaðist við að líkja að nokkru eftir aðstæðum í stöplinum.

Sýni úr stöpli 9 voru geymd við mismunandi vatnsþrýsting fyrir prófun.

- Aðferð A: Sýni sett beint í frost-þíðu feril.
- Aðferð B: Sýni sett undir 3,9 m háa vatnssúlu í 24 klst fyrir prófun.
- Aðferð C: Sýni eftir aðferð A sem ekkert sást á eftir 5 daga var vatnsmettað með suðu og sett á ný í frost-þíðu próf.

Sýni úr stöpli 1 og 6 voru prófuð með sjó í stað 3% NaCl-upplausnar. Seltumagn sjávarins reyndist vera 1,5%. Fyrir prófun voru kjarnarnir látnir vera undir 1 m vatnssúlu í 25 daga.

Í kjörnum þeim sem prófaðir voru varðandi frostþol var loftmagn og loftdreifing mæld skv. ASTM C-457.

### Lofttalning í sýnum úr stöplum 1,6 og 9.

Sýni nr	Hæð sýna í stöpli	Aðferð	Yfirb. loftb. [mm <sup>-1</sup> ]	Fjarl. stuðull [mm]	Heildar-loft-magn[%]	Flögn-un [kg/m <sup>2</sup> ]	Dýpstu holur v/ flögn. [mm]	Skemmda flötur (% af yfirborði)	Einkunn	Skemmda-stig
9-2I	-2,7	A	19	0,32	2,7	0,8	4-5	60-65	3-4	Nokkrar til miklar
9-2II	-2,7	B	27	0,26	2,3	1,5	8	85-90	5	Miklar
9-3I	-2,9	A	25	0,24	2,7	0,47	4-5	50	3	Nokkrar
9-3II	-2,9	B				0,76 <sup>2)</sup>	8	65	3-4	Nokkrar til miklar
9-4I	-1,5	A								Ónýtur
9-4II	-1,5	C				3,4 <sup>1)</sup>	19	100	5	Miklar
9-4III	-1,5	B	26	0,21	3,9	0,47	3	65-70	3	Nokkrar
9-5I	-0,4	A	25	0,25	1,8	0,25	3	70	3	Nokkrar
9-5II		B <sup>3)</sup>	32	0,2	2,7	0,23	3	55-60	2-3	Litlar til nokkrar
1-I		<sup>3)</sup>				0,09	0-1	10-15	1	Litlar
1-IV		<sup>3)</sup>				0,02	0-1	10	1	Litlar
6-V		<sup>3)</sup>				0,08	0-1	10-15	1	Litlar

<sup>1)</sup> Var aðeins í 15 umferðir

<sup>2)</sup> Soðinn eftir 5 daga

<sup>3)</sup> Sjór í stað 3% NaCl, 1m vatnssúla í 25 daga fyrir prófun.

### 2.7.2.3 Niðurstöður úr rannsókn H84/1176:

#### kafla 4 Ályktanir (bls 3):

- Alkalíhlaup fannst í 5 kjörnum af 22 sem skoðaðir voru. Alkalítalan mældist 1-2 í 19 tilvikum (mjög lítil virkni) og 3-5 í 3 tilvikum (meðalvirkni). Af þessu sést að alkalívirgkni er fyrir hendi, en hún er mjög lítil og því ekki unnt að skýra þær skemmdir sem fram hafa komið út frá alkalívirgkni.
- Frostþolsprófanir sýndu að mettnarstig steypunnar hefur áhrif á þol hennar gagnvart frostverkunum. Þetta kemur vel fram í samanburði í kjörnum 9-2, 9-3 og 9-4. Þegar kjarnar voru prófaðir eftir geymslu við 3 m vatnssúlu skemmdust þeir meira og eftir lofttæmingu eyðilögðust þeir alveg áður en prófun lauk. Loftinnihald kjarna mældist yfirleitt lágt en fjarlægðarstuðull og yfirborð var oftast innan eða nálægt æskilegum mörkum. Við prófun í sjó þar sem selta var minni en í staðlaðri prófun, skemmdust kjarnar minna. Sá samanburður sem gerður hefur verið hjá Rb á áhrifum saltupplausnar bendir til þess að 3% NaCl upplausn gefi tvöfalt hraðari verkanir en hreint vatn.

Að mati Rb benda frammannefndar niðurstöður til þess að frostverkanir séu helsta orsök grotnunar í stöplum og að það svæði sem liggur undir mestum vatnsþrýstingi sé viðkvæmast fyrir frosti.

### 2.7.3 Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins H85/994 21 janúar 1986:

#### 2.7.3.1 Kjarnar teknir úr stöpli 9 í ágúst 1985:

Boraðir voru alls 9 kjarnar úr 4 holum. Notaður var þurr bor  $\varnothing$ 50 mm. Eftir útborun voru kjarnarnir geymdir í lokuðum plastpokum.

##### 2.7.3.1.1 Rakainnihald:

Rakainnihald borkjarna var mælt við þurrkun í ofni við 105 °C.

##### 2.7.3.1.2 Saltinnihald:

Kjarnar úr stöpli voru sagaðir niður í 20 mm þykkar sneiðar merktir n.1, n.2 og n.3. Þannig er n.1 á 0-20 mm dýpi og n.3 úr 40-60 mm dýpi.

#### Rakainnihald og saltinnihald í stöpli 9.

Sýni nr.	Hæð í stöpli	Raki %	Dýpi undir yfirborði [mm]	NaCl [g/kg þurrefni]	NaCl [% af uppgufanl. vatni]
1.1	0,75	5,1	0-50	4,61	8,3
2.1	0,0	6,11	0-60	3,39	5,2
3.1	-0,75	7,0	0-65	6,38	8,3
4.1	-1,50	6,86	0-65	6,6	8,8
4.2	-1,50		65-120	0,15	
4.3	-1,50		120-187	0,06	

### 2.7.3.1.3 Mettivatn, porøsitet, rúmþyngd:

Í kjörnum 2.2, 3.2 og 3.3 var mælt mettivatn, porøsitet og rúmþyngd samkv. ASTM-C642 ásamt loftdreifingu.

*Mettivatn, porøsitet og rúmþyngd í stöpli 9.*

Sýni nr.	Hæð í stöpli	Raki %	Raki mettað %	Rúmþ. þurr [kg/dm <sup>3</sup> ]	Rúmþ. mettað [kg/dm <sup>3</sup> ]	Rúmþ. þurrefni [kg/dm <sup>3</sup> ]	Porøsit. [%]	Heildar -loft [%]	Yfirborð lotbólna [mm <sup>-1</sup> ]	Fjarl.-stuðull [mm]
2.2	0,0	5,1	8,14	2,33	2,52	2,87	18,94	2,6	47,0	0,14
3.2	-0,75	6,11	8,02	2,33	2,52	2,86	18,67	3,4	28,0	0,20
3.3	-1,50	7,0	8,15	2,33	2,52	2,88	19,0	3,2	35,0	0,18

### 2.7.3.1.4 Niðurstöður úr rannsókn H85/994:

#### Lokaorð:

Gerðar mælingar benda til þess, að steypan í öllum 4 holunum sé með svipaða eiginleika varðandi „porøsitet“, rúmþyngd og loftinnihald. En saltinnihaldið var misjafnt bæði í dýptinni og í yfirborðinu. Hvort skýringin á skemmdunum er af völdum, meðal annars, óheppilegs saltmagns á svæðinu sem er skemmt, er ekki hægt að staðfesta með þessari einu mælingu (sneið 2.1). Til þess að fá skýra mynd þarf að gera frekari rannsóknir.

### 2.7.3.2 Niðurstöður.

Ekki þykir rétt að draga altækar ályktanir af þessum niðurstöðum en þær gefa hugmynd um NaCl magn í yfirborði steypunnar ásamt því að staðfesta þá loftdreifingu sem áður hefur verið könnuð.

## 2.8 RANNSÓKNIR Á BORGARFJARÐARBRÚ 1994 - 1996

### 2.8.1 Yfirlit.

Árið 1994 voru boruð sýni úr stöplum 6 og 9. Sýnin voru tekin úr stöplunum í mismunandi hæð þannig að hægt væri að leita skýringa á mismunandi umfangi skemmda í stöplunum.

- 3) Smásjarrannsókn með ljóssmásjá og rafeindasmásjá. 1994. Smásjarrannsóknir voru gerðar bæði í ljóssmásjá (bergfræðismásjá) og rafeindasmásjá. Úr hverjum kjarna sem rannsakaður var voru gerðar tvær þunnsneiðar til rannsókna í ljóssmásjá. Önnur þunnsneiðin náði frá yfirborði sýnisins og um 50 mm inn í það og síðan tók hin þunnsneiðin við og náði í um 100 mm dýpi.
- 4) Efnagreining sjávar úr Borgarfirði 1995. Sýni tekin úr sjó við stöpl 6, 9.1 1995, kl. 11:10 á aðfalli og kl. 16:30 á útfalli.
- 5) Smásjárskoðun með ljóssmásjá á sýnum teknum neðansjávar úr stöpli 6 1995. Í nóvember 1995 náðust sýni úr steypu neðansjávar úr stöpli 6. Hér var um að ræða 4 sýni úr stöpli við steypuskil undirvatnssteypu, úr undirvatnssteypu, úr mótaskel og úr stöplsteypu.
- 6) Athugun á klórmagni, leiðnistuðli og ettringítmyndun. Sýni úr stöplum 6 og 9 rannsökuð í rafeindasmásjá.

### 2.8.2 Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins Skýrsla 94-23, 29.12.1994.

**Kjarnar teknir úr stöplum 6 og 9 í sept. og okt 1994. Í okt - nów voru síðan einnig teknir kjarnar úr brú yfir Ölfusárós og kjarnar úr Öldubrjót við Þorlákshöfn (Dólos).**



### 2.8.2.1 Yfirlit.

Aðeins voru skoðuð sýni úr efsta og neðsta hluta stöpla Borgarfjarðarbrúar. Þegar efnagreiningar eru skoðaðar verður að hafa í huga að rafeindasmásjáin getur aðeins greint frumefni með hærri massatölu en 8. Af þeim sökum er ekki hægt aðgreina "kemískt" bundið vatn í sýnum. Summa hvernar magnbundinnar greiningar verður því lægri en 100%. Því hafa efnagreiningarnar verið endurreiknaðar þannig að summa þeirra verði 100%.

Um tvönnar konar greiningar var að ræða, þ.e. magnbundnar og ómagnbundnar:

- Magnbundnu greiningarnar fólust í því að greina Na, K, Ca, Mg, Si, Al, Fe, S og Cl í mjög litlum punktum (<5mm í þvermál) á völdum svæðum.
- Ómagnbundnu mælingarnar voru framkvæmdar þannig að smásjáin skannaði ákveðna línu (200 - 300 mm að lengd), hvern punkt í mjög stuttan tíma fyrir sömu frumefni og áður, þannig fæst hlutfall frumefna í hverjum punkti í mjög grófum dráttum. Á þennan hátt er hægt á mjög skömmum tíma að fá hugmynd um samsetningu og efnafraðilegar breytingar sem eiga sér stað á tiltölulega stóru svæði. Síðan er hægt að velja áhugaverða staði á línunni og gera magnbundnar mælingar þar.

*Yfirlit yfir sýni, staðsetningu, og númer.*

Sýni	Mannvirki	Stöpull	Hæð	Punnssneið	Athugasemdir
6-1	Borgarfjarðarbrú	6 - efst.	1,0	1490	Yfirborð
6-1	Borgarfjarðarbrú	6 - efst.	1,0	1491	
6-8	Borgarfjarðarbrú	6 - neðst.	-2,1	1492	Yfirborð
6-8	Borgarfjarðarbrú	6 - neðst.	-2,1	1493	
9E2	Borgarfjarðarbrú	9 - miðja.	0,1	1517	Yfirborð
9E2	Borgarfjarðarbrú	9 - miðja.	0,1		
6-3	Borgarfjarðarbrú	6 - miðja.	-0,3	1519	Yfirborð
6-3	Borgarfjarðarbrú	6 - miðja.	-0,3	1520	
9O1	Borgarfjarðarbrú	9 - efst.	1,0	1488	Yfirborð
9O1	Borgarfjarðarbrú	9 - efst.	1,0	1489	
9N4	Borgarfjarðarbrú	9 - neðst.	-2,1	1486	Yfirborð
9N4	Borgarfjarðarbrú	9 - neðst.	-2,1	1487	
4-5	Óseyrarbrú	4 - neðarlega.	1.0	1554	Yfirborð
4-5	Óseyrarbrú	4 - neðarlega.	1.0	1555	
4-5	Óseyrarbrú	4 - neðarlega.	1.0	1564	Yfirborð
4-5	Óseyrarbrú	4 - neðarlega.	1.0	1565	Yfirborð
13	Dólos		?	1556	Yfirborð
13	Dólos		?	1557	

Skemmdir í stöplunum lýsa sér þannig að sementsefjan flagnar af yfirborði stöplanna á svæði sem verður fyrir áhrifum sjávarfalla. Tiltölulega stór fylliefniskorn sitja eftir og standa út úr sementsefjunni uns hún hefur flagnað svo mikið að kornin losna.

Kjarnar voru teknir í mismunandi hæð í stöpli.

- Efst í stöpli, í hæð 1,0. Svæði sem er alltaf upp úr sjó.
- Í miðhluta stöplis, í hæð 0 til -0,6. Ofan við og í smástraumsflóðborði.
- Í neðri hluta stöplis, í hæð -1,7 til -2,5. Áhrifasvæði mestu skemmda, báðum megin við smástraumsfjöruborð.
- Fleiri kjarnar eru til úr Borgarfjarðarbrú heldur en fram kemur í yfirliti yfir sýni.

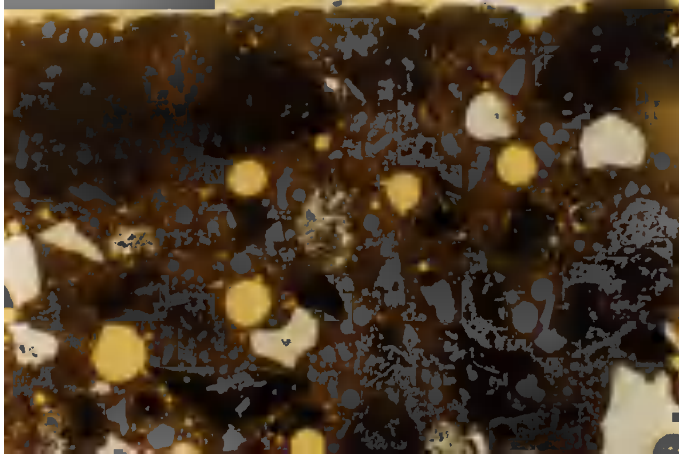
### 2.8.2.2 Niðurstöður smásjargreiningar:

#### 2.8.2.2.1 Borgarfjarðarbrúin

Að svo komnu máli er ekki ástæða til að fjalla um hvorn stöpulinn fyrir sig þar sem ásýnd þeirra er mjög svipuð. Því verður aðeins fjallað um samanburð á efsta, mið og neðsta svæðinu.

##### 2.8.2.2.1.1 Efst í hlutinn.

Efsti hlutinn lítur mjög vel út, svo virðist sem engin flögnun hafi átt sér stað. Það má sjá nokkrar sprungur í yfirborðinu sem liggja hornrétt á yfirborðið og ná allt að 10 mm ofan í sýnið. Ekki er að sjá neinar útfellingar í þessum sprungum. Yfirborð sýnanna (<0.1 mm) er aðeins dekkra og þar af leiðandi þéttara en neðri hluti sýnanna. Það er ekki ljóst hvort þetta stafar af kolsýringu eða einhvers konar útfellingum. Kolsýring á sér stað þegar CO<sub>2</sub> úr andrúmsloftinu hvarfast við sementsefjuna og gengur í efnasamband við hana þannig að vatn í efjunni gengur út úr henni.



Rb 29.12.1994 Mynd 3 - Smásjármynd af steinsteypu, Stöpull 9, sýni 9O1, þunnsneið #1488

Loftkerfið í sýnunum virðist mjög eðlilegt - ekki var talin ástæða til að framkvæma magnbundna mælingu á loftmagninu. Svo virðist að loftmagnið í stöpli 9 sé töluvert meira en í stöpli 6, en samkvæmt upplýsingum sem liggja fyrir um eiginleika steypunnar var steypan í stöpli 6 með um 4% loft og steypan í stöpli 9 með um 5,9% loft mælt í blautri steypu.

Eins og kemur fram á myndunum eru loftbólurnar flestar tómar, þ.e. útfellingar virðast ekki mjög algengar í þeim. Ef sýnin eru skoðuð í meiri stækkun en á mynd 3 kemur í ljós að yfirborð loftbólanna getur í sumum tilvikum verið þakið útfellingarsteindum. Yfirleitt er aðeins lítill hluti blaðrana fylltur, þó kemur fyrir að mjög smáar bólur (<0,05) hafa fyllst.

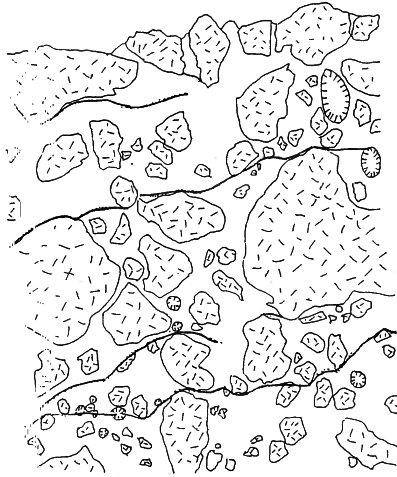
Sementsefja lítur mjög vel út og ekki er að sjá merki um óeðlileg efnahvörf. Það sama er að segja um fylliefnin. Þau virðast loða mjög vel við efjuna og eru nánast ekkert sprungin. Í þessum sýnum er mjög algengt að sjá útfellingar á snertisvæðunum milli fylliefnanna og sementsefjunnar. Þessi útfelling á snertisvæðinu milli fylliefna og sementsefju virðist ekki hafa neina sprungumyndun í för með sér.

#### **2.8.2.2.1.2 Mið hlutinn**

Mið hlutinn lítur nokkuð öðru vísi út en efsti hlutinn, þ.e. það má sjá sprungumyndun sem nær u.þ.b. 1 mm ofan í sýnið. Sprungurnar liggja nokkurn veginn samsíða yfirborðinu. Á þessu svæði eru útfellingar í blöðrum og sprungum. Efsti hluti sýnisins er mjög ljós, þ.e. mjög gisinn, væntanlega tekið upp mikið vatn. En nokkra mm fyrir neðan yfirborðið eru sýnin orðin mjög svipuð efstu sýnunum, þ.e. útfellingar á snertiflötum og á yfirborði loftbóla eru til staðar, en þessar útfellingar finnast ekki á svæðinu sem sprungurnar liggja um.

#### **2.8.2.2.1.3 Neðsti hlutinn.**

Neðsti hlutinn hefur allt aðra ásýnd en efsti hlutinn. Hann einkennist af sprungum sem liggja nokkurn veginn samsíða yfirborði steypunnar. Sprungurnar eru fylltar af útfellingum. Tíðni sprungnanna er mest við yfirborðið og minnkar er innar dregur í sýnin. Þær eru algengastar í efstu 10 mm. Dreifing þeirra virðist vera nokkuð jöfn með um 2 mm millibili. Sprungurnar liggja yfirleitt um snertisvæðið milli efjunnar og fylliefnanna, en ekki um fylliefnin sjálf, þ.e. fylliefnin eru ekki sprungin. Lega sprungnanna kemur vel fram á mynd 5.



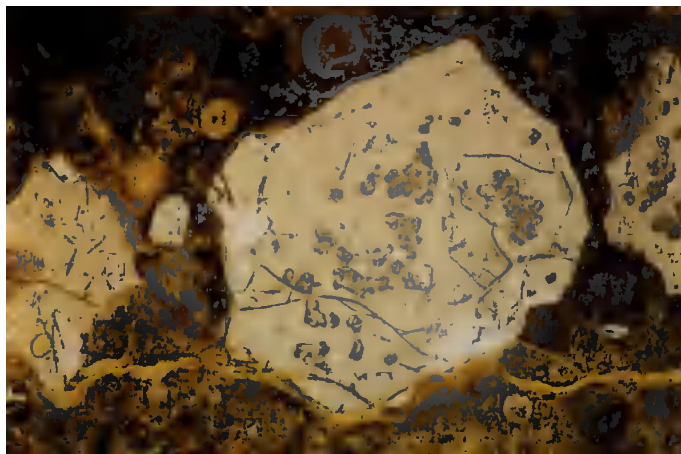
Rb 29.12.1994, Mynd 5 - Smásjármynd af steinsteypu, sprungufylling. Stöpull 6, sýni 6-8, þunnsneið #1492

Á myndinni, sem nær frá yfirborði niður á um 5,2 mm dýpi, má sjá a.m.k. fjögur sprungukerfi sem liggja u.þ.b. samsíða yfirborðinu. Loftbólurnar eru einnig margar hálfylltar af þessum útfellingum. Fyllingarnar í þessum sprungum og loftbólum eru sýndar á myndum 6 og 7.

Hlutfall fylltra loftbóla var mælt í sýni 9N4. Loftmagnið var rannsakað á 1, 5, 10 og 20 mm dýpi. Til viðmiðunar var sýni 9O1 (1488) rannsakað á 1 mm dýpi. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 2. Svo virðist að tíðni fylltra loftbóla sé mest ofarlega í sýnunum, allt að 100%. Til samanburðar eru engar fullar bólar í sýni 9O1. Er neðar dregur eykst hlutfall tómrar loftbóla.

*Hlutfall fylltra, yfirborðsfylltra og tómrar holrýma í stöpli 9. (tafla 2. bls 28)*

Sýni nr.	Dýpi[mm]	F [%]	S [%]	T [%]	
1486	1	100	0	0	F = Hálfylltar - fylltar bólar
1486	5	88	12	0	S = Yfirborðsútfelling í blöðrum
1486	10	69	25	6	T = Tómar bólar.
1486	20	67	16,5	16,5	Sýni 1486 er tekið úr neðri hluta.
1488	1	0	65	35	Sýni 1488 er tekið efst úr stöpli.



Rb 29.12.1994, Mynd 7 - Smásjármynd af steinsteypu, sprungufylling. Stöpull 9, sýni 9N4, þunnsneið #1486.

#### 2.8.2.2.1.4 Niðurstöður efnagreininga með rafeindasmásjá:

*Magnbundnar greiningar:*

**Efst úr stöpli:** Sýni 9O1 var rannsakað í þeim tilgangi að kanna samsetningu og uppbyggingu snertisvæðisins milli fylliefniskorna og sementsefju. Auk þess var efnasamsetning sementsefjunnar (grunmassans) greind.

Samsetning sementsefju í óskemmdum hluta stöpsuls 9:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Summa
Nr.2 <sup>1)</sup>	0,09	0,07	33,59	0,45	27,51	2,156	2,93	0,97	68,17
Nr.2 uppf.	0,13	0,10	49,27	0,66	40,35	3,75	4,30	1,42	100,0
Nr.5 <sup>2)</sup>	0,14	0,03	27,85	0,75	28,49	3,47	3,16	0,72	64,61
Nr.5 uppf.	0,22	0,05	43,10	1,16	44,10	5,37	4,89	1,11	100,0
Nr.6	0,09	0	34,5	0,52	27,65	3,14	2,4	0,66	68,96
Nr.6 uppf.	0,13	0,0	50,03	0,75	40,10	4,55	3,48	0,96	100,0
Uppreiknað meðalt.									
5 og 6	0,16	0,05	47,46	0,86	41,53	4,56	4,22	1,16	100,0

<sup>1)</sup> Greining 2 er gerð í sementsefju aðeins frá snertisvæði.

<sup>2)</sup> Greining 5 er gerð við upprunalegt yfirborð sýnisins, en greining nr. 6 er tekin 250 mm undir yfirborði.

MgO magn er hæst í sýni 5 sem gæti bent til þess að minnkun á CaO stafi af áhrifum sjávar (útskolun). Ath. þarf þó að hér er aðeins um vísbendingu að ræða þar eð breytingar eru mjög litlar og óvissa á hverri greiningu er tiltölulega stór.

Greining snertisvæða sementsefju og fylliefna úr óskemmdum hluta stöpsuls 9:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Summa
Nr.1 <sup>1)</sup>	0,22	0,05	37,74	0,38	17,39	7,68	17,38	1,15	81,99
Nr.3 <sup>1)</sup>	0,26	0,03	40,22	1,16	17,12	9,10	16,82	1,90	86,61
Nr.4 <sup>1)</sup>	0,25	0,0	33,26	7,08	15,60	10,14	14,51	1,46	82,30
Uppreiknað meðalt.									
1,3 og 4	0,29	0,03	44,20	3,47	19,98	10,73	19,42	1,79	100,0

<sup>1)</sup> Greining 1, 3 og 4 er gerð í snertisvæði fylliefnis og sementsefju.

Samsetning útfellinga í sýni nr. 1, 3 og 4 er mjög óvanaleg en ekki hefur tekist að greina viðkomandi steindir til tegunda. Athygli vekur hið háa MgO magn í greiningu 4.

- Ath. að summa þrí- og fjörgildu jónanna (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) er um 42% af heildarsamsetningu sýnis. (um 50 % uppreiknað).
- Ath. að summa tvígildra jóna (CaO, MgO) er um 40 % af heildarsamsetningu sýnis. (um 48 % uppreiknað).

**Neðst úr stöpli:** Sýni 9N4. Þessi sýni eru af svæði þar sem skemmdir eru mestar

Greining sementsefju úr skemmdum hluta stöpsuls 9:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Summa
Nr.10 <sup>1)</sup>	0,25	0,0	25,21	0,15	25,56	1,31	2,58	0,55	55,61
Uppreiknað	0,45	0,0	45,33	0,27	45,96	2,36	4,64	0,99	100,0

<sup>1)</sup> Greining 10 er úr sementsefju

Greining útfellinga úr skemmdum hluta stöpsuls 9:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Summa
Nr.8	0,07	0,0	15,88	0,19	14,81	1,34	2,41	0,82	35,52
Nr.9	0,0	0,0	14,97	0,07	17,15	2,31	2,08	0,78	37,36
Uppreiknað meðaltal									
8 og 9	0,10	0,0	42,39	0,36	43,86	4,97	6,18	2,20	100,0

<sup>1)</sup> Greining 8 og 9 eru úr blöðru sem skorin er af sprungu.

Greiningar 8 og 9 hafa mjög lága summu. Þ.e. það sem upp á vantar er vatn. Hlutfall CaO/SiO<sub>2</sub> í sýnum 8 og 9 er mjög svipað og í sementsefjunni, sjá greiningu 1,3 og 4, efst úr stöpli 9, sem bendir til þess að sýnið hafi aðeins tekið upp vatn. Væntanlega hefur þessi vatnsupptaka í för með sér einhverja rúmmálsaukningu.

Greining útfellinga í skemmdum hluta stöpsuls 9:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Summa
Nr.11	6,26	0,28	9,07	4,19	71,61	1,28	0,92	0,19	93,80
Nr.11 uppf.	6,67	0,30	9,67	4,47	76,34	1,36	0,98	0,20	100,0
Nr.12	0,09	0,07	9,17	0,90	17,45	7,34	6,65	1,42	43,09
Nr.12 uppf.	0,21	0,16	21,28	2,09	40,50	17,03	15,43	3,29	100,0
Nr.13	1,35	0,04	12,03	8,91	44,09	6,14	17,84	0,12	90,52
Nr.13 uppf.	1,49	0,04	13,29	9,84	48,71	6,78	19,71	0,13	100,0
Uppreiknað meðalt.									
11-13	3,38	0,17	13,31	6,16	58,55	6,49	11,18	0,76	100,0

<sup>1)</sup> Greining 11, 12 og 13 eru tekin í útfellingum í blöðru sem ekki er skorin af sprungu.

Athygli vekur hversu hátt MgO magnið er í greiningu 11-13, en það er væntanlega komið úr sjónum. CaO er nokkuð lágt og auk þess er Al og Fe magnið verulega hátt í greiningum 12 og 13.

## Úr neðri hluta stöpsuls 6: Sýni 6-8.

Greining sementsefju með mismunandi þéttleika úr skemmdum hluta stöpsuls 6:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	Summa
Nr.1 <sup>1)</sup>	0,15	0,06	3,26	1,09	8,81	2,38	0,67	0,89	0,03	17,34
Nr.1 uppf.	0,86	0,35	18,80	6,29	50,81	13,72	3,86	5,13	0,17	100,0
Nr.2 <sup>1)</sup>	0,21	0	1,48	7,60	13,57	2,55	0,03	0,09	0,02	25,55
Nr.2 uppf.	0,82	0	5,79	29,74	53,11	9,98	0,12	0,35	0,08	100,0
Nr.3 <sup>1)</sup>	0,04	0,01	1,84	4,22	11,48	2,13	0,10	0,21	0,12	20,15
Nr.3 uppf.	0,20	0,05	9,13	20,94	56,97	10,57	0,50	1,04	0,60	100,0
Nr.4 <sup>1)</sup>	0,03	0	4,55	2,99	10,77	1,90	0,87	0,65	0,4	21,8
Nr.4 uppf.	0,14	0,0	20,87	13,71	49,40	8,71	3,99	2,98	0,18	100,0

<sup>1)</sup> Sýni 1-4 tekið nálægt yfirborði

Í þessum greiningum er magnesíummagnið mjög hátt (miðað við meðaltal í sýnum 2,5 og 6 úr stöpli 9). CaO magnið er orðið mjög lágt og í öllum tilvikum orðið verulega lægra en SiO<sub>2</sub> magnið. Jafnframt virðist járníð hafa minnkað ef miðað er við álið. Summa hvorrar greiningar er mjög lág, ca 20% en óskemmd steypa hefur summu 65-70%.

Greining sementsefju með mismunandi þéttleika úr skemmdum hluta stöpsuls 6:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	Summa
Nr.8 <sup>1)</sup>	0,24	0,13	27,56	0,49	22,97	0,96	0,47	0,52	0,30	53,64
Nr.8 uppf.	0,45	0,24	51,38	0,91	42,82	1,79	0,88	0,97	0,56	100,0
Nr.9 <sup>1)</sup>	0,46	0	31,38	0,28	25,23	1,57	1,69	0,55	0,60	61,76
Nr.9 uppf.	0,74	0	50,81	0,45	40,85	2,54	2,74	0,89	0,97	100,0

<sup>1)</sup> Sýni 8 og 9 tekin a.m.k. 40 mm undir yfirborði.

Greiningum svipar til meðaltals af sýnum 2,5 og 6 nema að Al og Fe magnið er verulega lægra.

### Ómagnbundnar mælingar:

**Sýni 6-8:** Nokkur línuskönn voru tekin ofarlega í sýninu.

Skannað var yfir 2 loftbólur og sprungu. Fram komu Mg og Cl toppar. Magnbundin greining var gerð á klórrika svæðinu, sjá sýni 5,6 og 7.

Efnasamsetning útfellinga í línuskanni:

Greining nr.	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl	Summa
Nr.5 <sup>1)</sup>	0,09	0,18	8,66	0,57	12,62	8,29	3,66	1,91	1,53	37,51
Nr.5 uppf.	0,24	0,48	23,09	1,52	33,64	22,10	9,76	5,09	4,08	100,0
Nr.6 <sup>1)</sup>	0,28	0,01	9,24	0,39	11,76	8,85	2,78	2,36	1,39	37,06
Nr.6 uppf.	0,75	0,03	24,93	1,05	31,73	23,88	7,5	6,37	3,75	100,0
Nr.7 <sup>2)</sup>	0,27	0,16	4,91	0,48	14,40	7,02	2,26	1,15	0,03	30,68
Nr.7 uppf.	0,88	0,52	16,0	1,56	46,94	22,88	7,37	3,75	0,10	100,0
Meðaltal										
5-7 uppf.	0,62	0,34	21,34	1,38	37,44	22,95	8,21	5,07	2,94	100,0

<sup>1)</sup> Nr. 5 og 6 eru sýni úr klórrika svæði í loftbólur

<sup>2)</sup> Nr. 7 er sýni í sprungufyllingu.

### 2.8.2.2.1.5 Niðurstöður.

Megin munurinn á óskemmdu og skemmdu sýnunum er að steindir í sementsefjunni, steindir í yfirborði loftbóla og steindir sem finnast á snertisvæði milli fylliefna og sementsefju í efstu sýnunum finnast ekki í skemmdu sýnunum, a.m.k. ekki í skemmda hluta þeirra. En þessar steindir eru að öllum líkindum myndaðar þegar steypan harðnaði. Samsetning steindanna á bindingnum milli fylliefna og sementsefju er nokkuð óvanaleg og hefur ekki tekist að ráða hvaða steindir þetta eru. En að öllum líkindum eru steindirnar í sementsefjunni Portlandít (Ca(OH)<sub>2</sub>), en það hefur ekki verið sannreynt með efnagreiningum. Í skemmdu sýnunum hafa þessar steindir leystst upp og fallið út sem kalsíum og kísilríkt gel í loftbólum og sprungum sem liggja u.þ.b. samsíða yfirborði sýnisins. Sprungurnar valda því að efjan þenst út og flagnar af sýnunum. Fylliefnin það sterk að þau springa ekki. Í Borgarfjarðarbrúnni eru fylliefni vel núin og því styrkur bindingsins milli efjunnar og fylliefnanna veikari en styrkur fylliefnanna. Þess vegna flagnar efjan af yfirborði fylliefniskorna og þannig myndast dældir á milli tiltölulega stórra fylliefna, eins og sjá má á sýnunum og t.d. á mynd 5 þar sem fylliefniskornin standa upp úr sementsefjunni. Þó að steypuskemmdirnar stafi af efnahvörfum í sementsefjunni má leiða að því líkur að ef styrkur bindingsins milli sementsefjunnar og fylliefnanna væri meiri, t.d. ef fylliefnin væru með hrjúfara yfirborð, gæti það tafið fyrir flögnuninni og þar með dregið úr steypuskemmdum.

### 2.8.2.2.2 Rannsóknir á öðrum sambærilegum mannvirkjum 1994-1996.

Kjarnar teknir úr Brú á Ölfusárós ásamt sýni úr Dólosum við Þorlákshöfn.

#### 2.8.2.2.2.1 • Brú á Ölfusárós.



Brú yfir Ölfusárós, Flögnun steypu neðst í stöpli og á yfirborði sökkuls nr. 7

Talsverð flögnun á sér stað á sökklum brúarinnar og neðsta hluta stöpla.

Stöplar brúarinnar eru steypdir 1987 og 1988. Notað var Blöndusement þ.e. possólansement (10% kísilryk og um 25% líparít)  $475 \text{ kg/m}^3$ . Steypustyrkur 35-40 MPa. Loft/loftdr.: 5-6% /0,14-0,18.

Sjávarsveifla við Ölfusárós:

- Meðalstórstraumsflóð: +1,85 m
- Meðalsmástraumsflóð: +1,09 m
- Meðalsmástraumsfjara: -0,16 m
- Meðalstórstraumsfjara: -0,98 m

Sýni tekin úr neðsta hluta stöpla. Hæð ca +1,1 m

*Niðurstaða þunnsneiðaskoðunar:*

Aðeins var rannsakað sýni úr neðsta hluta stöplis 4, en í því sýni hafa um 5 mm flagnað af yfirborðinu. Sýnin líta töluvert öðruvísi út en sýnin úr Borgarfjarðarbrúnni.

Þótt töluvert hafi flagnað af sýninu virðist mjög takmörkuð sprungumyndun eiga sér stað sem undanfari flögnunarinnar og útfellingar eru mjög takmarkaðar, þó má sjá útfellingar í blöðrum, tíðni og þéttleiki útfellinganna er engan vegin sambærileg við sýnin úr Borgarfjarðarbrúnni. Í efsta hluta sýnanna má sjá að efjan er nokkuð ljós, eða gisin þannig að það má sjá örla fyrir einhvers konar efnaskiptum sem undanfara skemmdanna. Fyrir neðan þetta lag lítur steypan mjög vel út, loftmagnið nokkuð hátt og efja er mjög þétt. Það er undantekning að finna kögglað kísilryk, þannig að possólanvirkni þessarar steypu ætti að vera í hámarki.

#### 2.8.2.2.2.2 Öldubríótur Þorlákshöfn. Dólosar.

Dólosar voru steypdir árið 1975. Notað var lágalkalísement frá dönsku sementsverksmiðjunni Danía. Dólosarnir eru þaktir þangi þannig að mjög erfitt er að greina yfirborðsástand þeirra.

*Niðurstaða þunnsneiðaskoðunar:*

Öldubríótur-Dólos-Þorlákshöfn.

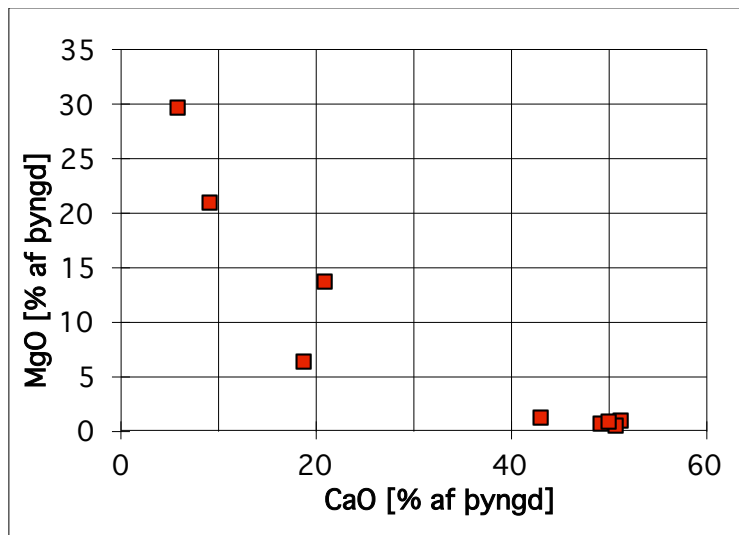
Sýni var tekið úr öldubríót við Þorlákshöfn vegna þess að engar skemmdir voru sjáanlegar á yfirborði þeirra. Þar sem þeir eru í sams konar umhverfi og umræddar brýr þótti tilvalið að fá sýni af óskemmdri steypu til samanburðar. Á mynd má greina sprungur sem liggja u.þ.b. samsíða yfirborðinu.

Sprungurnar og jafnframt loftbólurnar eru fylltar af útfellingum. Á mynd má einnig sjá dökkt og þétt lag efst í sýninu en fyrir neðan það gisnara lag. Það er greinilegt að þrátt fyrir sprungumyndunina virðist engin flögnun af yfirborðinu hafa átt sér stað. En það verður að teljast undarlegt þrátt fyrir þessa sprungumyndun finnast engin merki um þenslu á yfirborði þessara sýna.

Í neðri hluta sýnisins þ.e. fyrir neðan sprungumyndunina lítur sýnið mjög vel út og svipar að mörgu leyti til sýnanna úr efsta hlutanum úr Borgarfjarðarbrú. Það má finna útfellingar á snertiflötum milli fylliefnanna og einnig í efjunni sem að öllum líkindum eru Portlandít ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) kristallar, sem mynduðust þegar steypan harðnaði.

### 2.8.2.3 Ályktanir Rb 29.12.1994 bls 7

Sýnin úr Borgarfjarðarbrúnni og úr Dólosinum falla mjög vel að rannsóknum Bonens. Þótt útfellingarnar séu ekki með sömu samsetningu stafar það af öllum líkindum af því að hann notaði lausn í sínum tilraunum sem var mettuð með tilliti til  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  og síðan (eftir að  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  kristallar og gjallsteindir höfðu leyst upp í efjunni) varð lausnin einnig mettuð með tilliti til  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , því féllu þessar steindir út og mynduðu yfirborðslögin. Ég er ekki viss hvort sjór sé mettaður með tilliti til  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , einnig verður að gæta þess að sjórin blandast árvatni sem þynnir  $\text{MgSO}_4$ -magnið eitthvað. Kalsíumríkar útfellingar samsíða yfirborði sýnanna í rannsóknunum hjá Bonen eru hliðstæðar sprungumyndununum í skemmdu sýnunum. Samsetning sementsefjunnar í sýnum úr Borgarfjarðarbrúnni sýnir að töluvert af Kalsíum hefur skolast út og magnesíum hefur komið í staðinn.



Samband milli MgO og CaO magns í sementsefju úr Borgarfjarðarbrú. (Rb 94-23)

Á myndinni sést að samband ríkir milli magnesíum og kalsíum í sementsefjunni.

Eftir því sem magnesíum magnið eykst minnkar kalsíum magnið. Einnig eru útfellingarnar, a.m.k. þær sem eru tengdar sprungukerfi, mjög ríkar af kalsíum, en lágar af magnesíum, sem bendir til þess að kalsíum sé skolað út úr efjunni og fellur út í sprungum og loftbólum, magnesíum kemur í staðinn ásamt vatni. Staðfesting á því að vatn kemur inn fæst með því að bera saman summu efnagreininganna í ósnortinni efju og skemmdri efju, en mismunurinn getur orðið allt að 50%. Slík vatnsupptaka hlýtur að leiða til verulegrar þenslu, en eins og sjá má á smásjármyndun (t.d. nr. 8 og 11) einkennast skemmdu svæðin af mjög gisnum strúktúr. Auk þess virðast óuppleystar gjallsteindir leysast upp á þessu svæði.

Þó að steypuskemmdirnar í Óseyrarbrúnni séu mjög svipaðar og í Borgarfjarðarbrúnni, þ.e. sementsefjan flagnar af og fylliefnin sitja eftir uns þau falla, er grundvallarmunur á skemmdunum metið í smásjá. Í Óseyrarbrúnni er skemmdasvæðið mun þynnra en í Borgarfjarðarbrúnni og sprungumyndunin virðist ekki eiga sér stað. Þar sem Óseyrarbrúin er steipt úr Possólansementi, með um 10% kísilryki og um 25% líparíti, valda possólanarnir því að efjan verður mun þéttari en ella og þar af leiðandi minnkar leiðni allra efna um efjuna

verulega. En eins og Bonen komst að í sínum rannsóknum dregur þessi þéttleiki ekkert úr steypuskemmdunum. Að hans mati var útskolun á kalsíum úr efjunni aðal orsakavaldurinn.

Ástæðan fyrir steypuskemmdunum er ekki ljós og má setja fram a.m.k. nokkrar tilgátur um orsakir þeirra.

1. **Frost/þíðu-skemmdir.** Svo virðist að loftmagnið í sýnunum sé nægjanlegt til þess að koma í veg fyrir frostsKemmdir, a.m.k. ef lítið er á efsta hluta sýnanna. Neðsti hlutinn einkennist af útfellingum í loftblöðrum, því má draga þá ályktun að útfellingarnar í loftblöðrunum hafi dregið úr mótstöðu gegn frost/þíðu-virkni. Ef það reynist rétt að sá hluti stöplanna sem er alltaf undir vatni er óskemmdur má gera ráð fyrir að hann sé aðeins óskemmdur vegna þess að hann verði aldrei fyrir frost/þíðu-virkni, en útfellingarnar eru engu að síður til staðar. Þessi kenning byggir á því að frost/þíðu-skemmdirnar, eru afleiðing útfellinganna í holrýmum steypunnar.
2. **Efnahvörf í sementsefjunni.** Tilgáta #1 skýrir ekki hvers vegna steindirnar sem finnast á snertisvæðinu milli fylliefna og sementsefju í efstu sýnunum finnast ekki í neðstu sýnunum, því er þessi tilgáta sett fram. Hún byggir á því að steindirnar í efstu sýnunum, bæði í efjunni, snertiflötunum og í loftbólunum, séu myndaðar við hörðun steypunnar, en slíkar útfellingar eru mjög algengar í steypu sem er steypd úr hreinu Portlandsementi. Síðan með tíma og sennilega vegna efnaskipta við sjó, breytast þessar steindir í aðrar steindir sem hafa meira rúmmál, jafnframt falla ummyndunarsteindir út í holrýmin. Rúmmálsaukningin veldur því að þrýstingur byggist upp og þegar ákveðnum þrýstingi er náð gefur steypan sig og sprungukerfi myndast.
3. Ef það reynist rétt að Dólosarnir séu ekkert sprungnir, má leiða að því getum að sprungumyndunin sem sést í smásjá sé ekki þensluvaldandi. Einnig er sprungumyndunin í Borgarfjarðarbrúnni mjög takmörkuð. Þetta má e.t.v. túlka þannig að sprungumyndunin í Borgarfjarðarbrúnni sé afleiðing af útskolun efna úr sementsefjunni en ekki ástæða fyrir flögnuninni sem efjan hefur orðið fyrir. Ástæðan fyrir því að dólosarnir og efsti hluti stöplanna hafa ekkert skemmt er vegna þess að það hefur myndast þétt yfirborðslag (sennilega Mg-ríkt lag), sem kemur í veg fyrir eða tefur útskolun á kalsíum. E.t.v. veldur straumrof því að þetta lag varðveitist ekki í skemmda hluta stöplanna.

Sjálfsgagt er hægt að setja fram aðrar tilgátur, en þær þurfa að skýra út mun milli efstu og neðstu sýnanna, það að fylliefnin taka ekki þátt í þessu ferli og að skemmdirnar stafa af völdum innri þátta, þ.e. ytri þættir eins og straumrof getur ekki eitt og sér valdið þessum skemmdum. Einnig er það ljóst að alkálí efnahvörf eiga engan þátt í þessum skemmdum.

### 2.8.3 Iðntæknistofnun EW 5010 23. jan. 1995.

#### Efnagreining vatns úr Borgarfirði.

Sýni tekin úr sjó við stöpul 6, 9.1.1995, kl. 11:10 á aðfalli og kl. 16:30 á útfalli.

		kl 11:10 aðfall	kl 16:30 útfall	Úthafssjór
pH <sup>1)</sup>		7,77	7,58	
DpH		-0,13	-0,67	
Kalsíum, Ca <sup>2+ 3)</sup>	mg/l	206	53	400
Magníum, Mg <sup>2+ 3)</sup>	mg/l	593	157	1272
Ammoníum, NH <sup>+4 2)</sup>	mg/l	<0,1	<0,05	
Súlfat, SO4 <sup>2- 4)</sup>	mg/l	1310	353	884
Klóríð, Cl <sup>- 5)</sup>	mg/l	9250	2460	18980
Natríum, Na <sup>+</sup>	mg/l			10561
Kalíum, Ka <sup>+</sup>	mg/l			308
Bróm,	mg/l			65

<sup>1)</sup> pH var mælt með pH mæli við 10° C

<sup>2)</sup> Ammoníak var ákvarðað skv. DS 224

<sup>3)</sup> Málmar (Ca og Mg) voru ákvarðaðir með AAS

<sup>4)</sup> Súlfat var ákvarðað gravimetrískt sem BaSO<sub>4</sub>.

<sup>5)</sup> Klóríð var ákvarðað með titrun með silfurnítrati.



### 2.8.3.1 Niðurstaða.

Eins og sjá má af efnagreiningunni er uppblöndun sjávar u.þ.b. 50% á aðfalli. Á útfallinu er árvatnið ráðandi og er uppblöndun sjávar ca 12%. Athygli vekur hinsvegar hátt súlfatmagn miðað við úthafssjó, en ekki er kunnugt um almenn gildi við strendur landsins.

### 2.8.4 Smásjárskoðun með ljósmásjá á sýnum teknum neðansjávar úr stöpli 6. 1995.

Í nóvember 1995 náðust sýni úr steypu neðansjávar úr stöpli 6. Hér var um að ræða 4 sýni.

Sýni 1 í kóta -4,1 við steypuskil undirvatnssteypu

Sýni 2 í kóta -4,55 úr undirvatnssteypu

Sýni 3 í kóta -5,5 úr skel

Sýni 4 í kóta -3,8 úr stöpulsteypu.

#### 2.8.4.1 Niðurstaða úr athugun Rb á neðansjávarsýnum dags. 16.11.1995:

Út frá útliti sýnanna er erfitt að meta ef einhver flögnun hefur átt sér stað, sambærilegri þeirri sem á sér stað í skemmdu sýnunum í steypunni fyrir ofan sjávarmál. Því er mjög mikilvægt að fá upplýsingar sem kafarar kunna að hafa um ástand og útlit steypunnar. Það er að finna sams konar sprungukerfi og útfellingar í yfirborði allra sýnanna sem skoðuð voru og finnst í skemmdu sýnunum fyrir ofan og því finnst mér ekki ósennilegt að einhver flögnun hefur átt sér stað. Þó finnst mér að flögnunin er ekki eins mikil og í mest skemmdu sýnunum fyrir ofan sjávarmál.

Það er greinilegt að það er samband (eins og í sýnunum fyrir ofan) á milli myndun sprungnanna sem liggja nokkurn vegin samsíða yfirborðinu, ettringítmyndunar og upplausn Portlandíts. Portlandít steindirnar mynduðust þegar steypan harðnaði (prímert). Eftir ákveðinn tíma í sjónum (mánuðir, ár, ?) hefur pH-gildi steypunnar lækkað það mikið að Portlandítið varð óstöðugt og það byrjaði að leysast upp. Steypan drekkur í sig efni úr sjónum (þess vegna lækkar pH-gildið), m.a. brennistein. Brennisteinninn hvarfast síðan við Kalsíum úr Portlandítinu og Al-ríka sementsefju og/eða Al-ríkar gjallsteindir og ettringít myndast (sekúndert). Á þessu stigi er erfitt að skrifa efnajöfnu sem hægt er að sanna að hafi átt sér stað, til þess þarf meiri rannsóknir, en ég hef fundið töluvert af Al-ríkri sementsefju í óskemmdum sýnum, efst úr stöplunum.

Það er þó fullljóst að myndun ettringíts hefur í för með sér rúmmálsaukningu, einfaldlega vegna þess að bæði vatn og brennisteinssambönd breytast úr vatnslausn í fastan fasa. Rúmmálsaukningin veldur þenslu og sprungur myndast samsíða yfirborðinu vegna þess að efnin diffúndera nokkurn vegin jafnt inn í steypuna úr sjónum, að lokum flagnar efni af yfirborðinu og ferlið heldur áfram og nær lengra inn í steypuna.

Ef aftur á móti engin veruleg flögnun á sér stað í sýnunum, þá er það mjög athyglisvert og bendir til þess að flögnunin í sýnunum fyrir ofan sjávarmál stafar af samspili ettringítmyndunar og frost/þýðu-virkni.

Jafnvel þótt að engin eða lítil flögnun hefur átt sér stað í þessum sýnum, er ljóst að sprungumyndunin hefur rýrt styrk og burðargetu steypunnar, sérstaklega í sýni #2 og #3. Jafnframt er ljóst að klór á greiða leið inn í þessi sýni, eins og sýnin fyrir ofan sjávarmál, því er áhugavert að kanna hvort klóríð hafi bundist í föstum fösum eins og sýnunum fyrir ofan.

### 2.8.5 Yfirborðsflögnun í brúarstöplum sem standa í sjó, annar áfangi efnagreiningar.

#### 2.8.5.1 Yfirlit.

Borkjarnarnir úr Borgarfjarðarbrúnni voru rannsakaðir m.t.t. klórmagns. Leiðnistuðull fyrir klór var metinn út frá efnagreiningum. Rannsókn með rafeindasmásjá leiddi m.a. í ljós að hluti af klórmagninu bindst í ákveðnum fösum. Ettringít finnst í holrýmum og á snertiflötum milli fylliefna og sementsefju sem bendir til þensluvaldandi efnahvarfa.

Sýni úr stöplum 6 og 9. Úr stöpli 6 komu sýni af efsta (óskemmdu) og neðsta (mest skemmda) svæði stöplulsins, sýni af miðsvæðinu (lítið skemmt) kom úr stöpli 9. Sýnin náðu aðeins 20 mm inn í stöplana.

Jónaskipti milli magnesíums og kalsíums eru algengust í sýnum af neðsta svæðinu og virðast þau ná tiltölulega skammt inn í sýnin. Jónaskipti á dýpi 10-20 mm eru ekki eins algeng og á yfirborði sama sýnis.

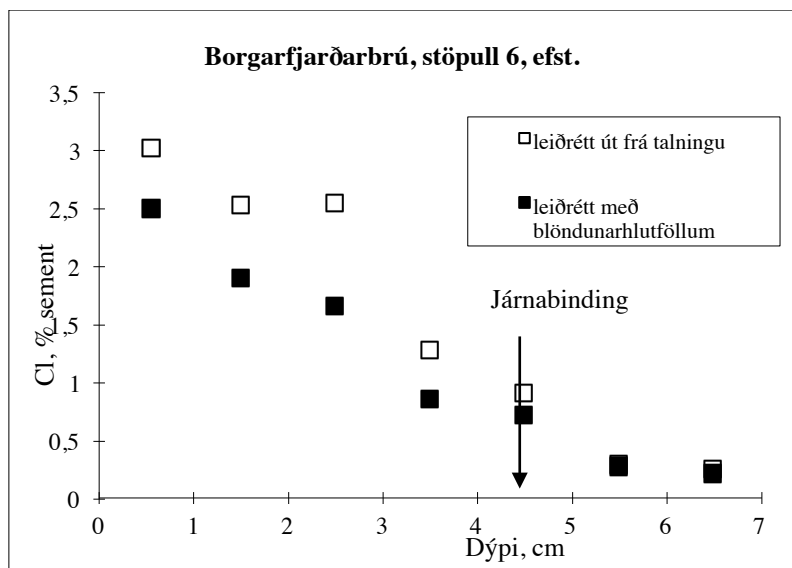
Jónaskipti eru ekki eins algeng og á sýnum af efsta og miðsvæðinu eins og á neðsta svæðinu.

### 2.8.5.2 Mælingar í rafeindasmásjá.

Mest finnst af ettringíti í mest skemmdu steypunni. Ettringít er mjög algeng steintegund, einkum í steypu sem steipt er úr hreinu Portlandsementi. Myndun þess er tengd hörðnun steypunnar og fer þá jafnan fram mjög snemma á hörðunarferlinum. Í slíkum tilvikum virðist myndunin á engan hátt skaðleg. Ef ettringít myndast á hinn bóginn eftir að steypan er hörðnuð að fullu (e. delayed ettringite formation), er myndunin mjög skaðleg vegna þess að hún hefur í för með sér mikla rúmmálsaukningu. Slík efnahvörf eru vel þekkt í steinsteypu erlendis, sérstaklega í steypu sem verður fyrir mikilli súlfatáraun. Í þessum sýnum má gera ráð fyrir að ettringítmyndunin stuðli að skemmdum á tvönnan hátt, annars vegar að útfelling þess í holrými valdi því að steypan verður ófrostþolin og hins vegar útfelling þess á snertiflötunum valdi þenslu og sprungumyndun. Við smásjárrannsóknina á óskemmdu sýnunum fundust steindir á snertifletinum milli fylliefna og sementsefju sem á engan hátt líkjast ettringíti. Ekki reyndist unnt að greina þessar steindir. Að öllum líkindum eiga sér stað efnahvörf milli þessara steinda og brennisteins sem væntanlega kemur úr sjónum. Myndefnið í þessu efnahvarfi er ettringít sem finnst á snertiflötunum.

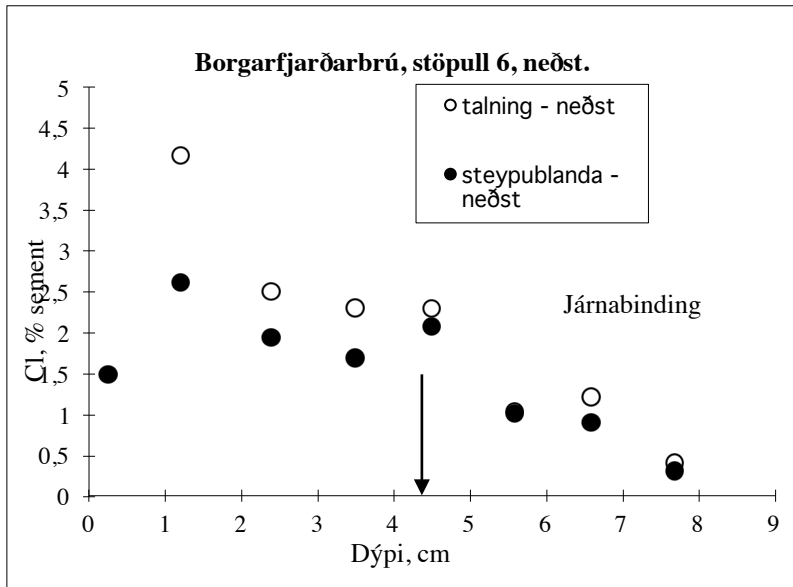
### 2.8.5.3 Klórmælingar á steinsteypu.

Klóríkir fasar fundust með greiningu í rafeindasmásjá, mest í skemmdu sýnunum. Klór í steinsteypu er bæði bundið í föstum fösum og í upplausn í steypuvatninu. Friedelsalt er dæmi um steind sem bindur mikið klór. Cl/Al hlutfallið í þessum klóríku fösum er ekki alveg í samræmi við Cl/Al hlutfallið í Friedelsalti, og því er ekki fullljóst hvaða fasi þetta er. Klór sem bundið er í slíkum fösum virðist ekki valda neinni tæringu á bendijárni, auk þess virðist myndun þessara steinda ekki valda neinni rúmmálsbreytingu. Aftur mun það valda tæringu á bendijárni ef magn klórs í steypuvatninu fer yfir ákveðið gildi.



Mynd 5a (Rb 95-10). Klórmagn sem fall af dýpi í borkjarna úr efsta hlutanum í stöpli 6.

Niðurstöður heildargreiningar á klóri er sýnt á myndum 5a og 5b þar sem klórmagnið er sýnt sem % af þunga sements í sýnunum sem fall af dýpi. Ívið meira klórmagn er í neðra sýninu, en magnið minnkar eftir því sem innar dregur í sýnin

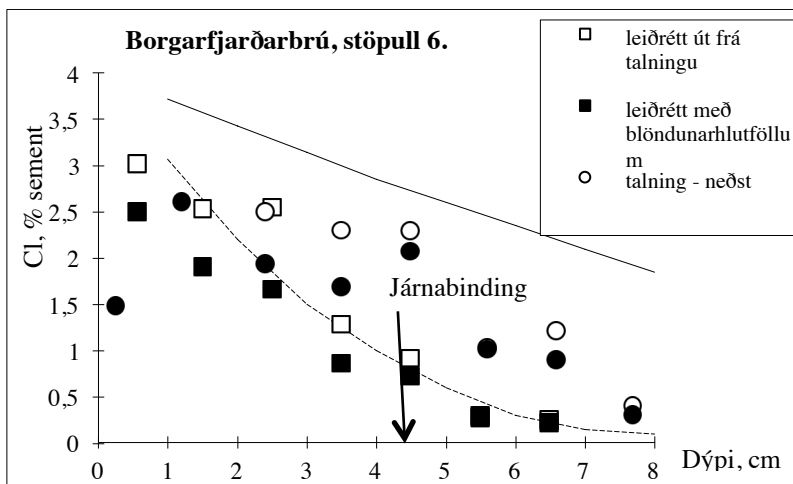


Mynd 5b (Rb 95-10). Klórmagn sem fall af dýpi í borkjarna úr neðsta hlutanum í stöpli 6.

### 2.8.5.4 Niðurstöður:

Jónaskiptin milli efjunnar og sjávarins, þar sem kalsíumjónum í steypunni er skipt út fyrir magnesíumjónir, takmarkast við tiltölulega þunnt lag efst í skemmdu sýnunum. Svo virðist að jónaskiptin séu orðin mjög veik á um 10-20 mm dýpi. Ekki er að fullu ljóst hvaða hlutverki þessi jónaskipti gegna í steypuskemmdunum, en reikna má með að samfara þeim taki steypan upp súlfat- og klórjónir. Súlfatjónirnar, ásamt e.t.v. hluta af kalsíumjónunum, geta síðan myndað ettringít á snertiflötum og í holrýmum. Ettringítmyndunin er þensluvaldandi og getur hún ein og sér skýrt út þessa sprungumyndun og yfirborðsflögun sem á sér stað í stöplum Borgarfjarðarbrúar.

Ef miðað er við gildið 0,4% klór í sementi sem hættumörk er ljóst af myndum 5a og 5b að bendijárninu í þessum stöplum er töluverð hætta búin. Klórmagnið á um 50-60 mm dýpi, en á því dýpi er efsta lag járnabindingarinnar, er um 0,7-1,0%. Á móti kemur að ef hluti af þessu klórmagni er bundinn í föstum fösum má búast við að ástandið sé eitthvað betra. Reynt var að meta leiðnistuðul fyrir klór í sýnunum út frá fyrirbyggjandi mælingum með jöfnu(1). Í útreikningunum var yfirborðsgildið sett sem 4% Cl og tíminn 18 ár.



Mynd 6 (Rb 95-10).

Niðurstöðurnar, ásamt mæliniðurstöðunum eru sýndar á mynd 6.

Í ljós kemur að mæliniðurstöðurnar úr báðum kjörnunum falla nokkurn veginn milli ferla sem afmarkaðir eru af gildum fyrir leiðnistuðulinn í jöfnu (1) milli  $10^{-11}$  og  $10^{-12}$  m<sup>2</sup>/sek. Þannig virðist leiðnistuðullinn fyrir klór í þessum sýnum vera á bilinu frá 10-11 og 10-12 m<sup>2</sup>/sek. Þótt stærðargráðunum sé á milli þessara gilda, virðast þau eðlileg, a.m.k. ef miðað er við niðurstöður úr sambærilegum rannsóknum erlendis. Í þessu sambandi má benda á

að samkvæmt upplýsingum um blöndunarhlutföll í 6. stöpli virðist meðaltalsgildi fyrir v/s- hlutfallið í steypunni vera um 0,57, en það verður að teljast nokkuð hátt fyrir slíkt mannvirki.

## 2.9 ORSAKIR SKEMMDA, NIÐURSTÖÐUR:

- Ýmislegt bendir til þess að skemmdir eins og sjá má í Borgarfirði séu algengari í steiptum undirstöðum í sjó en menn héldu í fyrstu.
- Á skemmdum svæðum mælist mest af ettringíti.
- Ettringít á skemmdum svæðum hefur myndast við efnabreytingar sjávar og sementsefju.
- Í útfellingum í sprungum er magn kalsíums hátt en magn magnesíums lágt sem bendir til þess að kalsíum sem skolast úr efjunni falli út í sprungum og loftbólum en magnesíum og vatn komi í staðinn.
- Útfellingar í loftbólum draga úr frostþoli sementsefjunnar.
- Þar sem áhrifa frosts og þíðu gætir á neðsta hluta stöplansins sem kemur upp úr sjó á stórstraumfjöru verða skemmdir mestar vegna þess að þar eyðileggst loftkerfið fyrst. Á þessu svæði hafa einnig mestar breytingar orðið á sementsefjunni vegna útskolunar CaO.
- Loftkerfi í óskemmdum sýnum er nægjanlega gott til að koma í veg fyrir frostskemmdir.
- Alkaliefnahvörf eiga engan þátt í skemmdunum.
- Útskolun verður á CaO sem veldur því að sementsefjan verður gisnari og um leið óþéttari.
- Samskonar breytingar verða í steypunni neðan sjávarborðs á því svæði sem sjór leikur um steypuna.
- Breytingarnar verða hægari eftir því sem áhrifa sjávar gætir minna og eru engar - mjög litlar efst í stöplum.
- Enginn merkjanlegur munur er á breytingum í stöplusteypu, neðansjávarsteypu eða steypu í mótaskel sem steyp var við bestu aðstæður á landi.
- Í ljósi annarra sýna en í stöplum Borgarfjarðarbrúar þar sem notað var annars konar sement koma sams konar umbreytingar í ljós í steypunni þar sem hún er í snertingu við sjó.
- Engin merki eru um tæringu járnalagnar þar sem hún er hulin steypu. Það bendir til að klórinnihald steypunnar er bundið í föstum fasa í sementsefjunni.
- Í brú á Ölfusárós var notað possólansement (10% kísilryk og um 25% líparít). Þar er skemmda svæðið mun þynnra og sprungumyndun sést ekki. Efja úr possólansementi er þéttari í sér en efja úr Portlandssementi og minnkar því vatnsdrægni efjunnar verulega. Þrátt fyrir það benda rannsóknir til þess að þessi þéttleiki dragi ekki úr steypuskemmdum og er útskolun kalsíums úr efjunni aðal orsakavaldurinn.
- Nýlegar sænskar rannsóknir (*Folke Karlsson, Lufttillsatt betongs frostbeständighet-erfarenheter från fältet. BETON 1/96*) sýna fram á að loftblendin steypa í saltumhverfi hefur jafnvel orðið fyrir meiri skemmdum en óloftblendin steypa þrátt fyrir að loftblendna steypan sé 10 árum yngri. Meðvirkandi orsök þessara skemmda er útfelling ettringíts og kalsíumhýdroxíðs í loftbólunum með tilheyrandi þenjandi áhrifum og sprungumyndun.
- Niðurstaða úr Svissneskri rannsókn (*E.Schümperli, G.Bracher, Increasing the durability of concrete exposed to aggressive ground water. IABSE Symposium San Francisco 1995*) lýsir nokkrum áhersluatriðum sem svipar til þessara vandamála sem hér er glímt við:

### STATE OF ART IN CONSTRUCTION PRACICE:

Sem almenn viðmiðum hefur það tíðkast að líta á að nota svo kallað lágalkalísement sem mótvægi gegn myndun ettringíts í steypu. Í súlfatríku umhverfi verður þess hins vegar vart að annað efnasamband myndast, thaumasít, sem hefur sömu afleiðingar í steypunni og myndun ettringíts en sú efnabreyting er óháð C<sub>3</sub>A - innihaldi sementsins (lágalkalísement skal hafa C<sub>3</sub>A -innihald < 3%).

- Íslenskt Portlandsement er með 7% kísilryki og hefur C<sub>3</sub>A = 7,3 %.
- Steypa er ekki nægjanlega þétt þannig að sjórinn leikur um ysta lag hennar. Steypa stenst því ekki efnaáraun sjávar.
- Neðsti hluti stöplansins sem kemur uppúr sjó á stórstraumfjöru verður fyrst fyrir frostskemmdum vegna þess að þar eyðileggst loftkerfið fyrst. Á þessu svæði er mestur þrýstingur vatns inn og út úr steypunni.
- Ofan sjávarborðs þar sem áhrifa frosts og þíðu gætir verður hraði flögnunarinnar mestur.

## 2.10 ÁÆTLANIR UM VIÐGERÐARAÐFERÐIR

Til skoðunar hafa verið ýmsir möguleikar til að tryggja burðargetu stöplanna til frambúðar. Lagt var upp með þá hugmynd að ekki yrði ráðist í framkvæmdir fyrr en að orsakir skemmdanna væru að fullu upplýstar og í framhaldi af því hvaða aðgerðum þyrfti að beita við framleiðslu steypu sem tryggði endingu hennar um fyrirsjáanlega framtíð.

Byrjað var að vinna út frá eftirfarandi forsendum:

## 2.10.1 Byggingaraðferðir:

### 2.10.1.1 Ásteypa utan á stöpla.

- Unnið í þurrkví.
- Hreinsun stöpla unnin með háþrýstivatni og við það miðað að hreinsaðir verði ca 50 mm þar sem mestar skemmdir eru niður í ca 20 mm þar sem skemmdirnar eru litlar. Í meginatriðum er ekki gert ráð fyrir að hreinsa inn fyrir járn nema í undantekningartilvikum.
- Ásteypa yrði að lágmarki 100 -120 mm þykk og þykkri þar sem meira yrði brotið af stöplinum.
- Hefðbundin járnun, hugsanlega trefjastyrkt steypa.
- Mót fyrir steypu byggð á hefðbundinn hátt.
- Yfirborðsmeðhöndlun móta til að tryggja þétt yfirborð steypunnar.

#### 2.10.1.1.1 Kostir.

- Vinnuferill tiltölulega einfaldur.
- Mótun stöpla í litlum meðfærilegum einingum.

#### 2.10.1.1.2 Ókostir

- Þurrkví takmarkandi um svigrúm til vinnu.
- Erfitt að ráða við sprungumyndun í nýrri steypu vegna þvingunar frá eldri hluta stöpuls. - Nauðsyn á áfangaskiptingu kápusteypu.
- Nauðsynlegur lágmarkstími sem þarf að halda sjó frá mótum meðan steypan nær að harðna.

### 2.10.1.2 Klæðning á stöpla með steiptum einingum.

- Unnið í þurrkví.
- Hreinsun stöpla sbr. Ásteypa utan á stöpla.
- Forsteyphtar einingar framleiddar í “verksmiðju” við bestu aðstæður.
- Hástyrkleikasteypa í einingum.
- Járnun eininga hugsanlega aðeins trefjar.
- Þykkt eininga 80-100 mm.
- Líklega þarf að steypa krans utan um stöpulinn neðan stórstraumsfjöru sem stilla má neðstu einingunum á.
- Borað fyrir festingum í stöpul og sementsgraut dælt á bak við einingar.

#### 2.10.1.2.1 Kostir:

- Ný steypa í kápu framleidd við bestu aðstæður.
- Einingar festar á stöpul og límðar í viðráðanlegum flötum þannig að spenna og þar með sprungumyndun verður í lágmarki milli nýrrar klæðningar og stöpuls.
- Líklega stysti viðverutími með þurrkví á stöpli.

#### 2.10.1.2.2 Ókostir:

- Flutningur og meðhöndlun eininga.
- Þétting þarf að vera á milli eininga sem stenst dæluþrýsting steypulíms.
- Stuttur tími.

### 2.10.1.3 Stöplar klæddir stálkápu.

- Unnið í þurrkví.
- Stálklæðning - Ryðfrítt stál.
  - Þykkt ásteypu 100-150 mm miðast við að steipt sé á bak við stálkápu.

- Þykkt ásteypu 50-70 mm miðast við að dælt sé á bak við stálkápu.
- Hreinsun stöpla sbr. Ásteypa utan á stöpla.

#### 2.10.1.3.1 Kostir.

- Sjór kemst ekki að steypunni.

#### 2.10.1.3.2 Ókostir.

- Óviss ending á stáli.
- Mót ómeðfærileg.
- Mót þarf að sjóða saman utan um stöpul við erfiðar aðstæður.

### 2.10.2 Frumathugun á gerð móta eða stálkápu

Gerður var samningur við Almennu verkfræðistofuna 1994 um að gera frumathugun á möguleikum við gerð móta eða stálkápu utan um stöpla Borgarfjarðarbrúar.

Verkefnið skal unnið samkvæmt eftirfarandi:

#### 2.10.2.1 Ásteypa: Frumathugun

Þurrkví: Frumdrög að mögulegum lausnum

- Yfirlitsmynd, Snið
- Samsetning, uppsetning, áfangaskipting.
- Gróf magntaka og kostnaðarmat.

Mót: Frumdrög að mögulegum lausnum

- Yfirlitsmynd, snið
- Samsetning, uppsetning, áfangaskipting.
- Gróf magntaka og kostnaðarmat.

#### 2.10.2.2 Stálkápa: Frumathugun

Frumdrög að mögulegum lausnum

- Yfirlitsmynd, Snið
- Samsetning, uppsetning, áfangaskipting.
- Gróf magntaka og kostnaðarmat.

#### 2.10.2.3 Leit í gagnabönkum:

Í upphafi verks verði skoðað í gagnabanka hvort nýta megi reynslu annarra í hliðstæðum verkefnum. Leitin skal einnig miðast við að skoða viðgerðaraðferðir og steyputækni auk aðferða við mótun stöpla með stálkápu eða á hefðbundinn hátt.

### 2.10.3 Niðurstöður AV, nóv 1994.

#### 2.10.3.1 Kostur 1:

- Þurrkví, 100 mm háþrýstibrot, bendistál í útbrún, ryðfrí kantjárn á stöpulendum og steypuþykkt 250 mm. Unnið frá -4,8 til +1,5
- Kostnaður pr. stöpul 11,7 mkr.
- Kostnaður alls 140 mkr.

### 2.10.3.2 *Kostur 2:*

- Þurrkví, 40 mm háþrýstibrot, 5 mm ryðfrí stálklæðning og steypuþykkt 100 mm. Unnið frá -4,0 - +1,5.
- Kostnaður á stöpul 18,5 mkr.
- Alls kostnaður 222 mkr.

### 2.10.4 Forsendur hönnunar og hönnunarvinna 1995-1996.

Í framhaldi af þeirri forhönnun sem unnin var af AV árið 1994-1995 var lagt upp með breyttar forsendur um umfang viðgerðanna niður eftir stöplinum. Einkum er það vegna þess að grjót sem sturtað hefur verið niður með stöplum nær víðast hvar talsvert upp á stöpla upp fyrir fláa.

Ekki verður séð að hægt sé með góðu móti að hreinsa grjót frá stöplunum niður að mótaskel.

#### 2.10.4.1 *Þurrkví.*

##### 2.10.4.1.1 *Forsendur:*

- Þurrkví var í upphafi metin með það fyrir augum að hún myndi ná þéttingu niðri á mótaskel og setjast þar á láréttan 300 mm breiðan krans. Þessar forsendur standast ekki þar sem neðansjávarmyndatökur hafa sýnt að:
  - grjót nær víða upp í hæð ca -3,5 eða 0,5 - 0,7 m upp á stöpul.
  - steypa neðan stórstraumsfjöruborðs hefur ekki flagnað.
- Þurrkví verður að hanna með það fyrir augum að hún nái þéttingu á steiptum fleti stöpuls í hæð ca -3,5 eða 0,4 m neðan stórstraumsfjöruborðs.
- Umfang viðgerðar nái frá kóta ca -3,5 upp í kóta -0,5. Fræðilegur möguleiki er á að sjávarstaða geti orðið lægri en -3,5 við óhagstæðustu aðstæður og verður leitast við að láta steypuna ná eins langt niður og þurrkvíin leyfir.
- Neðri brún þurrkvíar nái niður í kóta -4,0 og upp í kóta +1,0.
- Þurrkví smíðist í 4 einingum sem híðar verði ofan af brú og rennt inn undir stöpul.
- Þurrkví fullhönnuð m.t.t. að hægt væri að bjóða út smíði hennar árið 1996.

*Staða pr. maí 1996:* Vinnu við hönnun þurrkvíar að mestu lokið, komin eru drög að útboðslýsingu, stálskrá og að mestu fullfrágengnir uppdrættir.

##### 2.10.4.1.2 *Hreinsun stöpulþyrborðs.*

Til að athuga þennan þátt sérstaklega var leitað eftir aðstoð hjá TV h/f, Tækniþjónusta, Verktakar en þeirra starfssvið hefur einkum verið ráðgjöf um steypuviðgerðir.

Sérstaklega var athugað hvers konar tækjabúnaður hentaði aðstæðum við notkun tækja sem hreinsa og brjóta yfirborð steypunnar með 1000 bar vatnsprýstingi.

Kostur þessarar aðferðar er að engar skemmdir verða á yfirborði þeirrar steypu sem brotið er af.

Ókostur þessarar aðferðar er hinn sérhæfði búnaður sem til verksins þarf auk þeirrar vinnuástöðu sem byggja þarf utan um þennan verkþátt.

Gera má ráð fyrir að talsverð fjárfesting fylgi þessum valkosti umfram það sem tiltækt er hjá verktökum hér á landi ef beita þarf stórvirkum aðferðum. Ef hins vegar er nægjanlegt að nota handvirk tæki, brotið af stöpulþyrborði yrði ca 10 mm að meðaltali og yfirferð stöpuls gæti tekið 2 daga þá væri það ásættanlegt miðað við gæði

hreinsunarinnar.

*Niðurstæða:*

Gert er ráð fyrir að beita handvirkum tækjum. Þykkt steypu sem fjarlægð verði er breytileg eftir skemmdasvæðum.

Hversu djúpt þarf að hreinsa verður ákveðið þegar komist verður að stöplum í þurrkví.

Athugandi er að beita jafnframt sandblæstri og háprýstipvotti.

#### **2.10.4.2 Byggingaraðferð.**

##### **2.10.4.2.1 Viðgerð stöpsuls með álímdum forsteypum plötum:**

###### **2.10.4.2.1.1 Hönnunarforsendur:**

- Einingarnar sem yrðu líklega 3,0 m háar og 1,6 eða 2,0 m breiðar yrðu festar á stöpulinn með innlímdum boltum sem tengjast stálplötum á baki eininganna sem yrðu annað hvort festar með suðuboltum eða steinlími.
- Veikleiki er í yfirborði þar sem steypa þarf yfir festibúnað eininga.
- Byggja þarf brík umhverfis stöpulinn undir einingar vegna uppsetningar þeirra. Þessi brík gæti verið hvoru tveggja úr stáli eða steypu.
- Með byggingu á brík undir einingar er einnig tryggt að ekki myndist veikleiki við neðri brún platananna.

###### **2.10.4.2.1.2 Þanmúr á bak við einingar:**

- Þanmúr sem dælt er á bak við einingar verður að vera veðrunarþolinn og hafa brotstyrk sem nálgast styrk eininganna.
- Veikleikar í yfirborði stöpsuls verða á plötusamskeytum og ofan við plötur þar sem þanmúr kemur út undan plötum.
- Líklegt er að umtalsverðar sprungur myndist í múr á bak við einingarnar þannig að búast má við vandræðum ef sjór kemst á bak við einingar.
- Ekki fundust heimildir um hvort að þanmúr sem hægt væri að dæla á bak við einingarnar stæðist veðrunarþolspróf.
- Heimildir um langtímarýrnun á þanmúr eru óljósar og í sumum tilvikum mótsagnakenndar.

###### **2.10.4.2.1.3 Steypa í einingar:**

- Steypa skal þola áhrif sjávar þannig að
  - myndun ettríngríts sé í lágmarki og skerði ekki frostþol steypunnar.
  - útskolun CaO sé í lágmarki.
  - klór gangi ekki inn í steypuna og eyðileggi járnalögnina.
- Kornadreifing fylliefnanna skal vera sem jöfnust með nægjanlegu magni fínefnis til að steypa verði þétt.
- Framleiðsla eininga færi fram við bestu aðstæður innanhúss m.t.t. framleiðslustýringar steypuframleiðslu og aðhlúun.
- Hagstætt að tími frá framleiðslu steypunnar þar til sjór kemst að henni sé sem lengstur.
- Stáltrefjar í steypunni myndu gagnast sem járnþending í flutningi og auka höggþol.
- Vegna framleiðslustýringar er ekki líklegt að hægt sé að nota stáltrefjar ef notuð



er hástyrkleikasteypu.

**Niðurstaða:**

- Kostir aðferðarinnar eru fyrst og fremst þeir að unnt er að tryggja gæði steypunnar í einingunum.
- Gallarnir eru að þessi aðferð er margþætt, þekkingu vantar um múrinn á bak við einingarnar, sjór gæti komist að stöplinum um sprungur og efasemdir eru um langtímaþol frá höggum og hristingi frá ísjökum.
- Nauðsynlegt er að prófa mismunandi gerðir af þanmúr með tilliti til bindieiginleika við stöpulinn, dælingareiginleika, rýrnun í lokuðu rými, frostheldni.

**2.10.4.2.2 Viðgerð stöpsuls með staðsteyptri steypu**

**2.10.4.2.2.1 Hönnunarforsendur:**

- Steypt kápa 100-120 mm þykk.
- Steypan er fest við stöpulinn með innlímdu kambstáli.
- Athugandi er að nota stáltrefjar með lágmarks járnþvingu að auki.

**2.10.4.2.2.2 Kröfur til steypu:**

- Steypan skal þola áhrif sjávar þannig að
  - myndun ettringíts sé í lágmarki.
  - útskolun CaO sé í lágmarki.
  - klór gangi ekki inn í steypuna og eyðileggi járnalögnina.
- Steypan skal vera þjál og auðveld í niðurlögn og við það miðað að hægt sé að dæla henni.
- Sigmál skal ekki vera meira en 200 mm.
- Steypan skal vera seig þannig að hún skiljist ekki við frítt fall.
- Steypan skal hafa það langan binditíma að tryggt sé að auðvelt sé að titra efri lög saman við neðri lög hennar.
- Steypan skal hafa rýrnun  $\varepsilon < 0,3\%$ .
- Styrkleikaflokkur skal vera  $\geq C70$ .
- Hámarks v/s hlutfall skal vera  $< 0,33 - 0,35$
- Nota skal hörðustu fáanlegu fylliefni til að tryggja lága rýrnun og mestan styrk.
- Kornadreifing fylliefnanna skal vera sem jöfnust með nægjanlegu magni fínafnis til að steypan verði þétt.

**2.10.4.2.2.3 Niðurlögn og aðhlúun:**

- Gert er ráð fyrir að halda megi rýrnun steypunnar í lágmarki með bestu aðhlúun. Einnig verður að gera ráð fyrir að halda sjó frá steypunni í 10 – 14 daga. Niðurlögn steypunnar miðist við að ná steypuyfirborðinu sem minnst sprungnu.
- Rýrnun í hástyrkleikasteypu er talin geta verið 0,3% eða 3-5 mm yfir stöpulinn allan. Tenging steypulagsins við stöpsulsins er líklega sterkari en togþol steypulagsins, þannig að við rýrnunina myndast tiltölulega fínar og þéttar sprungur við yfirborðið, sem líklega ná ekki inn að stöplinum.

**2.10.4.2.2.4 Niðurstaða:**

- Kostir aðferðarinnar eru þeir að framkvæmdin er ekki margþætt og yfirborðið hefur enga sérstaklega veikleika.

- Steypuna er unnt að festa vel við stöpulinn þannig að ásteypan ætti að þola sæmilega ánaud stórra ísjaka.
- Gallarnir eru þeir að sjór kemur að steypunni snemma á hörðunarferlinum (10-14 dagar)

## 2.11 VAL Á VIÐGERÐARAÐFERÐUM

### 2.11.1 Umfang viðgerðar:

Umfang viðgerðar nái frá kóta ca -3,5 upp í kóta -0,5.

Komið hefur fram að skemmdir efnabreytingar verða einnig á steypunni neðansjávar en án þess að steypan flagni. Verulegir annmarkar eru á því að koma þurrkví niður að þessu svæði.

Ekki er hægt að útiloka að með tíð og tíma myndist það mikil þensla í útfellingum að steypan byrji að flagna. Auk þess sem þetta ferli er ekki nægjanlega þekkt og hugsanlegt skemmdasvæði liggur oftast neðan sjávarborðs verður að gera ráð fyrir að fylgst verði með því áfram og að ef til kæmi verði við viðgerð á því svæði notuð neðansjávarviðgerðarefni.

### 2.11.2 Viðgerðaraðferð:

Viðgerð stöpulskal skal við það miðuð að hún verði unnin í þurrkví annað hvort með 100-120 mm ásteypu.

Þessi aðferð valin vegna þess að framkvæmdin er ekki margþætt og reynsla er af flestum þáttum aðgerðarinnar. Óvissuþættir við álímingu forsteypra eininga myndu kalla á talsverðar rannsóknir þar sem í sumum tilfellum er erfitt að skilgreina viðmið og rannsóknaraðferðir.

### 2.11.3 Almennar kröfur til steinsteypu í sjó:

- Rætt er um að nota hágæðasteypu (e. High Performance Concrete), HPC, þar sem styrkur steypunnar verður afleidd stærð, líklega >C70, en samsetning steypunnar skal vera með þeim eiginleikum að hún standist þær áraunir sem hún verður fyrir í sjávarumhverfi miðað við 50 - 100 ára líftíma.
- Til athugunar hefur einnig verið að nota hástyrkleikasteypu (e. High Strength Concrete), HSC, >C80, sem hefur verið framleidd hér á landi og er nokkur reynsla er komin á framleiðslu hennar.
- Stýra þarf framleiðslu hennar með íblöndun ýmiss konar íblöndunarefna háð mæligildum á flæðanleika og þjálmi steypunnar mældum í sérstökum mæli. Mæla þarf hverja hræru eða hvern steypubíl.
- Steypa skal þola áhrif sjávar þannig að
  - myndun ettríngíts sé í lágmarki og minnki ekki frostþol steypunnar.
  - útskolun CaO sé í lágmarki.
  - klór gangi ekki inn í steypuna og eyðileggi járnalögnina.
- Steypa skal vera frostþolin.
- Steypa skal vera þjál og auðveld í niðurlögn og við það miðað að hægt sé að dæla henni.
- Sigmál skal ekki vera meira en 200 mm.
- Steypa skal vera seig þannig að hún skiljist ekki við frítt fall.
- Steypa skal hafa það langan binditíma að tryggt sé að auðvelt sé að titra efri lög saman við neðri lög hennar.

- Steypan skal hafa rýrnun  $\epsilon < 0,3\%$ .
- Styrkleikaflokkur skal vera  $\geq C70$ .
- Hámarks v/s hlutfall skal vera  $< 0,33-0,35$ .

#### 2.11.4 Rannsóknir á steinsteypu, rannsóknaraðferðir og markgildi rannsókna.

- Í dag (maí 1996) er vinna ekki nógu langt komin til að segja megi fyrir hvaða “krítísku” þættir það eru sem ráða endingu steypu við þessar aðstæður.
- Unnið er að skilgreiningu rannsókna og rannsóknaraðferða til að mæla þá þætti sem verða ráðandi um endingu steypunnar. M.a. þarf að athuga:
  - hvaða mæliaðferð hentar til mælinga og úttektar á þéttleika steypunnar.
- Skilgreina þarf mæliaðferðir og kröfur til þéttleika steypunnar.
  - hvaða prófunaraðferðir henta til að mæla þol steypunnar gegn ettríngítmyndun og útskolun CaO. Skilgreina þarf prófunaraðferð/prófunaraðferðir og viðmiðunargildi.
  - hvort hægt sé að nota óloftblendna steypu.
  - hvaða kröfur þarf að gera til frostþols miðað við prófunaraðferðar SIS 137244 (aðferð A).
- Athuganir og prófanir miðist við að kanna hvaða bindiefni henti steypu í sjó. Með bindiefni er átt við sement, kísilryk, kolaryk (fly ash) og önnur þau efni sem mynda virkan þátt steypunnar.
- Búast má við að vinna við að skilgreina og prófa þessa þætti verði nokkuð tímafrek. Tilraunir til að mæla súlfatþol steypu geta í sumum tilfellum tekið 2 ár.
- Ákvarðanir um steypublöndu í viðgerð á fyrsta stöplum verður líklega tekin á grundvelli vísbendinga en ekki lokaniðurstöðu prófana ef ráðast þarf í viðgerðir 1997.
- Fyrirhuguð er sýnataka úr stöplum steiptum með kísilryksblönduðu sementi sem staðið hefur í sjó t.d. Eyjafjarðará (ca 10 ár) og/eða Brú á Önundarfjörð (ca 16 ár).

## 2.12 FRAMKVÆMDA- OG KOSTNAÐARÁÆTLUN

### 2.12.1 Kostnaður.

Gerð hefur verið lausleg kostnaðaráætlun miðað við þurrkví og viðgerð stöpla með ásteypu.

• Aðstaða	0,5 mkr.
• Smíði þurrkvíar:	1,0 -
• Uppsetning þurrkvíar pr. stöpl:	0,7 -
• Hreinsun stöpl:	1,0 -
• Mót á stöpl	1,2 -
• Steypa á stöpl:	1,5 -
• Aðhlúun steypu	0,3 -
• Upptaka þurrkvíar.	0,5 -
• Aukahlutir, ísvarnarjárn o.fl.	0,3 -
<b>Samtals:</b>	<b>7,0 mkr</b>
Ófyrirséð: 20%	1,4 -
Álag: 15%	1,3 -

**Alls kostn pr. stöpl: 9,7 mkr.**

### 2.12.2 Framkvæmd:

Framkvæmdaáætlun:

Útboð og smíði þurrkvíar: síðari hluti árs 1996 12,0 mkr.

Steypurannsóknir: mars 1996 - maí 1997. 2,0 -

Viðgerð á stöpli 4 og 5: júní - ágúst 1997. 19,0 -

Viðgerð á 2-3 stöplum á ári: 1998 - 2002 97,0 -

**Kostnaður alls pr 12 stöpla: 130 mkr**

### 3 Rannsóknir, prófsteypur og steypa kápu á stöpul 4, 1998 og stöpul 9, 1999

#### 3.1 Inngangur

Þegar ákvörðun um kápusteypu lá fyrir breyttist verkefnið fljótlega í annars vegar hönnun og smíði búnaðar fyrir kápusteypu og hinsvegar í hönnun steypu sem þyldi betur það umhverfisálag sem er í Borgarfirði.

Þar sem munur á flóði og fjöru í Borgarfirði er mjög mikill, þurfti að hanna þurrkví til að unnt væri að vinna viðgerðirnar. Vegna lögunar stöplanna var takmarkað hversu langt niður þurrkví gæti náð, en það féll einnig saman við flögnunarsvæðið. Einnig voru takmarkanir á því hversu mikilli þyngd væri unnt að bæta við stöplana vegna takmarkaðs burðarþols staura sem brúin hvílir á.

Samhliða þessum undirbúningi var unnið að rannsóknum á steypublöndum sem kæmu til greina við viðgerðir. Við það verkefni hafa fyrst og fremst unnið starfsmenn Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins, Rb (Nú Nýsköpunarmiðstöð Íslands, NMÍ) undir stjórn Ólafs Wallevik. Rannsóknirnar hafa verið styrktar af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar, auk þess sem Rb hefur einnig fléttað þetta verkefni saman við önnur verkefni sem þeir hafa unnið við og nýtt samlegðaráhrif verkefnanna.

Það var ekki fyrr en á árinu 1998 sem fyrsta kápan var steyppt. Þá var tekinn fyrir stöpull 4, sem er fjórði stöpull brúarinnar talið sunnan frá. Niðurstöður rannsókna höfðu þá sýnt að í því umhverfi sem er í Borgarfirði virðist slaggsegment henta vel.

Stöpull 9 var steypdur árið 1999.

Hönnun og smíði þurrkvíar með tilheyrandi búnaði reyndist afar vel eftir minni háttar aðlögun á nokkrum íhlutum kvíarinnar.

*Niðurstöður prófana á kápusteypum stöpla 4 og 9 ásamt praktískum atriðum vegna blöndunar og niðurlagnar steypunnar voru ekki í samræmi við væntingar.*

Hér á eftir verður gerð nánari grein fyrir þessum atriðum.

#### 3.2 Stöpull 4. Stöpulkápa steyppt 14. júlí 1998

##### 3.2.1 Undirbúningur

##### 3.2.1.1 Flutningur og uppsetning aðstöðu

Brúaflokkurinn byrjaði að flytja vinnubúðir og vélar frá Hvammstanga 4. maí og fékk aðstöðu í Vegagerðarlóðinni í Borgarnesi. Fyrstu 4 dagarnir fóru í að flytja, ganga frá vinnubúðum, tengja rafmagn, vatn og frárennsli.

Verkfæraskúr og efnislager voru í Vegagerðarlóðinni.

Rafstöð var sett á garðinn við suðurenda brúarinnar og lagnir að stöplinum. Vatn var fengið frá vatnsveitunni í Borgarnesi og var hægt að tengja inn á lögnina við suðurenda brúarinnar.

### 3.2.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Áður en farið var að vinna á brúnni var komið fyrir merkingum í samráði við Lögregluna í Borgarnesi. Sérstök merki með upplýsingum um að viðgerð á brúnni stæði yfir, voru sett upp nálægt endum brúarinnar. Síðan komu bannmerki B26.50 þar sem hraðinn var tekinn niður í 50 km og viðvörunarmerki A17.11 um vinnusvæði. Að lokum kom svo bannmerki B26.30 þar sem hraðinn er lækkaður í 30 km og viðvörunarmerki A14.21 um þrengingu á akbraut. Þegar unnið var á brúnni var annarri akreininni lokað á stuttu svæði við stöpulinn þannig að hægt væri að athafna sig þar með tæki og efni. Til að afmarka svæðið voru steyptir akreinasteinar með slá og blikkljósum settir við endanna með boðmerki C09.11(12) en í langáttina voru notaðar keilur og flaggalínur.

Þegar vinna lá niðri voru hindranir teknar af brúnni og breytt yfir hraðaskilti.

Þegar kvíin var sett niður, en það var gert að nóttu til, voru umferðatafir auglýstar í útvarpi. Kostnaðurinn við það var um 500. þús. krónur og er rétt að athuga hvort hægt er að gera það á ódýrari hátt. Þegar kvíin var sett niður og tekin upp var lögreglan fenginn til að vera á staðnum og sjá um umferðastjórnun.

### 3.2.1.3 Öryggismál

Huga þurfti sérstaklega að öryggismálum varðandi vinnu við brúna, þar sem verið var að vinna í mikilli umferð upp á henni og yfir sterku straumvatni undir henni.

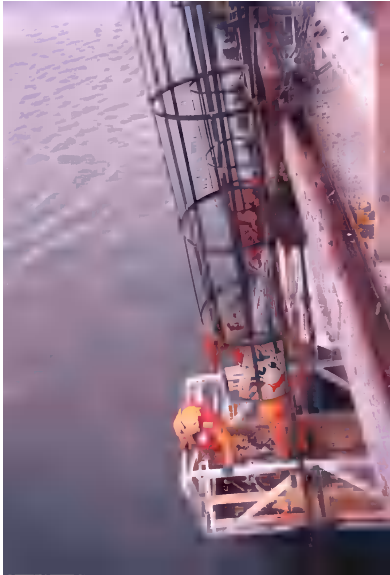
Í brúaflokknum gildir sú regla að allir starfsmenn nota hjálm og eru í öryggisskóm. Auk þess er mikilvægt við svona aðstæður að starfsmenn séu í áberandi klæðnaði og að tæki og bílar sem notaðir eru á vinnusvæðinu hafi blikkljós.

Þegar unnið var utan við kvína, t.d. við uppsetningu og niðurtekt á vinnuþöllum og kvínni, og þegar unnið var af vinnuþöllum, var ætlast til að menn væru í björgunarvesti. Við sömu aðstæður var björgunarbátur með manni hafður í viðbragðsstöðu við stöpulinn, ef eitthvað brygði út af. Varð þetta nokkuð dýr liður, þar sem hluti af hreinsun, borun og innlímingu á tengijárum var unnin frá vinnuþöllum í nokkra daga.

Með því að vinna meira inn í kvínni en gert var og setja upp öryggisnet, væri hægt minnka notkun á björgunarbátum, án þess að öryggið minnkaði. Það verður þó að reikna með að björgunarbátur sé til staðar

### 3.2.1.4 Vinnupallar

Vinnupallarnir voru nýir úr áli og komu ósamsettir. Byrjað var að setja þá saman 12. maí og var því lokið 19. maí og voru þeir þá settir upp. Smíða þurfti upphengjur fyrir pallana og var ákveðið að hafa þá á brautum þannig að hægt væri að renna þeim að og frá stöplinum. Jafnframt var komið fyrir talíum á upphengjuhlárnar, þannig að hægt væri að færa pallana upp og niður eftir sjávarföllum. Smíða þurfti stiga af brúnni niður á pallana og var hann hafður með öryggisgrind. Áður en farið var með pallana út á brú var rennibrautunum fyrir þá komið fyrir á brúarbríkinni og stigarnir settir upp.



Við uppsetningu á vinnupöllum var notaður vörubíll með krana, bátur og prammi frá Djúpmynd ásamt krana brúaflokksins. Til öryggis var björgunarsveitin Brák með bát á staðnum. Pallarnir voru hífðir út á prammann, sem báturinn dró síðan undir brúna. Taliurnar voru svo notaðar til að hífa þá upp í festingarnar. Gekk þetta verk greiðlega þrátt fyrir nokkurn straum meðan á verkinu stóð, en best er að vera sem næst fallskiptunum við verkið.



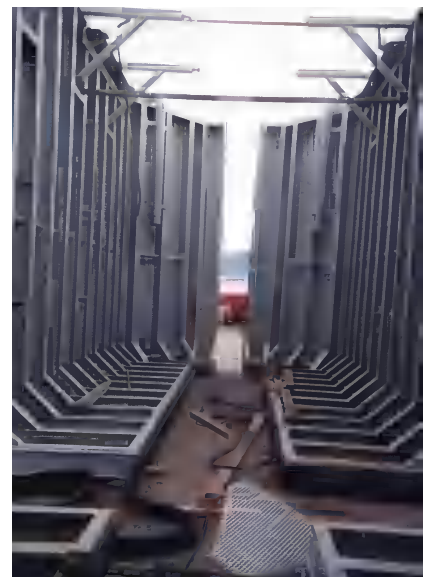
Vinnupallur

Þegar verkpallarnir voru teknir upp að verki loknu voru plastkubbar, sem eru 1,0x3,0x0,5 m að stærð, settir undir hornin á pöllum og þeir láttnir fljóta undir brúna og síðan hífðir upp. Reyndist það vel og er rétt að nota þá aðferð framvegis við uppsetningu og niðurtekt á pöllum og spara þannig bát og pramma. Þó er rétt að hafa björgunarbát í viðbragðsstöðu ef eitthvað kemur upp á.

### 3.2.1.5 Kví

Kvíin var flutt í tveim ferðum (fjórum hlutum) upp í Borgarnes, aðfaranótt 12. maí og 19. maí og komið fyrir við verkstæði Vegagerðarinnar. Mikil vinna var eftir við kvína til að gera hana klára og unnu starfsmenn brúaflokksins og verkstæðisins við það verk. Setja þurfti þéttlista á samskeyti, koma fyrir 2 öryggislokum og dælurörum, setja göngugólf við botninn, smíða vinnupalla í miðri hæð kvíarinnar og koma fyrir upphengibúnaði og festingum. Jafnframt var unnið að því að koma fyrir festingum í stöpulinn og hengja upp brautir neðan í brúarbitana.

Mikilvægt er að brautirnar séu rétt staðsettar í hæð til þess



að kvíin falli rétt saman og verði þétt. Breyta þurfti festingum sem búið var að smíða, til þess að þær pössuðu.

Undirbúningsvinnu við kvína og festingum á brúnni lauk 10. júní en uppsetningin fór fram aðfaranótt 12 og 13 júní. Ákveðið var að setja kvína upp að nóttu til þegar umferðin væri minnst. Mikilvægast er þó að vera sem næst fallaskiptunum við verkið og einnig þarf veðrið að vera stillt. Í fyrstu var gert ráð fyrir að velja stórstraumsfjöru við verkið til þess að sem minnst af kvínni færi ofan í vatn og hægt yrði að festa hana við stöpulinn neðan til. Síðan var horfið frá því þar sem menn töldu að óhagræðið af sterkum straumi yrði of mikið ef verkið tefðist fram yfir fallaskiptin. Var þess í stað valin fjara sem fór vel niður fyrir festingar á miðri kvínni. Áður en að niðursetningunni kom þurfti að kanna botninn við stöpulinn og kom í ljós að nokkrir steinar stóðu of hátt fyrir kvína. Var gömul víraskófla frá Skóflunni hf. á Akranesi fenginn til þess að færa steinana frá og gekk það vel.



Við niðursetningu á kvínni var krani brúaflokksins notaður við að hífa kvíarhlutana, sem voru á lóð Vegagerðarinnar, á dráttarbíl sem flutti þá niður á brú. Þar var 75 tonna krani, sem leigður var frá Skóflunni hf. á Akranesi notaður til þess að hífa kvína niður. Valinn var þetta stór krani til öryggis ef eitthvað brygði út af við niðursetninguna. Kraninn var látinn standa þannig að lappirnar væru sem næst því að vera yfir brúarbitunum. Nokkuð vel gekk að hengja kvíarhlutana upp í brautirnar og festa þá saman. Til að festa kvína saman að neðan og til að þétta hana var fenginn kafari.

### 3.2.2 Vinna við stöpul

#### 3.2.2.1 Ástand stöpuls



Mynd af stöpli 4



### 3.2.2.2 Hreinsun stöpluls

Byrjað var á því að saga u.þ.b. 20 mm djúpa rauf í stöpulinn eftir steypuskilunum. Við hreinsun á stöplinum var ákveðið að nota svokallað vatnsbrot við hreinsun á stöplinum þar sem hættu var á að steypan væri léleg eða laus. Við vatnsbrot eru notuð háþrýstítæki með um 1200 bar þrýstingi. Hreinsunin gekk vel og tókst að brjóta og hreinsa alla lausa steypu af stöplinum. Þar sem steypan virtist í lagi var hún hreinsuð með sandblæstri. Það var fyrirtækið Eignavernd ehf. sem sá um þessa verkliði. Verkið var unnið í tveimur áföngum, sá fyrri áður en kvíin var sett upp og var þá hreinsað eins og hægt var niður að vatnsborði. Það sem eftir var, var hreinsað eftir að kvíin var sett upp.

Þegar búið var að bora og líma öll tengijárn og áður en byrjað var á mótaupplætti var stöpullinn hreinsaður með háþrýstipvotti.

### 3.2.2.3 Járnalögn



Í kápusteypuna var sett járnagrind úr 12 mm járnum með c/c 100 mm.

Járnagrindin var tengd við stöpulinn með 12 mm tengijárnum, og voru fest með HIT-YT150 lími. c/c 300 mm. Fjöldi tengijárna var um 940 stk.

### 3.2.2.4 Mót

Mótaklæðning var úr Dokaplötum 22 mm 500 mm breiðum og voru borðin látin standa lóðrétt.

Dokaplöturnar voru klæddar með dúk, Zemdrain 5000, sem dregur úr loftbólum á yfirborði steypunnar og var dúkurinn festur á plötunum áður en mótin voru sett upp. Nauðsynlegt er að láta dúkinn falla vel að plötunum og gæta þess að engin brot verði á honum því þau koma vel fram á steypuyfirborðinu.

### 3.2.2.5 Steypa

Stöpulkápan var steyp 14 júlí 1998.

Boruð voru 2 göt í brúargólfið til að koma steypunni niður.

Eftirfarandi eru kaflar úr skýrslu 99-04 frá Rb:

### Steinsteypa í ágengu umhverfi – kápusteypa í Borgarfjarðarbrú.

#### 5.2 Steypa á byggingarstað

Í töflu 5.0 er að finna blöndunarhlutföllin í steypum sem steyptar voru í Borgarfirði.

Blanda merkt: Steypudagur:	Bl. 3-6a 3/6 '98	Bl. 3-6a 3/6 '98	Bl. 3-6b 3/6 '98	Bl. 23-6a 23/6 '98	Bl. 23-6b 23/6 '98	Bl. 23-6b 23/6 '98
Sement. [kg/m <sup>3</sup> ]	333	343	340	346	345	349
Slagg. [kg/m <sup>3</sup> ]	144	148	163	150	170	172
Vatn. [l]	155	165	158	160	173	175
Mettivatn. [l]	49	49	49	49	48	49
Fíns.: Björgun. [kg/m <sup>3</sup> ]	99	102	101	118	116	117
Sandur: 0/4 . [kg/m <sup>3</sup> ]	599	616	611	614	607	613
Seljad. perla 8-12. [kg/m <sup>3</sup> ]	429	441	438	431	417	422
Seljad. mól 12-16.[kg/m <sup>3</sup> ]	652	597	593	580	570	577
Gr.b. [l]	6,940	9,061	9?	4,804	4,999	5,056
SS AIR [l]	0,130	0,275	0,212	0,149	0,155	0,197
Rúmpyngd. [kg/m <sup>3</sup> ]	2467	2470	2453	2453	2451	2479
Loft. [%]	2,6	5,1	8,5	5,8	5,8	5,5
v/c tala	0,32	0,34	0,31	0,32	0,34	0,34

##### 5.2.1.1. Prufusteypa. 3-Júní-1998

Framkvæmdin fór fram hjá Lofiorku Borgamesi. Ef vel tækist til, þá átti að nota steypuna í viðgerð á Brákarsundsbrú. Alls voru útbúnar tvær blöndur. Öll efni voru á staðnum. Fylliefnið er viktað í stórsekkjum (Seljadalur og Björgunarsandur). Slaggið er í um 15 kg pokum. Sement og vatn kemur úr stöðinni.

##### Blanda 1.

Byrjað var á að hræra um 1,5 m<sup>3</sup> blöndu. Fylliefni var sett í bílinn og síðan slaggið. Því næst var sementinu og vatninu hrært saman í stöðinni og eftir ákveðin hrærslutíma var loftblendinu bætt út í (0,13 l/m<sup>3</sup>). Sementsefjan var þá látin fara í tunnuna. Ó.W. bætti flotinu út í. Þegar fyrirfram áætlaður skammtur var kominn út í var blandan mjög óþjál. Bætt var út í steypuna meira floti (+ 15 kg vatni) uns vinnanleiki virtist eðlilegur. Loftmæling á staðnum, með loftmæli frá Loftorku gaf um 2,6 % loft.

Bætt var loftblendni (2x skammtur) og mældist þá 5,1 % loft. Fjarlægðarstuðullinn með AVA tækinu reyndist vera um 0,49 mm, sem er of hátt og því var ákveðið að henda steypunni. Engu að síður var keyrt með steypuna niður að brú og steypur byggjupólí fyrir ákveðna skútu í Borgamesi.

Ath. Loftblendiefnið virkar ekki - þarf að setja það í síðar í ferlinu.

Tunnan á steypubílum var þurr.

##### Blanda 2.

Ákveðið var að útbúa um 3 m<sup>3</sup> af steypublöndu. Í þetta sinn var helmingur af fylliefninu sett út í blönduna, síðan allt slaggið. Því næst var sementinu og vatninu bætt út í eins og áður. Að lokum var restinni af fylliefninu bætt út í. Þessu var hrært saman, helmingur af flotinu bætt út í, því næst loftblendiefninu og svo restinni af flotinu. Í þetta sinn var notað um 0,2 l/m<sup>3</sup> af loftblendiefni.

Það varð töluverður aðskilnaður í steypunni. Keyrt var með steypuna niður á brú. Þegar þangað var komið eftir u.b.b. 30 mín var ennþá verulegur aðskilnaður í steypunni. Ákveðið að bæta 3 pokum af slaggi úr í steypuna. Eftir ákv. hrærslutíma var loftið mælt í steypunni með loftmæli frá Vg. Það reyndist vera um 8,5 %. Það var ennþá verulegur aðskilnaður í steypunni. 3 pokum af slaggi var bætt út í steypuna til viðbótar. Það hafði tiltölulega lítið að segja. Því var ákveðið að henda steypunni. Loftorka keyrði steypuna upp í stöð og lagði hana út. Verulegur aðskilnaður varð í steypunni - sýni til hjá Rb.

##### 5.2.2.2. Prufusteypa. 23-Júní-1998

##### Brákarsundsbrú

Sex borkjamar voru boraðir úr undirstöðum brúarinnar þann 28-10-98. Kjarnar 1, 2 og 3 voru teknir vestanmegin (steypst með Rb-ingum þann 22/6/98) og kjarnar 4, 5 og 6 voru teknir austanmegin, Borgarnesmegin (steypst af Vg hvenær ??).

Loftgreining var gerð á sýnum úr öllum kjörnunum, sjá niðurstöður í töflu 5-2.

Tafla 5-2. Loftgreining á steypukjörnum úr Brákarsundbrú

	loft, %	fjarlægðarstuðull [mm]	Yfirborð loftbóla [mm <sup>-1</sup> ]
<b>kjarni 1 - sýni af 10-15 cm dýpi</b>	6,6	0,16	29
<b>kjarni 2 - sýni af 5-10 cm dýpi</b>	6,2	0,16	27
<b>kjarni 3 - sýni af 5-10 cm dýpi</b>	3,7	0,21	36
<b>kjarni 4 - sýni af 5-10 cm dýpi</b>	2,9	0,27	23
<b>kjarni 5 - sýni af 5-10 cm dýpi</b>	3,3	0,25	26
<b>kjarni 6 - sýni af 5-10 cm dýpi</b>	3,0	0,25	27

Það virðist vera nokkur munur á loftmagninu í þessum sýnum. Kjarnar 1 og 2 eru með rúmlega 6 % loft og fjarlægðarstuðul um 0,16 mm. Kjarni 3, sem er úr sömu steypu hefur aðeins minna loft, um 3,7 % og fjarlægðarstuðullinn er að sama skapi aðeins hærri. Kjarnar 4, 5 og 6 mælast með um 3 % loft og fjarlægðarstuðul um og yfir 0,25 mm.

Frostþolsprófun var gerð á sýnunum. Niðurstöðurnar eru gefnar í töflu 5-3.

Tafla 5-3. Brákarsundsbrú borkjarnar.

Sýni	Flatarmál, [cm <sup>2</sup> ]	7 umferðir	14 umferðir	28 umferðir (0,5)	42 umferðir	56 umferðir (1,0)
1	36,3	0,06	0,07	0,10	0,13	0,15
2	36,3	0,06	0,06	0,10	0,11	0,17
3	36,3	0,06	0,08	0,12	0,14	0,20
4	36,3	0,06	0,06	0,10	0,28	0,34
5	36,3	0,03	0,06	0,12	0,19	0,27
6	36,3	0,02	0,06	0,10	0,15	0,22

Niðurstöður úr sænska veðrunarþolsprófinu (SS 13 72 44) með 3 % NaCl. Niðurbrotið er uppgengið sem kg/m<sup>2</sup>, meðaltal þriggja mælinga.

Öll sýnin koma mjög vel út úr prófinu og virðist að loftmagnið í sýnunum hafi ekki mælanleg áhrif á frostþol sýnanna.

#### 5.2.3.3. Prufusteypa: Kápusteypa. 14-Júlí-98

Allt steinefni í steypuna kom í sekkjum. Perlan var frá Seljadal og sandurinn frá Björgun hf. í Reykjavík sem sá um að sekkja allt efnið í réttum hlutföllum.

#### Steypublanda:

Magn í blöndu		Samkv. skýrslu 99-4
	m <sup>3</sup>	1,0
Fínsandur frá Björgun	kg	117
Grófsandur frá Björgun	kg	613
Perla 11 – 16 frá Seljadal	kg	577
Perla 8 – 11 frá Seljadal	kg	433
Sement: Portland	kg	349
Slagg: Merit 5000	kg	172
Vatn	l	175
Þjálnefni ADWA-flow	l	4,4
Loftblendi: SS-Air	l	0,197
Stálfrefjar: Dramix 05/30 mm	kg	40

Á staðnum voru sýni tekin í þrýstipól, loftgreiningu og frostþol. Niðurstöður úr þrýstipóli eru gefnar í töflu 5-4.

Steypan var hræð í bílum frá Loftorku ehf í Borgarnesi. Steypar voru 5 blöndur, fjórar voru 3 m<sup>3</sup> og ein var 1,5 m<sup>3</sup> og gekk framkvæmdin vel. Tekin voru sýni í þrýstipól, loftgreiningu og frostþol.

Tafla 5-4. Þrýstipól (28 daga) sívalninga sem teknir voru úr steypubil á brúnni, litlir sívalningar, MPa.

sýni (fjöldi)	Þrýstipól (frávik)	Rúmpyngd, [kg/m <sup>3</sup> ]
<b>Bíll 1 (1)</b>	65,7	2555
<b>Bíll 3 (3)</b>	70,3 (8)	2596 (18)
<b>Bíll 4 (4)</b>	54,2 (4)	2531 (13)

Ljóst er að þrýstipolið (28 daga) er verulega misjafnt. Í töflu 5-5.1 og 5-5.2 er gerð grein fyrir loftmælingu á sýnunum.

Tafla 5-5.1. Loftgreiningar á steypu úr Borgarfjarðarbrúnni. Kápusteypa

	Rúmpyngd [kg/m <sup>3</sup> ]	Loft [%] Rb	Loft [%] Vegagerð
Bíll 1	2526	5,3	3,5
Bíll 2	2478	5,0	4,8
Bíll 3	2537	4,3	5,0
Bíll 4	2480	5,5	5,0

Tafla 5-5.1. Loftgreiningar á steypu úr Borgarfjarðarbrúnni hörðnuð steypa talið á Rb 28-8-1998.

AVA greiningar eru framkvæmdar í stöð með tölvustýrðri vog. Loftmælingar í stöð og brú eru gerðar með venjulegum loftmæli.

Sýni	Loft, hörðnuð steypa [%]	Loft, blaut steypa í stöð [%]	Loft, blaut steypa í brú [%]	Loft, blaut steypa í stöð AVA [%]	Fjarlægðarstuðull hörðnuð steypa [mm]	Fjarlægðarstuðull blaut steypa [mm]	Yfirborð loftbóla hörðnuð steypa [mm <sup>-1</sup> ]	Yfirborð loftbóla blaut steypa AVA [mm <sup>-1</sup> ]
Bíll 1	1,3	5,3	3,5	4,1	0,22	0,57	45	10,1
Bíll 2	2,5	5,0	4,8	3,5-2,7	0,28	0,41-0,59	26	15,0-11,8
Bíll 3	2,5	4,3	5,0	3,4	0,26	0,27	30	25,3
Bíll 4	2,9	5,5	5,0	4,6	0,27	0,35	26	16,3
Bíll 5	3,6	-	-	-	0,22	-	29	-

Ljóst er að loftmagnið er nokkuð lélegt og fjarlægðarstuðullinn að sama skapi tiltölulega hár.

Þann 28-7-98 voru boraðir 6 kjarnar úr kápunni, þrjár hvorum megin. Kjarnarnir voru boraðir í u.b.b. 30 til 50 cm hæð frá neðra borði og þeir voru teknir úr austur endanum (í átt að Hvanneyri).

Loftgreining var gerð á kjarna númer 1 og 4. Kjarni númer 1 er tekinn Borgarnesmegin, 0,5 m frá enda stöpsulsins. Kjarni númer 4 er tekinn Reykjavíkurmegin, u.þ.b. 2 m frá enda stöpsuls. Niðurstöðurnar eru gefnar í töflu 5-6.

Tafla 5-6. Loftgreining á steypum kjörnum úr Borgarfjarðarbrúnni

	loft, %	fjarlægðarstuðull [mm]	Yfirborð loftbóla [mm <sup>-1</sup> ]
Kjarni 1 - 9 cm frá yfirborði	2,9	0,29	27
Kjarni 1 - 5 cm frá yfirborði	3,4	0,34	22
Kjarni 4 - 7 cm frá yfirborði	0,8	0,20	59
Kjarni 4 - 11 cm frá yfirborði	1,5	0,29	32

Niðurstöðurnar eru svipaðar og mældust í sýnunum sem tekin voru á steypudegi. Loftmagnið er lágt og fjarlægðarstuðullinn er frekar hár, ef undan er skilið sýni úr kjarna 4, 7 cm frá yfirborði.

Niðurstöður úr frost/þiðu-prófununum eru gefnar í töflu 5-7 og þær eru einnig sýndar á móti loftmagninu á mynd 5-1.

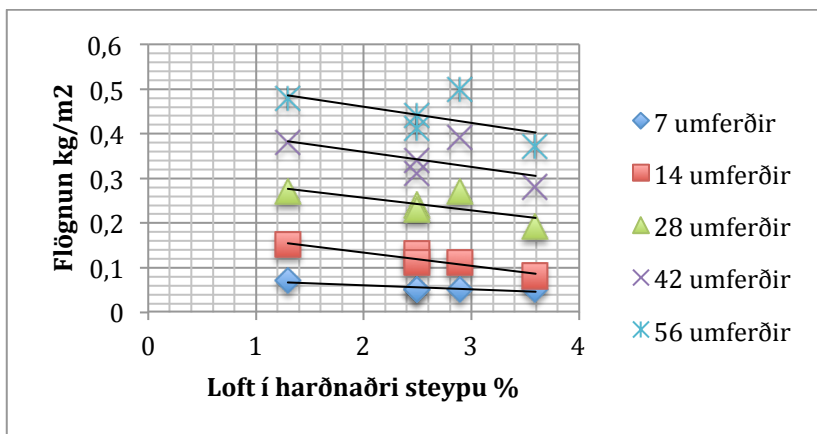
Tafla 5-7. Niðurstöður úr sænska veðrunarþolsprófinu (SS 13 72 44), með 3 % NaCl.

Sýni úr steypu sem steyppt var utan á stöpl 4, tekið úr steypubíl. Sýnin hörðnuðu við 98 % Rh og 20 °C í 28 daga.

Niðurbrotið er uppgæfið sem kg/m<sup>2</sup>, meðaltals gildi tveggja mælinga. Loftblendin steinsteypusýni.

Sýni	Flatarmál, [cm <sup>2</sup> ]	Loft, hörðnuð steypa [%]	7 umferðir	14 umferðir	28 umferðir (0,5)	42 umferðir	56 umferðir (1,0)
Bíll 1	176,6	1,3	0,07	0,15	0,27	0,38	0,48
Bíll 2	176,6	2,5	0,05	0,13	0,24	0,34	0,44
Bíll 3	176,6	2,5	0,05	0,11	0,23	0,31	0,41
Bíll 4	176,6	2,9	0,05	0,11	0,27	0,39	0,50
Bíll 5	176,6	3,6	0,05	0,08	0,19	0,28	0,37

Flögnunin er alls staðar undir 0,5 kg/m<sup>2</sup> sem verður að teljast viðunandi árangur, þótt búist væri við að flögnunin yrði minni.



Sýni voru geymd í 10x lausninni. Eftir 2 mánuði voru sýni sett í frostþolsprófun. Niðurstöðurnar eru gefnar í töflu 5-8.

Tafla 5-8. Niðurstöður úr sænska veðrunarþolsprófi (SS 13 72 44), með 3 % NaCl. Loftblendin steinsteypusýni. Sýni úr steypu sem steipt var utan á stöpul 4, tekið úr steypubíl.

Sýni	Flatar-mál, [cm <sup>2</sup> ]	Loft, hörðnuð steypa [%]	7 umferðir	14 umferðir	28 umferðir (0,5)	42 umferðir	56 umferðir (1,0)
Bíll 1	176,6	1,3	0,05	0,09	0,17	0,46	0,57
Bíll 2	176,6	2,5	0,04	0,08	0,17	0,25	0,34
Bíll 3	176,6	2,5	0,07	0,12	0,18	0,35	0,47
Bíll 4	176,6	2,9	0,09	0,13	0,17	0,42	0,54
Bíll 5	176,6	3,6	0,06	0,11	0,18	0,37	0,47

Sýnin hörðnuðu við 98 % Rh og 20 °C í 28 daga, voru síðan í 2 mánuði í 10x lausn. Niðurbrotið er uppgæfið sem kg/m<sup>2</sup>, meðaltalsgildi tveggja mælinga.

Flögnunin hefur heldur aukist miðað við ómeðhöndluð sýni. Aukningin er þó mjög lítil og e.t.v. innan skekkjumarka.

## Lokakaflí skýrslu Rb 99-4

### ÁFRAMHALDANDI PRÓFANIR

Fyrirhugað er að halda sambærilegri rannsóknarvinnu áfram. Sýni úr seríu 3 eru í áframhaldandi prófunum og verið er að vinna úr niðurstöðum á klórgreiningum sem gerðar voru á sýnunum eftir að hafa verið eitt ár í sjó.

Sambærilegar prófanir verða gerðar á sýnunum úr kápusteypunni, en sýnin eru látin liggja í 10x lausninni.

### SAMANTEKT OG HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Skemmdir hafa komið fram í stöplum undir Borgarfjarðarbrú. Þær lýsa sér þannig að yfirborðsflögnun á sér stað í steypunni. Flögnunin er mest í hluta stöplanna sem eru við lægstu fjörumörk. Flögnunin minnkar þegar ofar dregur og hún er engin fyrir neðan lægstu fjörumörk. Samfara yfirborðsflögnun sementsefjunnar, er mikil sprungumyndun sem nær nokkuð inn í sýnin. Ettringit (Ca<sub>3</sub>Al<sub>2</sub>O<sub>6</sub> · 3CaSO<sub>4</sub> · 32H<sub>2</sub>O) útfellingar eru í sprungum og loftbólum. Það er einnig margt sem bendir til þess að anhydrit (CaSO<sub>4</sub>) finnist einnig í sprungunum. Útfellingarnar valda væntanlega því að steypnan verður ófrostþolin, sökum þess að loftbólurnar eru fylltar.

Við hönnun á steypu sem á að fara utan á stöplana í Borgarfjarðarbrúnni þarf að koma í veg fyrir að efnabreytingar eigi sér stað í steypunni og steypnan verður að vera mjög frostþolin. Byrjað var að finna heppilegt bindiefni í viðgerðarsteypuna. Þegar niðurstöður lágu fyrir varðandi bindiefni, var byrjað að finna íblöndunarefni sem gáfu heppilega loftdreifingu og vinnanlega steinsteypu úr viðkomandi bindiefni.

Við val á bindiefni voru alls 17 múrblöndur útbúnar með mismunandi bindiefnum. Bindiefnin voru aðallega

byggð á íslensku Portlandsementi, þ.e. sement með 7,5 % kísilyki, síðan var bætt út í sementið íaukaefnum eins og kolaryki og slaggi. Einnig voru prófaðar nokkrar sementstegundir án íaukaefna. Aðallega stuðst við niðurstöður út tveimur prófunum: sænska frost/þíðu-prófunin og leiðni klórs inn í viðkomandi sýni. Frost/þíðu-prófanirnar fóru þannig fram að fyrst voru staðalsýni keyrð.

Síðan sýni sem voru geymd í sjó við 40 °C og í lausn sem var með u.þ.b. 10x meiri lausnarstyrk en sjór. Þegar sýnin höfðu verið í 2 og 12 mánuði í þessum lausnum voru þau prófuð í frost/þíðuprófuninni. Klórstyrkurinn var einnig mældur í þessum sýnum.

Sýnin án íaukaefni hafa lélegt frostbol. Kolaryksýnin komu mjög illa út úr frost/þíðu-prófununum. Staðalsýnin komu tiltölulega vel út úr prófuninni en eftir legu bæði í sjó við 40 °C og í 10x lausninni minnkaði frostþolið verulega. Þessu er nokkuð öðruvísi farið í slaggsýnunum. Staðalsýnin koma vel út úr frost/þíðu-prófuninni. Við legu í lausnunum þá minnkar frostþolið, en ekki eins mikið og í kolarykssýnunum. Eftir eitt ár í sjó við 40 °C þá standast slaggsýnin prófunina, meðan kolarykssýnin falla á prófuninni. Eftir legu í eitt ár í 10x lausninni þá falla bæði slagg- og kolarykssýnin prófunina, en niðurbrotið er mun meira í kolarykssýnunum.

Athyglisvert er hve vel íslenskt VP-sement (með 7,5 % kísilyki og 3 % líparíti) kemur út úr flestum prófununum, og t.d. mun betur en kolarykssýnin. Samanburður við slaggsement er þó VP-sementinu verulega óhagstæður.

Leiðni klórs inn í sýnin var mælt í þeim. Leiðnistuðull fyrir klór var reiknaður fyrir sýnin sem höfðu legið 12 mánuði í 10x lausninni. Stuðullinn mælist lægstur í slaggsýnum með 15 og 40 % hlutfall slaggs og mestur í sýnum með engu íaukaefni. Steypa með tiltölulega lágan leiðnistuðul er mun frostþolnari en steypa með háan leiðnistuðul. Með því að nota um 40 % slagg með íslensku VP-sementi (sýni 1-2) er hægt að lækka leiðnistuðulinn um meira en eina stærðargráðu, miðað við sýnin án íblöndunar (sýni 1-12).

Miðað við þessar niðurstöður var ákveðið að prófa slagg frekar sem íaukaefni, en kolaryk var útilokað frá frekari prófunum. Sökum þess hve frostþolið var gott og leiðnistuðullinn lágur í sýnum með 40 % slagg innihald var ákveðið að nota 40 % af slaggi á móti 60 % af venjulegu íslensku Portlandsementi. Belgíska SR-Top sementið var einnig valið til frekari prófana, auk þess sem norskt Anlegg sement og danskt lágalkalísement, sem nú eru með um 5 % kísilyki, voru einnig valin til frekari prófana. Íslenskt venjulegt Portlandsement var valið sem viðmiðun í þessum prófunum.

Steyptar voru prófsteypur með þessum bindiefnum og Björgunarefni sem fylliefni. Byrjað var að prófa frostþol sýnanna í sænska frost/þíðuprófuninni. Sýnin voru öll óloftblendin og af þeim sökum komu þau mjög illa út úr prófuninni. Þúnar voru til nýjar blöndur með loftblendiefni. Mælt loft í blautri steypu var um 4 til 5 %, nema í sýni úr SR-Top sementinu, það var með um 2,5 % loftmagn.

Staðalsýnin komu nokkuð vel út úr prófuninni, flögnunin var sérstaklega lág í slaggsýninu og sýninu úr venjulegu íslensku Portlandsementi. Lega í sjó við 20 °C í allt að 13 mánuðum virðist ekki hafa áhrif á frostþolið í þessum sýnum.

Niðurstöður úr þessum rannsóknum bendir til þess að, jafnvel þótt 28-daga styrkur steypu sé um og yfir 70 MPa þá tryggir styrkurinn einn og sér ekki frostþolna steinsteypu (með v/s-hlutfall um 0,33), nauðsynlegt er að steypa sé loftblendin. Í þessum blöndum virðist fjarlægðarstuðull um 0,35 til 0,4 mm tryggja frostþolna steinsteypu. Sé v/s-hlutfallið aukið upp í 0,4, þá þarf fjarlægðarstuðullinn að vera töluvert lægri til þess að tryggja frostþolna steypu.

Að undangengnum þessum rannsóknum var ákveðið að nota 30 % slagg með venjulegu íslensku Portlandsementi. Með 40 % slaggi fæst aðeins betri vinnanleiki og loftdreifing, en á móti kemur að byrjunarstyrkurinn verður aðeins hærrí með 30 % slaggi. Þar sem lítil reynsla er af notkun slaggs hér á landi var ákveðið í ljósi þess að hafa frekar minna af því en meira.

### 3.3 Lokafrágangur

Ákveðið var að slá ekki frá steypunni fyrr en eftir um 2 vikur. Þegar búið var að slá frá þurfti að lagfæra nokkra minniháttar steypugalla.

Fylla þurfti í göt eftir mótatengi og eftir prófanir á nokkrum efnum var ákveðið að sprauta Sikaflex M15 kítinu inn í götin. Eftir eitt ár verður ekki annað séð en að efnið sitji vel í götunum.

### **3.4 Stöpull 9. Stöpkápa steipt 13. október 1999**

#### **3.4.1 Undirbúningur**

##### **3.4.1.1 Aðstaða, verktakar**

1. – 2. september . Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.

Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.

Verkstjóri, aðstoðarverkstjóri, smiður, 4 verkamenn, ráðskona

Traktorsgrafa Vg, JCB 4CX, krani Vg, O&K TH-30, rafstöð Vg, 70 kW

IP-169 vökvakrani 75 t.

Búnaður fyrir vatnsbrot og björgunarbátur

Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.

Vatnsbrot, Gunnar Högnason í Reykjavík.

Kafari, Kristinn Einarsson á Akranesi.

Kranavinna við kví, Skóflan ehf. á Akranesi

Flutningur á kví, LG vöruflutningar í Borgarnesi.

Kjarnaborun á brúargólfi, Haukur Sigurjónsson í Borgarnesi.

##### **3.4.1.2 Umferðastjórnun, merkingar**

Sjá stöpul nr. 4 1998

##### **3.4.1.3 Öryggismál**

Sjá stöpul nr. 4 1998

##### **3.4.1.4 Vinnupallar**

8. – 16 september. Uppsetning og frágangur á brautum og vinnupöllum. Vinnupöllum var fleytt undir brúna á froðuplastkubbum og hífdíur upp með talúm.

##### **3.4.1.5 Kví**

20 – 22. september. Flutningur, uppsetning og frágangur kvíar. Verkið gekk vel, en kafari var fenginn til að þétta kvína.

### 3.4.2 Vinna við stöpul

#### 3.4.2.1 Ástand stöpul



Stöpull 9. 1992

#### 3.4.2.2 Hreinsun stöpul

22. september. Háprýstípvottur og sandblástur á stöpli, 600 kg af sandblásturssandi notuð. Hreinsun tók 7 klst.

#### 3.4.2.3 Járnalögn

27. september – 5. október. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998

#### 3.4.2.4 Mót

Mótavinna hófst 4. okt. og var lokið 12 okt. Mótin voru klædd innan með Zemdrain dúk sem minnkar loftbólur á yfirborði. Settir skynjarar í mótin til mælinga á hita- og rakasveiflum í steypunni. *Sjá RB skýrslu 23-3-2001 : Skynjarar í kápusteypu Borgarfjarðarbrúar – dr. Gísli Guðmundsson.* Rannsóknarnúmer V-9910

#### 3.4.2.5 Steypa

Stöpulkápan var steyppt 13. október 1999.

Boruð voru tvö göt í brúargólfið til að koma steypunni niður.

Steypan var hrærð hjá Loftorku, en steinefnið var innflutt frá Noregi og fengið frá Malbikunarstöð Suðurnesja ( sjá efniskaup).

##### 3.4.2.5.1 Steypa: Uppskrift

Blöndunarhlutföll í 0,974 m<sup>3</sup> (ein hræra).

Allar tölur miðast við eina hræru. Efni sett í steypubíl á byggingarstað skal margfalda með fjölda hræra í steypubílnum.



Steinefni í steypu frá Malbikunarstöð Suðurnesja ehf, innflutt frá Arndal í Noregi, stærðir 0-8 mm og 8-16 mm. Sement frá Sementsverksmiðjunni. Slagg Merit 5000 innflutt af Vg. Flotefni ADVA-flow innflutt af Vg. Stáltrefjar Dramix 0,5x30 frá Kemís. Loftblendi frá Steypustöðinni hf í Reykjavík.

Uppskrift er miðuð við eftirfarandi forsendur. Um 70% (1,6 l) af ADWAflow er notað óblandað, en 30% blandað með 4 l af vatni og það sett í á byggingarstað. Loftblendi SS-air er blandað með 1 l af vatni, seinkari Lentan 77 er óblandað. Raki í sandi er 4,5 % og raki í mól er 1,4 %. Raka í fylliefnum þarf að mæla fyrir steypu og leiðrétting á vatni er 1 l fyrir hvert 0,1% sem munar frá ofannefndum tölum og þarf að auka þyngd steinefna í samræmi við það.

Efni og magn er í þeirri röð sem þau eru skömmtuð í steypuna:

Stefnt var að því að framleiða hágæða steypu (High Performance Concrete) með 70 MPa styrk.

#### 3.4.2.5.2 Steypublanda:

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	0,974
Norskur sandur 0 – 8 mm	kg	806
Norsk mól 8 – 16 mm	kg	784
Slagg: Merit 5000	kg	144 (9 x 16 kg)
Sement: Portland	kg	333
Vatn	l	119
Þjálnefni ADWA-flow	l	1,6
Seinkari: Lentan 77	l	0,8
Loftblendi: SS-Air	l	0,14 + 1,0 l vatn
Stáltrefjar: Dramix 05/30 mm	kg	40

#### *Uppskrift samkvæmt minnisblaði.*

Þjálni fyrstu hræru skal metin í hrærivélinni og má auka magn á ADWA flow ef hún er of lítil. Mæla skal loft í fyrstu hræru beint úr hrærivélinni. Loft ætti að mælast 7-8% og ef það er lægra má bæta í ADWAflow og mæla aftur.

Á byggingarstað er bætt í fyrir hverja hræru 0,7 lítrum af ADWAflow, sem þynnt hefur verið með 4 lítrum af vatni og 40 kg af stáltrefjum (fyrir hverja hræru) og hrært í minnst 5 mín. Miðað er við að að sigmál steypu við útlögn sé 170-200 mm.

Á byggingarstað skal mæla loft í hverjum bíl og sigmál metið.

Miða skal við eftirfarandi sýnatöku:

Steypa skal í 3 skipti í sívalninga 150 x 300 mm, 4 stk í hvert skipti. Miðað er við að 3 sívalningar úr hverri sýnatöku fari í 28 daga brot og einn í lofttalinngu og veðrunarþolspróf.

Útbúa skal veggjamót 150-200 mm þykkt og steypa úr afgangum í það. Boraðir verða kjarnar úr veggnum til lofttalinngar og frostþolsprófunar. Einnig verða teknir kjarnar úr steypunni sem tilraunasteypa var steypd í 28. september 1999 til sömu rannsóknna.

#### 3.4.2.6 Steypa: Framkvæmd.

Illa gekk að fá rétt magn af lofti í steypuna, en að öðru leiti gekk steypuvinnan vel. Steypa, hrærð hjá Loftorku ehf í Borgarnesi. Hver hræra í stöð 1. m<sup>3</sup> og í hvern bíl fóru 4 m<sup>3</sup>. Samtals fóru um 12 m<sup>3</sup> af steypu í stöpulinn.

Veður: Rigning og rok þegar leið á daginn, hiti 5-7 °C.

**Bíll nr. 1.**

1. hræra	1,6 l af Adwa flow – of blaut	loftblendi 1,14 l,	loft 5,8%
2. hræra	0,8 l “ “ í lagi	“ 1,14 l,	loft 3,9%
3. hræra	0,8 l “ “ í lagi	“ 1,14 l,	loft 4,1
	loft endurmælt eftir 2. mín viðbótarhrærslu		loft 5,9%
	bætt í 0,2 l af loftblendi		loft 6,9%
4. hræra	0,8 l af Adwa flow – í lagi	loftblendi 1,16 l,	loft 5,7%
	Mælt loft við brú, áður en viðbótar Adwa flow og trefjar voru settar út í. Sigmál 22 cm		loft 7,5%
	0,35 l af Adwa flow bætt, sigmál með trefjum 19 cm.		

**Bíll nr. 2.**

Loft mælt út við brú áður en viðbót af Adwa flow og trefjar voru settar út í.	loft 3,0 (2,5) %
Loftblendi, 0,36 l af óblönduðu SSair bætt í.	loft 6,3%
Mælt við niðurlögn, sig 23.	loft 6,0%

**Bíll nr. 3.**

Loft mælt út við brú áður en viðbót af Adwa flow og trefjar voru settar út í.	loft 5,0%
0,18 l af óblönduðu loftblendi, SS Air bætt í og u.þ.b. 0,2 l af Adwa flow, sigmál 23, mælt við niðurlögn	loft 8,8%

**Brotþol sívalninga [MPa]**

	7 daga	28 daga	90 daga
Tilraunasteypa í Borgarn. – 28-09-99 – Harðnar í rakaklefa – stórir sívalningar (meðaltal tveggja mælinga)	40,3	61,5	
Tilraunasteypa í Borgarn. – 28-09-99 – Er úti allan tímann – litli sívalningar (meðaltal þriggja mælinga)			45,4* (46,8)
Tilraunasteypa í Borgarn. – 28-09-99 – Geymt í rakaklefa í tvær vikur fyrir brot–litli sívalningar (meðaltal þriggja mælinga)			51,0* (52,6)
Kápusteypa - Bíll 1		39,4	
Kápusteypa - Bíll 2		42,4	
Kápusteypa - Bíll 3		50,1	
Kápusteypa - Bíll 3 borað 14-12-99, geymt úti, brotið 10-01-00			40,9*
Kápusteypa - Bíll 3 borað 14-12-99, geymt inni, brotið 10-01-00			57,0*

\* 3% dregið frá mældu gildi vegna þess að hlutfallið lengd/breidd = 1,5. Óleiðrétt gildi í sviga.

Brotstyrkur (28 daga) reyndist misjafn og er það langt fyrir neðan brotstyrk tilraunasteypu og þess sem reiknað var með.

Eftir eitt ár voru kjarnar boraðir úr steypunni og mældist styrkur þeirra 62 MPa.

**Upplýsingar um loft í steypu**

	loft, %	fjarlægðarstuðull [mm]	Yfirborð loftbóla [mm <sup>-1</sup> ]
Tilraunasteypa í Borgarnesi 28-9-99	3,5	0,26	
Kápusteypa - Bíll 1	10,8	0,13	25
Kápusteypa - Bíll 2	7,1	0,16	27
Kápusteypa - Bíll 3	2,9	0,42	16

Loft og loftdreifing reyndist einnig misjöfn

*Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]- meðaltal þriggja mælinga.*

Sýni	7 umferðir	14 umferðir	28 umferðir	42 umferðir	56 umferðir
Tilraunasteypa í Borgarnesi 28-9-99	0,08	0,15	0,27	0,36	0,41
Kápusteypa - Bíll 1	0,01	0,01	0,02	0,05	0,10
Kápusteypa - Bíll 2	0,01	0,02	0,02	0,02	0,04
Kápusteypa - Bíll 3	0,01	0,03	0,07	0,09	0,12

Niðurstöður úr mælingum á leiðni klórs inn í sýnin. CTH-próf, leiðnistuðull [ $m^2/s$ ]

Sjá: Kápusteypa á Borgarfjarðarbrú 1999 – Stöpull 9- Minnisblað -Gísli Guðmundsson 30-10-1999

Sýni	Tími [klst]	Dýpi [mm]	Leiðnistuðull (Dnssm) [ $m^2/s$ ]	Bundið klór, Cl % af þurrefni
Kápusteypa 1999- Bíll 1	57	10,5 (2,6)	$1,93 * 10^{-12}$	0,57
Kápusteypa 1999 - Bíll 2	57	10,1 (2)	$1,85 * 10^{-12}$	
Kápusteypa 1999 - Bíll 3	72	11,6 (4,3)	$1,71 * 10^{-12}$	
Sýni 3-9, V/b=0,33 steipt 24/9 -8/10 - 1999 (rakaklefi)	74	5,72 (0.9)	$7,47 * 10^{-13}$	0,64
Sýni 3-9, V/b=0,33 steipt 24/9 -8/10 - 1999 (rakaklefi)	118	10,8 (3)	$9,70 * 10^{-13}$	
Sýni 3-9 B, V/b=0,33 Seljadalur steipt 24/9 -8/10 -1997 (rakaklefi)	96	18 (5)	$2,05 * 10^{-12}$	0,44
Sýni 3-9 B, V/b=0,33 Seljadalur steipt 24/9 -8/10 -1997 (rakaklefi)	112,5	14,18 (5)	$1,35 * 10^{-12}$	
Sýni 3-9 D, V/b=0,40 steipt 24/9 -8/10 -1997 (rakaklefi)	96	11,85 (4)	$1,30 * 10^{-12}$	0,56
Sýni 3-14, úr V-409 V/b=0,33 steipt 24/9 -8/10 -1999 (rakaklefi) SR-Top sement	118	8,8 (1)16,1	$7,74 * 10^{-13}$	
Prófsteypa með v/s = 0,5	30		$5,86 * 10^{-12}$	

Í heild má segja að leiðnistuðullinn sé mjög lágur í sýnunum, um 1,7 til  $1,9 * 10^{-12} m^2/s$  sem er mjög lágt og hann er lægstur í sýninu með minnst loft (bíll 3) og hæstur í sýninu með mest loft (bíll 1). Þótt leiðnistuðullinn mælist töluvert lægri í sýnunum úr 3-seríu, er það ekki alveg sambærilegt, því þau sýni voru geymd í rakaklefa í um 2 ár. Leiðnistuðullinn lækkar nokkuð með aldri. Samanburður við sýnið með v/s-hlutfall = 0,5 sýnir að leiðnistuðullinn í kápusteypunni er töluvert lægri.

Sýnin úr 3-seríu eru nokkuð athyglisverð, sýni 3-9 (venjulegt Portlandsement og Björgunarefni) og sýni 3-14 (belgískt slaggsement) fá mjög lágan leiðnistuðul, en sýni 3-9 D (venjulegt Portlandsement og Seljadalsefni) mælist með nokkuð hærri leiðnistuðul. Sýni 3-9 D (venjulegt Portlandsement og Björgunarefni með v/b-hlutfall 0,41) er síðan með hærri leiðnistuðul en sýni 3-9.

### 3.4.2.7 Lokafrágangur

Mótin voru rifin af 24.-25. okt. Kíttað í tengigöt 1.-2. nóv. Þar sem brúaflokkurinn var upptekinn í Grímsá var kvíin ekki tekin upp fyrr en 24.-26. nóv. og mátti ekki seinna vera þar sem talsvert ísrek var komið í Borgarfjörðin.

Nokkrar tafir vegna þess að flóðhæð og alda var það mikil að flæddi inn í kvína.

## 3.5 Staða eftir kápusteypu á stöpla 4 og 9.

Þegar rannsóknaniðurstöður frá prófunum úr stöpli 9 lágu fyrir var ljóst að lengra varð ekki komist með steypublöndu sem byggði á upphaflegum forsendum.

Mjög erfitt var að tryggja einsleitni í framleiðslu, breytingar í styrk steypunnar voru miklar, loftkerfi var ekki viðunandi þó að frost/þíðuprófanir stæðust kröfur.

Á fundi 7. febrúar 2000 var ákveðið að slá botn í verkefnið: *Steypa í ágengu umhverfi* og sækja um styrk til áframhaldandi rannsókna en nú á grundvelli eftirfarandi minnisblaðs dr. Ólafs Wallevik frá 23. janúar 2000.

## **Veðrunarþolin steinsteypa án loftblöndunar.**

### **Aðdragandi**

Undanfarandi þrjú ár hefur verið unnið að hönnun og prófunum á hágæðasteypu til viðgerðar á Brú við Borgarnes. Helsta vandamálið hefur verið að finna uppskrift sem tryggir stöðugleika í eiginleikum steypunnar sem notuð er til viðgerðanna, sér í lagi stöðugt (reproducible) loftkerfi og þrýstipól. Enda þótt viðunandi árangur hafi náðst í tilraunablöndum á rannsóknastofu (LabCrete) þá er stöðugleikinn ekki viðunandi á byggingarstað (RealCrete) nema undir mjög ströngu og nákvæmu eftirliti. Núverandi uppskrift er viðkvæm fyrir breytingum í hráefnum, blöndunartækjum og aðstæðum við niðurlögn steypunnar og þess vegna áhættusöm í notkun. - Sá þáttur sem hefur lang mest áhrif á breytileika í framleiðslunni er loftmagn og þegar tilskildu loftmagni er náð verður loftkerfið (loftdreifingin) stundum óviðunandi. Þjálmitap hefur einnig verið vandmál.

Í áðurnefndu verkefni var gert að skilyrði að steypan væri loftblendin til að tryggja frostþól. Jafnframt var lögð áhersla á sterka steypu og þetta til að gera hana frosthelda og verja gegn ágengu umhverfi. Hægt er að gera frosthelda steypu án loftblöndunar en þá þarf v/s talan að vera um eða undir 0,3. Vandamálið sem fylgdi þessum forsendum fyrir þrem árum var að það var illgerlegt að gera hástyrkleikasteypu með svo lágrí v/s tölu sem jafnframt er vinnanleg og hægt að steypa í mót með góðu móti. Orsökina er sú að plastískur seigjustuðull steypunnar verður mjög hár, annars vegar vegna þess að það er svo lítið vatn í henni og hins vegar vegna þess að gæðaberg (lítt eða ekki ummyndað berg með lágrí holrýmd) það sem vól var á, var of kantað og flísótt. Hár plastískur seigjustuðull lýsir sér þannig að steypan verður eins og tyggigúmmí. Þess vegna var valið að hafa steypuna loftblendna og v/s töluna < 0,33.

### **Breyttar aðstæður og nýjar áherslur.**

Nú eru aðstæður að mörgu leyti breyttar og þar hafa opnast nýir möguleikar til að hanna steypublöndur sem henta til viðgerða á brúm sem liggja undir skemmdum í ágengu umhverfi, meðal annars þessar.

- Við teljum mögulegt að gera steypu án loftblöndunar samt sem áður er frostþolin og vinnanleg.
- Ný íblöndunarefni sem gætu komið að gagni eru komin á markað.
- Niðurstöður úr fyrra verkefninu útilokuðu notkun íblöndunarefna vegna vangetu til að skapa viðunandi loftkerfi.
- Í lokaáfangi verkefnisins náðist lausn með fylliefnum er minnkaði flötnisþörf um helming.
- Við höfum möguleika á að breyta kornadreifingu á annan hátt en áður var mögulegt.
- Nú eru í boði fylliefni með heppilegri kornalögun en áður (með ávölum kornum sem minnka seigju og vatnsþörf verulega).

### **Tillaga**

Lagt er til að hafist verði handa um hliðarverkefni þar sem markmiðið verður að þróa steypublöndu til viðgerða á brúm í ágengu umhverfi. Byggt verður á þeirri þekkingu sem áunnist hefur í fyrra verkefni.

Stefnt verður að því að hanna steypublöndu sem sameinar eftirfarandi eiginleika.

- Sjálfútleggjandi steinsteypa, Súlpac (SCC. Self Compacting Concrete). Punnljótandi, þarf enga þökkun með vibrator.
- Hágæðasteinsteypa (HPC: High Performance Concrete). Þolir ágeng efni svo sem sjó.
- Hástyrkleikasteypa (HSC: hefur yfir 70 MPa þrýstipól og er mjög þétt).
- Loftlaus steypa.
- Vinnanleg steinsteypa.
- Einsleit steypa í framleiðslu (ekki of viðkvæm fyrir utanaðkomandi breytileika). Þessi eiginleiki er mikilvægur og verður látinn ganga fyrir kröfu um sjálfútleggjandi steypu ef nauðsyn krefur.

Við hönnun steypublöndunnar verður megináhersla lögð á að uppfylla kröfur um:

- Vinnanleika og þjálmitap.
- Veðrunarþól.
- Þéttleika og einsleitni m.t.t. framleiðslu.

Sérstök áhersla verður lögð á einsleitni og stöðugleika í framleiðslueiginleikum steypunnar, þannig að blöndunarforskriftin verði nothæf við mismunandi aðstæður.

Keldnaholti, 2000-01-23  
Dr. Ólafur Walleik

## 4 Rannsóknir, Prófsteypur og steypa kápu á stöpla 10/2002, 1/2003, 3/2004, 6/2004, 7/2005, 11/2006, 12/2006, 8/2007, 5/2009, og 2 /2010.

### 4.1 Stöpull 10. Stöpkápa steipt 24. september 2002

#### 4.1.1 Undirbúningur

##### 4.1.1.1 Aðstaða, verktakar

25. – 26. júlí. Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.

Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnes.

Verkstjóri, aðstoðarverkstjóri, 5 menn, ráðskona.

Traktorsgrafa Vg, JCB 4CX, krani Vg, O&K TH-30, rafstöð Vg, 70 kW  
IP-169 vökvakrani 75 t.

Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.

Vatnsbrot-hreinsun, Gunnar Högnason í Reykjavík.

Kranavinna við kví, Skóflan ehf. á Akranesi

Flutningur á kví, Loftorka ehf.

##### 4.1.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Sjá stöpul 4 1998.

##### 4.1.1.3 Öryggismál

Sjá stöpul 4 1998.

##### 4.1.1.4 Vinnupallar



13. – 19 ágúst. Uppsetning og frágangur á brautum og vinnupöllum. Pöllum var fleytt undir brúna á froðuplastkubbum og hífðir upp með talíum.

#### 4.1.1.5 Kví

20 – 27. ágúst. Festingum fyrir kvína komið fyrir og hún sett niður. Niðursetning gekk vel og reyndist kvíin þétt þegar búið var að bolta hana saman.

#### 4.1.2 Vinna við stöpul

##### 4.1.2.1 Ástand stöpuls



Stöpull 10.



##### 4.1.2.2 Hreinsun stöpuls

28. ágúst og 2. sept. Stöpullinn hreinsaður með vatnsbroti og sandblæstri.

##### 4.1.2.3 Járnalögn

2. – 9. september. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998.

##### 4.1.2.4 Mót

Mótavinna hófst 10. sept. og var lokið 18. sept. Mótin voru klædd innan með Zemdrain dúk sem minnkar loftbólur á yfirborði. Á fjórum stöðum voru mótin klædd frá efri brún og niður í botn með glærum plastrenningi til þess að hægt væri að fylgjast með steypunni renna í mótin.

2.-4. okt. Mótin rifin af og kíttað í tengigöt.

##### 4.1.2.5 Steypa

Stöpulkápan var steypd 24. september 2002.

Eftir viðgerð á tveimur stöplum, stöpli 2 1998 og stöpli 9 1999 var ljóst að þörf var á frekari rannsóknum til að hægt væri að framleiða veðrunarþolna sjálfútleggjandi hástyrkleikasteypu án loftíblöndunar..

Hafist var handa með tilraunaverkefni undir nafninu: **High Performance Concrete for Bridges.**

Sjá skýrslu: *High Performance Concrete Bridge Repair. January 2004: V-409. Indriði Níelsson, Gísli Guðmundsson, Ólafur Wallevik*

Í ofanefndri skýrslu, sem skrifuð er á ensku, er verkefninu lýst ásamt steypu og prófunum á tveimur stöplum: Stöpli í Brákarsundsbrú steypum 12. september 2002 og Stöpli nr. 10 í Borgarfjarðarbrú, steypum 24. september 2002.

Hér verða aðeins raktar niðurstöður steypu í Borgarfjarðarbrú.

Steypa var hrærð í steypubílum frá Loftorku. Þar sem steypa var sjálfútleggjandi var nóg að setja hana niður við stöpluspíssana hvoru megin og rann hún mjög vel í mótin.

Steinefnið og sementið í steypuna var flutt inn sekkjað frá Noregi. Fínni hluti steinefnisins, 0-4 mm og sementið (norskt anlegg sement) var sekkjað saman, en grófi hlutinn frá 4-16 mm var sér. Blöndunarhlutföllin voru 3 hlutar af fínna efninu á móti 2 af grófa. Steypa var sjálfútleggjandi með þjálnefni af tegundinni Glenium. Í steypuna var blandað fíbertrefjum af tegundinni Strux 90/40 frá fyrirtækinu Grace Construction.

**Steypa: Uppskrift steypublöndu**

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	1
Norskur sandur 0 – 8 mm	kg	1054
Norsk mól 8 – 16 mm	kg	676
Sement: Norskt anleggsement	kg	497
Kísilryk	kg	40
Vatn	l	146
Þjálnefni Glenium	l	5,29
Fíbertrefjar: Grace – Strux 90/40	l	Vantar upplýsingar um magn.

Vísbendingar voru um að frostþol steypunnar gæti verið lélegt þar sem smásjárskoðun steypunnar sýndi kekki af kísilryki sem gætu valdið lélegu frostþoli. Klórleiðnistuðull steypunnar reyndist einnig lágur og klórinnihald steypunnar var hátt, miklu hærra en í venjulegri steypu.

Ó. W. : „Ástæðan fyrir því að kísilrykið kögglaðist var sú að efnið var geymt í big bags og því miður var það geymt úti við í einhvern tíma. Köggjunina má því rekja til þeirrar ástæðu (ef þetta er steypa sem gerð var með big bags). Sökum þessa var talið óráðlegt að nota big bags í seinni stöpla.“

Ekki þurfti að bora göt á brúargólfið til að koma steypunni niður eins og í fyrri steypum. Steypa virtist gallalaus nema smá hreiður var við spíssinn að norðan.

**Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar**

	28 daga	90 daga
SCC I	94,3	114,6
SCC II	107	118,2

**Loft og loftdreifing mæld í SCC II**

Loft [%]	Fjarlægðarstuðull [mm]	Yfirborð loftbóla [mm <sup>-1</sup> ]
1,7	0,76	11
1,0	0,52	20
2,2	0,7	11
<b>Meðaltal</b>		
<b>1,6</b>	<b>0,6</b>	<b>14</b>

Ó.W. „Fyrstu 2 árin (1998 og 1999) var steypa sem fór í stöplana loftblendin.“

Eftir það var gert hlé á steypuvinnunni til að hanna sterkari og betri steypu fyrir stöplana og var nýja conceptið fyrst steypa utan á stöpul árið 2002.

Þessi nýja steypa var hönnuð sem loftlaus og á ekki að hafa hefðbundið loftkerfi en er samt frostheld. Enda var styrkur hennar umtalsvert hærri heldur en steypan sem hafði verið notuð í upphafi“

Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]

Sýni	28 umferðir	56 umferðir	112 umferðir	168 umferðir
1	0,09	0,37	2,01	
2	0,05	0,16	0,53	1,03

**Sjá: Development of HS-Scc for pillar 3 – Optimum materials. Indriði Nielsson and Dr. Ólafur Wallevik** Iceland building Research Institute. Ódagsett Draft Version.

Ath. Pillar 3 vísar til 3. stöpuls sem var steypur en er í reynd stöpull 10 sem steypur var 2002

#### 4.1.2.6 Lokafrágangur

Kvíin var tekin upp 16-17 október en vinnupallarnir ekki fyrr en 5. nóvember, þar sem hitaveitan fékk að nota þá vegna viðgerðar á lögnum í brúnni.

## 4.2 Stöpull 1. Stöpulkápa steyp 21. ágúst 2003

### 4.2.1 Undirbúningur

#### 4.2.1.1 Aðstaða, verktakar

Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.  
Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.  
Fæði keypt í Hyrninni.  
Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.  
Vatnsbrot: Gunnar Högnason í Reykjavík.  
Kranavinna við kví, niðursetning: Loftorka og Skóflan.  
Flutningur á vinnupöllum og kví, Loftorka ehf.

#### 4.2.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Sjá stöpul nr. 4 1998.

#### 4.2.1.3 Öryggismál

Sjá stöpul nr. 4 1998.

#### 4.2.1.4 Vinnupallar

20. – 21. maí. Flutningur og frágangur vinnupalla.

#### 4.2.1.5 Kví

Grafa frá Arnarfelli hreinsaði grjót frá stöpli 1 og stöpli 3.



4. - 6. júní. Niðursetning og frágangur á kví. Samsetning og þétting á kví í lagi.

#### 4.2.2 Vinna við stöpul

##### 4.2.2.1 2.1 Ástand stöpul

Gert hafði verið við stöpul með epoxy-efnum í maí 1979.



Stöpull 1 með epoxy-viðgerð frá 1979

##### 4.2.2.2 Hreinsun stöpul

10. – 11. júní. Háþrýstihreinsun á stöpli, fleyga þurfti epoxýhúð af stöpli.

##### 4.2.2.3 Járnalögn

19. júní – 3. Júlí. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998.

##### 4.2.2.4 Mót

Mótavinna hófst 11. ágúst og var lokið 19. ágúst.

Mótin voru rifin af 4. sept. og kíttað í tengigöt. Engin mótadúkur notaður að þessu sinni.

##### 4.2.2.5 Steypa

Stöpulkápan var steypd 21. ágúst 2003.

**Sjá: *Development of HS-Scc for pillar 4 – Optimum materials, Indriði Nielsson and Dr. Ólafur Wallevik.*** Iceland building Research Institute. Ódagsett Draft Version.

Ath. Pillar 4 vísar til 4. stöpul sem var steypdur en er í reynd stöpull 1 sem steypdur var 2003

Samkv. ofangreindri skýrslu voru kröfurnar til steypunnar:

- Steypa á að vera frostþolin en án loftþlöndunar.
- Steypa á allra helst að vera sjálfútleggjandi.
- Steypa á að hafa lága rakaleiðni (low permeability) og þar af leiðandi endingargóð (durable).
- Steypa á að innihalda trefjar.
- Framleiða skal steypuna úr íslenskum steinefnum.
- Markmiðið var að framleiða sjálfútleggjandi steypu.

Eftir athuganir og prófanir á steinefnum frá Skjálfandafljóti, Jökulsá á Dal og Harðakambi í Ólafsvík var valið að nota efnið frá Harðakambi.

Steinefnið var harpað og sekkjað í tvær stærðir, u.þ.b. 0-10 og 11-16 mm. Flokkunin var ekki nógu góð og þarf að lagfæra vinnsluna.

Tilraunasteypur á RB gáfu brotþol: 2 daga 57 MPa, 28 daga 100 MPa og 90 daga 117 MPa. ásamt góðri útkomu úr frost/þíðuprófi.

### Steypublanda:

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	1,0
Perla frá Harðakambi (max 16 mm)	kg	350
Finmöl frá Harðakambi	kg	1465 (1410)
Sement: Aalborg Portland	kg	500 (498)
Kísilryk frá Járnblendiverksmiðjunni	kg	35
Vatn	kg	90 (143)
Flotefni: Glenium 51	l	6
Stálfrefjar: Dramix 05/30 mm	kg	12
Fibertrefjar: Strux (frá Grace) 90x40 og 85x50	kg	1,4



Steypustöð Loftorku í Borgarnesi.



Pvingunarblandari í steypustöð

Steypan var hrærð hjá steypustöð Loftorku í Borgarnesi. Tromlan tekur 1m<sup>3</sup> en ákveðið að blanda 0,5 m<sup>3</sup> í einu. (Ath. Samkv. skýrslu HJ). Blandað var í 2 bíla með 8 og 4 m<sup>3</sup>.

Blandaður var 1 m<sup>3</sup> í einu. (Ath. Samkv. *Development of HS-ScC for pillar 4 – Optimum materials, Indriði Nielsson and Dr. Ólafur Wallevik. Bls, 14*)

Vegna óvissu með raka í steinefninu var haldið eftir 10 l af vatni í hverri blöndun til síðari íblöndunar ef þörf væri á.

Eftir einnar mínútu blöndun var 33 kílóum af kísilryki bætt í blandarann.



Steinefni frá Harðakambi

4 l af flotefni, 12 kg af stáltrefjum (0,15 rúmmáls %) og 1,4 kg af fibertrefjum (0,15 rúmmáls %) var einnig bætt í strax eða í gegnum litla lúgu á tromlunni.



Blöndun í steypustöð



Trefjum bætt í blandarann

Hræran skoðuð og flæðið mælt (Flow slump)



Flotmæling steypu: Mæligildi (flow spread)  $S = \frac{(d_{max} + d_{min})}{2}$

Flotmæling strax efiir blöndun gaf 600 mm flæði. Gleníum bætt í þangað til flæðið mældist um 700 mm.

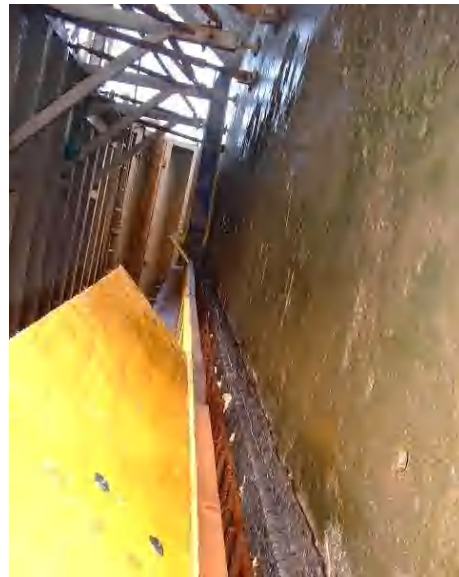


Glenium bætt í steypu

Steypan látin renna í plastslöngu niður í mótin. Renna úr timbri höfð undir slöngunni neðst. Steypan tekin niður rétt innan við báða spíssa.



Mót á stöpli.



Steypuvinnan gekk að mestu vel. Steypan flæddi ekki eins vel og 2002. Vart var við aðskilnað úr minni bílnum. Yfirborð steypunnar var áberandi verra heldur en á fyrri stöplum og talsvert af loftbólum í yfirborði. Að þessu sinni voru mótin ekki klædd með dúk og láku lítils háttar.



Leki úr mótum.



Mótin að verða full



Nokkrar minniháttar sprungur voru sjáanlegar, líklega vegna rýrnunar (autogenous shrinkage).

***Úr skýrslu: Development of HS-ScC for pillar 4 – Optimum materials, Indriði Nielsson and Dr. Ólafur Wallevik.***

**Discussion.** (Til athugunar )

**Steinefni:**

Efni frá Harðakambi kemur vel út í HS-SCC (High strength - Self Compacting Concrete).

Sigta þarf grófa hlutann >19 mm frá.

Bæta þarf vinnsluna á steinefninu. Flokkun og kornakúrfu þurfa að vera nákvæmari þannig að halda megi efni < 4 mm stöðugu.

**Sement:**

Notkun á dönsku hraðsementi, Danish rapid Portland cement, (DkRPC) krefst viðbótarblöndunar á kísilyki.

Forþrófanir benda til þess að íslenskt kraftsement (IKC) gefi einnig góðar niðurstöður.

IKC þarfnast meira vatns en DkRPC

**Flotefni:**

Glenium 51 virkar mjög vel með IKC og DkRPC og er mjög stöðugt.

**Trefjar:**

Nota má hefðbundnar stál- og plasttrefjar í HS-SCC.

Auka má íblöndun af trefjum.

**Steypublanda:**

Blandan er mjög stöðug (stable) þrátt fyrir að seigjustuðullinn (plastic viscosity) sé mjög lágur.

Blandari Loftorku hefur góða eiginleika.

Kísilyki, trefjum og flotefni var blandað sérstaklega.

Skoðun á hverri hræru gaf til kynna einsleita (stable) blöndun og vigtun.

Niðurlögn:

Mótin þurfa að vera mjög þétt.

Hluti sementsefjunnar lak út um plötuskil í mótum. Loftbólur mynduðust í yfirborði steypu.

Athuga þarf hvort nota á mótadúk. Best væri að losna við dúkinn en koma þarf í veg fyrir að mótin leki og loftbólur myndist á yfirborðinu. Passa þarf að enginn biðtími verði milli steypubíla til að forðast steypuskil.

Passa þarf að enginn biðtími verði milli steypubíla til að forðast steypuskil.

Munur á steypubílum er nokkur, a.m.k. varð vart við smá aðskilnað úr öðrum bílnum og má sjá það á steypunni. Aðskilnaðurinn átti sér stað þar sem steypan kom úr barkanum niður í mótin.

*Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar*

	28 daga	90 daga
	111	132

*Loft og loftdreifing: Steypan er hönnuð sem loftlaus. Loft ekki mælt. Sjá athugasemd við stöpul 10, 2002.*

*Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]*

Sýni	28 umferðir	56 umferðir	112 umferðir
1	0,007	0,018	0,074
2	0,002	0,002	0,03

#### 4.2.2.6 Lokafrágangur

Kvíin var tekin upp 27.-28. okt. og vinnupallarnir 29. október. Frágangur á kví og vinnupöllum í lóð 30. október.

### 4.3 Stöpull 3. Stöpkápa steppt 28. júlí 2004

#### 4.3.1 Undirbúningur

##### 4.3.1.1 Aðstaða, verktakar

Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.

Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.

Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.

Vatnsbrot, Gunnar Högnason í Reykjavík.

Kranavinna við kví, Skóflan ehf. á Akranesi.

Flutningur á kví, Loftorka ehf.

##### 4.3.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Sjá stöpul nr. 4 1998.

##### 4.3.1.3 Öryggismál

Sjá stöpul nr. 4 1998.

#### 4.3.1.4 Vinnupallar

8. – 10. júní. Uppsetning vinnupalla: Vörubíll með krana frá Völundi.

#### 4.3.1.5 Kví

Grafa frá Arnarfelli hreinsaði grjót frá stöpli 3 2003

21. - 24. júní. Niðursetning og frágangur á kví. Kví skrúfuð saman. Þétting tókst vel.

#### 4.3.2 Vinna við stöpul

##### 4.3.2.1 Ástand stöpuls



Stöpull 3

##### 4.3.2.2 2.2 Hreinsun stöpuls

28. júní. Sand- og vatns-háþrýstihreinsun á stöpli.

##### 4.3.2.3 Járnalögn

29. júní – 12. júlí. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998.

##### 4.3.2.4 Mót

12. – 20. júlí. Hefðbundin mót með dúkklaðningu og plastglugga báðum megin.

Mótin voru fjarlægð 10. ágúst.

##### 4.3.2.5 Steypa

Stöpulkápan var steyppt 28. júlí 2004.

Steypa var hrærð hjá steypustöð Loftorku í Borgarnesi.

Steypa er hönnuð og framleidd sérstaklega fyrir verkið.

Markmiðið var að framleiða sjálfútleggjandi steypu.

### Steypublanda:

<b>Magn í blöndu</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1,0</b>
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	600
Finmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1000
Rórasandur frá Loftorku	kg	200
Sement: Aalborg mísilyki	kg	500
Vatn	kg	Vantar upplýsingar
Flotefni: Glenium	l	15-16
Stáltreffjar: Dramix 05/30 mm (frá Ístak)	kg	15
Fibertreffjar: Strux (frá Grace) 90x40	kg	2

Steypan var aðeins aðskilin – gróft efni kom fyrst úr bílunum – bílar misjafnir.

Sementssíló bilaði og tafði síðasta bíl um 15-20 mín – mátti ekki meira vera til að forðast skil.

Steypan rann þokkalega en var ekki fullkominn.

*Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar: Upplýsingar vantar*

	<b>28 daga</b>	<b>90 daga</b>
	?	?

*Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]: Upplýsingar vantar*

<b>Sýni</b>	<b>28 umferðir</b>	<b>56 umferðir</b>	<b>112 umferðir</b>
	?	?	?

#### 4.3.2.6 Lokafrágangur

Kvíin var tekin upp 27.-28. október og vinnupallarnir 29. október. Frágangur á kví og vinnuþöllum í lóð 30. október.

## 4.4 Stöpull 6. Stöpkápa steipt 14. október 2004

### 4.4.1 Undirbúningur

#### 4.4.1.1 Aðstaða, verktakar

Framhald aðstöðu vegna viðgerðar á stöpli 3.

#### 4.4.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Framhald aðstöðu vegna viðgerðar á stöpli 3.

#### 4.4.1.3 Vinnupallar

16. – 17. ágúst. Vinnupallar og brautir á kví.

#### 4.4.1.4 Kví

15. - 16. september. Niðursetning og frágangur á kví.



## 4.4.2 Vinna við stöpul

### 4.4.2.1 Ástand stöþuls

Úr skýrslu VSÓ 1994. Ástandsmat brúarstöpla:

Seleyrarmegin lítur stöpull ágætlega út. Spíssar eru eyddir bæði að ofan og neðan 3-4 cm, en hliðarnar 2-3 cm.

Borgarnesmeigin eru spíssar meira eyddir eða 4-5 cm. Hann er pollóttur á stöpulhliðinni og eyddur 3-4 cm. Að neðan sést í járn á stöpulhlið rétt við spíss.

Sú breyting hefur orðið að nú sést í járn á einum stað. Ástand stöþulsins svipað og stöþuls 5 þótt spíssar séu mun betri. Alvarleg er hin mikla eyðing stöpulhliða Borgarnesmeigin. Eyðing er orðin það mikil að steypubversniðið hefur rýrnað um 10%.

### 4.4.2.2 Hreinsun stöþuls

22. september. Háþrýstihreinsun á stöpli

### 4.4.2.3 Járnalögn

27. september - 5. október. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998.

### 4.4.2.4 Mót

Hefðbundin mót með dúkklaðningu og plastglugga báðum megin.

Mótavinna hófst 6. október og var lokið 12. október.

Mótin voru rifin af 28 - 29 október og kíttað í tengigöt.

### 4.4.2.5 Steypa

Stöþulkápan var steyp 14. október 2004. Steypan var hrærð hjá steypustöð Loftorku í Borgarnesi og er hún hönnuð og framleidd sérstaklega fyrir verkið. Markmiðið var að framleiða sjálfútleggjandi steypu.

#### Steypublanda:

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	1,0
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	215
Fínmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1600
Rörsandur frá Loftorku	kg	200
Sement: Aalborg mísilyki	kg	500
Vatn	kg	Vantar upplýsingar
Flotefni: Glenium	l	15
Stáltrefjar: Dramix 05/30 mm (frá Ístak)	kg	10
Fibertrefjar: Strux (frá Grace) 90x40	kg	2,3

Ath. Steinefnið kláraðist á síðasta bíl og þurfti að nota u.þ.b. 1000 kg af rörsandi til að ná blöndunni

Steypan leit vel út, hafði gott flæði. og rann létt í mótin. Síðasti bíll var þó ívið blautari, líklega vegna meiri sands.

Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar:

	28 daga	90 daga
	105	121

Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]

Sýni	28 umferðir	56 umferðir
	0,00	0,01

#### 4.4.2.6 *Lokafrágangur*

Kvíin var tekin upp 1-2 nóvember og vinnupallarnir 3. nóvember. Frágangur á vinnupöllum, kví og öðrum búnaði í lóð Vg. 4. nóvember.

### 4.5 Stöpull 7. Stöpkápa steipt 19. júlí 2005

#### 4.5.1 Undirbúningur

##### 4.5.1.1 *Aðstaða, verktakar*

Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.  
Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.  
Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.  
Vatnsbrot, Gunnar Högnason í Reykjavík.

##### 4.5.1.2 *Umferðastjórnun, merkingar*

Sjá stöpul nr. 4 1998.

##### 4.5.1.3 *Öryggismál*

Sjá stöpul nr. 4 1998.

##### 4.5.1.4 *Vinnupallar*

7. – 8. júní. Uppsetning vinnupalla

##### 4.5.1.5 *Kví*

10. – 24. júní. Niðursetning og frágangur á kví. Kví skrúfuð saman.

#### 4.5.2 Vinna við stöpul

##### 4.5.2.1 *Ástand stöpuls*

Úr skýrslu VSÓ 1994. Ástandsmat brúarstöpla:

Seleyrarmegin er stöpull jafneyddur 1-2 cm og spíssar 2-3 cm.

Borgarnesmeigin er stöpullinn einnig eyddur 1-2 cm en á um 1 m<sup>2</sup> svæði á stöpulhlíð við spíss að neðan er eyðing 2-3 cm. Við spíss að neðan er eyðing 2-3 cm.

Stöpullinn lítur mun betur út en stöpull 5 og 6. Þessi stöpull hefur verið flokkaður sem góður en nú eru skemmdir að fara af stað.

##### 4.5.2.2 *Hreinsun stöpuls*

##### 4.5.2.3 *Járnalögn*

27. júní – 7. júlí. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998.

#### 4.5.2.4 Mót

8. – 18. júlí. Hefðbundin mót með dúkklaðningu og plastglugga báðum megin. ágúst.  
Mótaríf og frágangur 8 – 9 ágúst.

#### 4.5.2.5 Steypa

Stöpkápan var steypd 19. júlí 2005

Sjá skýrslu IBRI: *Bridge Pillar Repair – Borgarnes 2005. Report to Vegagerðin March 2006. Dipl. Ing. Guido Krage, Dr. Ólafur Wallevik*

Umtalsverðar tilraunir með sjálfútleggjandi steypu höfðu verið gerðar á IBRI (Icelandic Building Research Institute) veturinn 2004 – 2005. Ákveðið var að styðjast við blöndu tilsvarendi B019 með lítilsháttar minnkun á sements og vatnsinnihaldi.

#### Steypublanda:

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	1,0
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	517 (522)
Fínmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1220 (1233)
Sement: Aalborg Rapid Portland	kg	528 (550*)
Kísilryk	kg	22
Vatn	kg	144 (142)
Flotefni: (RN 30 Ath. magn aðeins breytilegt)	l	ca 14
Loftblendi: (Mapei Air)**	l	0,75
Stáltreffjar: Dramix 05/30 mm	kg	10,99
Plastreffjar: Strux (frá Grace) 85x50	kg	1,84

Ath. Tölur og texti í sviga er samkvæmt skjölum GS.

\* Samkv. heimildum GS er notað sement með 4% kísilryki

\*\* Ó.W. „Loftblendi var ekki notað til að skapa lofikerfi og gott frostþol heldur til að brjóta niður stórar loftbólur og til að minnka seigju (e. plastic viscosity)“

Steypa blönduð í steypustöð í Loftorku og er hver hræra 0,9 m<sup>3</sup>. Blandaðar voru 14 hræru, alls 12,6 m<sup>3</sup> í stöpulinn. Blandað í tvo bíla, 6,3 m<sup>3</sup> í hvorn. Byrjað að undirbúa steypu um kl. 7. Byrjað að hræra um kl. 8:45 (45 mín bið eftir ÓW). Fyrsti bíll klár um 10:15 og búið úr honum kl. 11:30. Seinni bíll kom um kl. 11:50 og búið að tæma úr honum um kl. 12:45. Frágangi lokið um kl. 14. Aðeins minna magn fór í kápuna en reiknað var með.

Vegna óvissu með rakainnihald steinefnanna var u.þ.b. 10 l af vatni haldið eftir í hverri hræru og bætt við að hluta eða alveg eftir skoðun á hrærunni. Að öðru leiti var vatninu, sementi, kísilryki og steinefnum bætt með sjálfkrafa skömmun í blandarann.

Aðeins trefjum, flotefni og loftblendi var bætt í sérstaklega.

Flotmæling (slump flow) steypublöndunar strax eftir blöndun var 710 mm sem var sambærileg við blöndu B019 í rannsóknarstofu (715 mm). Þegar steypubíllinn var kominn niður á brú reyndist flotmælingin vera 630 mm og þurfti því að bæta lítils háttar flotefni í steypuna sem gaf 685 mm flot.

Loftmagn sem mælt var eftir endurblöndun flotefnis gaf 0,9 %. Tilgáta er um að loftblendið hafi tapað virkninni vegna langs biðtíma frá fyrstu hræru þangað til losa átti úr bílnum.

Gerð var tilraun til að mæla mótaþrýsting en það mistókst þar sem ekki hafði verið gert ráð fyrir dúk innan á mótunum og hann ekki fjarlægður þar sem mælingin var gerð.

*Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar*

Sýni	2 daga	7 daga	28 daga	90 daga
Bíll 1	64		113	
Bíll 2	62	100	116	135

Frostþolsprófanir samkvæmt SS 13 72 44 í vatni og með 3% NaCl sýndu mjög litlar breytingar í NaCl lausn (0,04 og 0,07 kg/m<sup>2</sup>) og alls engar breytingar (0,00 og 0,00 kg/m<sup>2</sup>) með vatnslausn eftir 112 umferðir

#### **4.5.2.6 Lokafrágangur**

11. ágúst. Kví tekin upp og hreinsuð.
22. ágúst Brautir teknar upp, pallar teknir og merkingar fjarlægðar.

### **4.6 Stöpull 11. Stöpulkápa steipt 2. ágúst 2006**

#### **4.6.1 Undirbúningur**

##### **4.6.1.1 Aðstaða, verktakar**

Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.  
Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.  
Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.  
Vatnsbrot, Gunnar Högnason í Reykjavík.

##### **4.6.1.2 Umferðastjórnun, merkingar**

Sjá stöpul nr. 4 1998.

##### **4.6.1.3 Öryggismál**

Sjá stöpul nr. 4 1998.

##### **4.6.1.4 Vinnupallar**

28. – 29. júní. Uppsetning vinnupalla.

##### **4.6.1.5 Kví**

3. – 13. júlí. Niðursetning og frágangur á kví. Kví skrúfuð saman.

## 4.6.2 Vinna við stöpul

### 4.6.2.1 Ástand stöþuls



Stöþull 11

### 4.6.2.2 Hreinsun stöþuls

15. júlí. Sand- og vatns-háþrýstihreinsun á stöþli.

### 4.6.2.3 Járnalögn

18. – 24. júlí. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöþul nr. 4, 1998.

### 4.6.2.4 Mót

25. – 31. júlí. Hefðbundin mót með dúkklaðningu og plastglugga báðum megin. Mótin rifin af 14 - 16 ágúst og kíttað í tengigöt.

### 4.6.2.5 Steypa

Stöþulkápan var steyppt 2. ágúst 2006.

Áframhaldandi tilraunir á grundvelli niðurstaða frá kápusteypu á stöþli 7, 18. júlí 2005, voru gerðar á IBRI (Icelandic Building Research Institute) veturinn 2005 – 2006 með það að markmiði að finna þau hlutföll milli sands og malar sem þörfuðu best við 0,5 % rúmmál trefja (0,15 stál og 0,35% plast).

Sjá skýrslu IBRI: *Bridge Pillar Repair – Borgarnes 2006. Report to Vegagerðin June 2007. Dipl. Ing. Guido Krage, Dr. Ólafur Wallevik*

Ákveðið var að styðjast við blöndu tilsvarandi BB16 með lítilsháttar minnkun á sements og vatnsinnihaldi.

#### **Steypa: Uppskrift steypublöndu:**

<b>Magn í blöndu</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1,0</b>
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	518
Fínmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1238
Sement: Aalborg Rapid Portland	kg	518
Kísilryk	kg	22
Vatn	kg	176
Flotefni: (RN 30 Ath. magn aðeins breytilegt)	l	24,6

v/c hlutfall		0,33
Loftblendi: (Mapei air)**	l	0,75
Stáltreffjar: Dramix 05/30 mm	kg	10,99
Plasttreffjar: Strux Grace 85x50	kg	3,22

\* Samkv. heimildum GS er notað sement með 4% kísilyki

\*\* Ó.W. „Loftblendi var ekki notað til að skapa lofkerfi og gott frostþol heldur til að brjóta niður stórar loftbólur og til að minnka seigju (e. plastic viscosity)“

Blandað í tvo bíla, 6,3 m<sup>3</sup> í hvorn. Byrjað að undirbúa steypu um kl. 7. Byrjað að hræra um kl. 8:45.

Fyrsti bíll klár um kl 10:00 og búið úr honum kl. 10:30. Blandað skoðuð niður á brú og þynnt lítilsháttar. Seinni bíll kom um kl. 11:00 og búið að tæma úr honum um kl. 11:45. Frágangi lokið um kl. 12:30. Aðeins minna magn fór í kápuna en reiknað var með.

Vegna óvissu með rakainnihald steinefnanna var hluta af vatni og flotefni haldið eftir í hverri hræru og bætt eftir skoðun á hrærunni. Vatni, sementi, kísilyki og steinefnum bætt með sjálfkrafa skömmtun í blandarann.

Aðeins trefjum, flotefni og loftblendi var bætt í sérstaklega.

Vegna þess að 45 – 60 mínútur liðu milli fyrstu og síðustu hræru sem sett var í steypubílinn þá þurfti að endurstilla íblöndun flotefnis niður á brú.

Flotmæling (slump flow) steypublöndunar strax eftir blöndun var 730 mm. Eftir endurstillingu reyndist flotmælingin vera 660.

Loftmagn sem mælt var eftir enduríblöndun flotefnis gaf 1,8 %.

Steypan var látin renna niður linan barka við sinn hvorn stöpulenda. Steypan var ekkert titruð en lítilsháttar þurfti að draga til steypu í lokin til að jafna yfirborðið og hraða tæmingu á bílnum.

Þrýstinemum var komið fyrir í mótum og er gerð grein fyrir mælingum á mótaþrýstingi í áður nefndri skýrslu. Mæligildi sýna um 83% af vökvastöðu-þrýstingi (hydrostatic pressure)

*Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar*

Sýni	2 daga	7 daga	28 daga	90 daga
Bíll 1/Bíll 2	40 *	70 *	80	109

\* Ath. Gildi ekki nákvæm. Lesin úr grafi

*Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]*

Sýni	upplausn	56 umferðir	112 umferðir
	3%NaCl	0,00	0,12
	Vatn	0,00	0,00

#### 4.6.2.6 Lokafrágangur

Kví tekin upp 17. ágúst. Brautir teknar upp 21. ágúst og færðar á stöpul 12.

## 4.7 Stöpull 12 steypdur 5. október 2007

### 4.7.1 Undirbúningur

#### 4.7.1.1 Aðstaða, verktakar

Framhald aðstöðu vegna stöpulls 11

#### 4.7.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Sjá stöpull nr. 4 1998.

#### 4.7.1.3 Öryggismál

Sjá stöpull nr. 4 1998.

#### 4.7.1.4 Vinnupallar

22. – 31. ágúst. Vinnupallar og brautir á kví o.fl.

#### 4.7.1.5 Kví

4. - 6. september. Niðursetning og frágangur á kví.

### 4.7.2 Vinna við stöpull

#### 4.7.2.1 Ástand stöpulls



Stöpull 12

#### 4.7.2.2 Hreinsun stöpulls

8. september. Háþrýstihreinsun á stöpli

#### 4.7.2.3 Járnalögn

13. - 20. september. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpull nr. 4, 1998.

#### 4.7.2.4 Mót

Hefðbundin mót með dúkkklæðningu og plastglugga báðum megin.

Mótavinna 25. - 28. september. Mótin voru rifin af 23 - 25 október og kíttað í tengigöt.

#### 4.7.2.5 Steypa

Stöpkápan var steyp 5. október 2006.

Markmið prófana að þessu sinni var að prófa stöðugleika (e: robustness) þeirrar steypublöndu sem notuð hafði verið við steypu stöpsuls 11 þann 2. ágúst 2006 með breyttu trefjainnihaldi. Nú með 0,425 % rúmmáls (0,15 % stál og 0,275 % plast)

Sjá skýrslu IBRI: *Bridge Pillar Repair – Borgarnes 2006. Report to Vegagerðin June 2007. Dipl. Ing. Guido Krage, Dr. Ólafur Wallevik*

Prófanir voru gerðar á tímaháðum floteiginleikum steypunnar (e: rheological behavior) án viðbótaríblöndunar. Auk þess voru gerðar prófanir á floteiginleikum steypunnar með viðbótaríblöndun vatns. Þessar prófanir sýna að flot-skerspenna (e: yield value) eykst aðeins lítillega fyrstu 36 mínúturnar en eykst síðan verulega eftir 49 mínútur. Plastiskur seigjustuðull (e: plastic viscosity) minnkar jafnt en lítillega.

Niðurstöður með viðbótar vatnsíblöndun sýna að flot-skerspenna breytist ekki verulega en plastískan seigjustuðul má minnka verulega. Sjá annars ofanefnda skýrslu.

Með hliðsjón af þessum tilraunum var valið að styðjast við blöndu BB 17\_2.

#### Steypublanda:

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	1,0
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	540
Finmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1209
Sement: Aalborg Rapid Portland	kg	539*
Kísilryk	kg	23
Vatn (Ath. Byrjunarblanda, vatn breytilegt)	kg	168
Flotefni: (RN 30 Ath. magn aðeins breytilegt)	l	23,2
Loftblendi: (Mapei Air)**	l	0,75
Stáltrefjar: Dramix 05/30 mm	kg	10,99
Plasttrefjar: Strux (frá Grace) 85x50	kg	2,53

\* Samkv. heimildum GS er notað sement með 4% kísilryki.

\*\* Ó.W. „Loftblendi var ekki notað til að skapa loftkerfi og gott frostþol heldur til að brjóta niður stórar loftbólur og til að minnka seigju (e. plastic viscosity)“

Steyp í Loftorku og voru hrærur að þessu sinni 1,8 m<sup>3</sup> og 0,9 m<sup>3</sup>. Alls 8 hrærur.

Vegna óvissu með rakainnihald steinefnanna var u.þ.b. 14 l af vatni og 8 kg/m<sup>3</sup> af flotefni haldið eftir í hverri hræru og bætt í að hluta eða öllu leiti eftir skoðun á hrærunni. Vatni, sementi, kísilryki, steinefnum og flotefni bætt í með sjálfkrafa skömmtun í blandarann.

Aðeins trefjum og loftblendi var bætt í sérstaklega.

Jafnvel þótt að 30 – 45 mínútur liðu milli fyrstu og síðustu hræru sem sett var í steypubílinn þá þurfti ekki að endurstilla íblöndun flotefnis niður á brú.



Flotmæling (e: slump flow) steypublöndunar strax eftir blöndun var 718 mm. Mæling niðri á brú gaf 708 mm.

Loftmagn sem mælt var strax eftir blöndun gaf 1,6 %.

Prýstinemum var komið fyrir í mótum og er gerð grein fyrir mælingum á mótaþrýstingi í áður nefndri skýrslu. Mæligildi sýna um 84% af vökvastöðu-þrýstingi (e: hydrostatic pressure)

*Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar*

Sýni	2 daga	7 daga	28 daga	90 daga
Bíll 1/Bíll 2	40 *	83 *	110	114

\* Ath. Gildi ekki nákvæm. Lesin úr grafi

*Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]*

Sýni	upplausn	56 umferðir	112 umferðir
	3%NaCl	0,02	0,06
	Vatn	0,00	0,00

#### 4.7.2.6 Lokafrágangur

26. október. Kví tekin upp og hreinsuð. 30. október - 7. nóvember. Ýmis frágangur.

### 4.8 Stöpull 8. Stöpulkápa steyp 23. október 2007

#### 4.8.1 Undirbúningur

##### 4.8.1.1 Aðstaða, verktakar

Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.  
Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.  
Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.  
Vatnsbrot, Gunnar Högnason í Reykjavík.

##### 4.8.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Sjá stöpul nr. 4 1998.

##### 4.8.1.3 Öryggismál

Sjá stöpul nr. 4 1998.

##### 4.8.1.4 Vinnupallar

11.- 13. September. Uppsetning og vinnupalla.

##### 4.8.1.5 Kví

25. - 26. júní. Niðursetning og frágangur á kví.

## 4.8.2 Vinna við stöpul

### 4.8.2.1 Ástand stöpuls



Stöpull 8

### 4.8.2.2 Hreinsun stöpuls

28. September. Sandblástur og þrif.

### 4.8.2.3 Járnalögn

2. – 11. október. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998.

### 4.8.2.4 Mót

12. – 18. september.

### 4.8.2.5 Steypa

Stöpulkápan var steypd 23. október 2007. Hönnun og umsjón með blöndu steypunnar var í höndum NMÍ.

Steypd í Loftorku og hver hræra  $0,9 \text{ m}^3$ . Reiknað var með u.þ.b.  $12 \text{ m}^3$  í stöpulinn og var hrært ríflega það magn.

Möl frá Harðakambi. Efnið harpað og sekkjað af Bjarna Vigfússyni, Snæfellsnesi.

Allar rannsóknir í sérskýrslu frá NMÍ. Upplýsingar úr dagbók brúasmiðs um steypublöndu:

### Steypublanda:

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	1,0
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	517
Fínmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1220
Sement: Aalborg mísilyki	kg	528
Vatn	kg	144
Flotefni:RN 30 (ath. magn aðeins breytilegt)	l	U.p.b. 14
Loftblendi: Mapei Air *	l	0,75
Stáltreifar: Dramix 05/30 mm	kg	10,99
Plasttreifar: Strux (frá Grace) 85x50	kg	1,84

\* Ó.W. „Loftblendi var ekki notað til að skapa loftkerfi og gott frostþol heldur til að brjóta niður stórar loftbólur og til að minnka seigju (e. plastic viscosity)“

Steyptir 13 m<sup>3</sup>. Sama vandamálið og venjulega, blöndun gekk mjög hægt, fyrri bíll kom kl. 10<sup>00</sup> og seinni ekki fyrr en kl. 11<sup>30</sup>, annars gekk vel að steypa ,flæði í steypu mjög gott. Steypuyfirborð slétt og án skemmda.

Upplýsingar NMÍ frá 24.5.2016:

### Steypublanda:

		TR1	TR2	TR1**	TR2**
<b>Magn í blöndu</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	706	644	703	643
Fínmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1081	1135	1077	1132
Sement: *	kg	550	550	549	548
Vatn	kg	140	146	148	151
v/c - hlutfall		0,25	0,27	0,27	0,28
Flotefni:Gerð	-	D	D	D	D
Flotefni: Magn ***	kg	4,8	5,0	5,3	5,5
Trefjar	%	0,6	0,6	0,6	0,6
Flotmæling (Slump flow)	mm	680	700	695	750

\* Sement blandað með kísilyki: 528 kg/m<sup>3</sup> og 22 kg/m<sup>3</sup> kísilyk

\*\* Steypublanda endurreiknuð eftir leiðréttingu niður á brú rétt fyrir niðurlögn

\*\*\* Þurr þyngd trefja

Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar:

	28 daga
<b>Bíll 1</b>	115
<b>Bíll 2</b>	107

Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]

Sýni merkt T1

Sýni	Flatarmál cm <sup>2</sup>	7 umferðir	28 umferðir	42 umferðir	56 umferðir
<b>A</b>	225	0,00	<b>0,00</b>	0,02	<b>0,02</b>
<b>B</b>	225	0,00	<b>0,00</b>	0,00	<b>0,01</b>
<b>C</b>	225	0,00	<b>0,00</b>	0,00	<b>0,00</b>

Sýni merkt T2

Sýni	Flatarmál cm <sup>2</sup>	7 umferðir	28 umferðir	42 umferðir	56 umferðir
<b>A</b>	225	0,00	<b>0,00</b>	0,03	<b>0,04</b>
<b>B</b>	225	0,00	<b>0,00</b>	0,00	<b>0,00</b>
<b>C</b>	225	0,00	<b>0,00</b>	0,01	<b>0,02</b>

#### 4.8.2.6 Lokafrágangur

Kvíin var tekin upp 8 nóvember og vinnupallarnir 14. október. Frágangur á kví og vinnupöllum í lóð lokið 15. október.

## 4.9 Stöpull 5. Stöpulkápa steyp 28. júlí 2009

### 4.9.1 Undirbúningur

#### 4.9.1.1 Aðstaða, verktakar

Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.  
Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.  
Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.  
Vatnsbrot, Gunnar Högnason í Reykjavík.

#### 4.9.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Sjá stöpul nr. 4 1998.

#### 4.9.1.3 Öryggismál

Sjá stöpul nr. 4 1998.

#### 4.9.1.4 Vinnupallar

9. júní. Uppsetning og vinnupalla.

#### 4.9.1.5 Kví

Mokað var frá stöpli 2007.

22. - 24. júní. Niðursetning og frágangur á kví.

### 4.9.2 Vinna við stöpul

#### 4.9.2.1 Ástand stöpuls



Stöpull 5

#### 4.9.2.2 Hreinsun stöpsuls

27. júní. Stöpull sandblásinn. 700 kg af sandi.

#### 4.9.2.3 Járnalögn

29. júní - 16. júlí. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998.

#### 4.9.2.4 Mót

20. – 27. júlí. Hefðbundin mót með dúkklaðningu.

#### 4.9.2.5 Steypa

Stöpulkápan var steypd 28. júlí.

##### *Steypublanda:*

Magn í blöndu	m <sup>3</sup>	1,0
Perla frá Harðakambi (11- 16 mm)	kg	595
Finmöl frá Harðakambi (0-8 mm)	kg	1155
Sement: Aalborg mísilryki	kg	585
Vatn	kg	157
Flotefni:	l	4,39
Loftblendi:	l	0,06
Stáltreifar: Dramix 05/30 mm	kg	15,6
Plasttreifar: Strux (frá Grace) 85x50	kg	2,8

Steypdir 13 m<sup>3</sup>, steypa var mjög góð, enginn aðskilnaður og allt gekk vel.

*Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar:* Samkvæmt upplýsingum NMÍ 17.5.2016

	2 dagar	28 daga	90 daga
	65,3	117,6	126,0

*Loft og loftdreifing: Ekki mælt*

*Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]* Samkvæmt upplýsingum úr tölvu Björns Hjartarsonar 17.5.2016.

Sýni	? umferðir
Bíll 1	0,02
Bíll 2	0,02

Frostþolsprófanir samkvæmt SS 13 72 44 í vatni gáfu 0,01 kg/m<sup>2</sup> fyrir bæði sýni.

#### 4.9.2.6 Lokafrágangur

Kvíin og vinnupallarnir teknir upp 9. – 11. september. Pallar færðir á stöpul 2 og mælingar gerðar á ásteypu vegna breytinga sem gera þarf á kví. Frágangur á kví og öðrum búnaði í lóð Vg. Verki lokið 17. september.

## 4.10 Stöpull 2. Stöpulkápa steypt 25. maí 2010

### 4.10.1 Undirbúningur

#### 4.10.1.1 Aðstaða, verktakar

Vinnubúðir í lóð Vegagerðarinnar í Borgarnesi.  
Tenging á vatni, vatnsveitan Borgarnesi.  
Björgunarbátur m/ áhöfn, Björgunarsveitin Brák.  
Vatnsbrot, Gunnar Högnason í Reykjavík.

#### 4.10.1.2 Umferðastjórnun, merkingar

Sjá stöpul nr. 4 1998.

#### 4.10.1.3 Öryggismál,

Sjá stöpul nr. 4 1998.

#### 4.10.1.4 Vinnupallar

Vinnupöllum var komið fyrir í september 2009.

#### 4.10.1.5 Kví.

29. maí - 6. apríl. Niðursetning og frágangur á kví.

### 4.10.2 Vinna við stöpul

#### 4.10.2.1 Ástand stöpuls



Stöpull 2.

Vegna mikilla skemmda sem komu fram fljótlega eftir að stöpullinn var steypur, var slegið upp mótum á stöpulinn og steypt utan um skemmdirnar.

Skemmdirnar mátti rekja til mistaka í steypuframléiðslu.

#### 4.10.2.2 Hreinsun á stöpli

8. apríl. Sandblástur á stöpli. 100 kg af sandi

#### 4.10.2.3 Járnalögn

13. - 30. apríl. Frágangur mótatengja, tengijárna og járnalagnar. Sjá stöpul nr. 4, 1998,

#### 4.10.2.4 Mót

30. apríl - 12 maí. Hefðbundin mót með dúkkklæðningu.

#### 4.10.2.5 2.5 Steypa

Stöpulkápan var steyppt 25. maí.

##### **Steypublanda:**

Upplýsingar vantar

Steyptir 13 m<sup>3</sup>, steypa var mjög góð, enginn aðskilnaður og allt gekk vel.

*Brotstyrkur [MPa] Sýni: 10 x 20 sm sívalningar:*

	28 daga	90 daga
	111	123

*Loft og loftdreifing: Ekki mælt*

*Frostþol samkvæmt SS 13 72 44 með 3% NaCl. Flögnun [kg/m<sup>2</sup>]*

Sýni	28 umferðir	56 umferðir
	0,00	0,00

Steypa, blöndun og niðurlögn gekk mjög vel.

##### **Aðrar rannsóknir.**

**Úr skýrslu: Borgarfjarðarbrú stöpull 2 – styrkur klóríðs í steypu og smásjárskoðun. Mannvit Verkfræðistofa- Vegagerðin**

**Skýrsla – Steypurannsóknir. Lokaútgáfa 29. júní 2010. Höfundur: Dr. Gísli Guðmundsson**

Þann 15-04-2010 voru kjarnar boraðir úr stöpli 2 og brúargólfi Borgarfjarðarbrúar. Boraðir voru annars vegar kjarnar með 7,5 cm þvermál og hins vegar með 10 cm þvermál. Búið var að gera við hluta af stöplinum, sjá mynd

Klóríðmagn í steinsteypusýnum var mælt með því að leysa svarf upp í saltpéturssýru og títra samkvæmt NT Build 208. Svarfið var fengið með því að taka þurrkaða kjarna og renna þá niður frá yfirborði og niður á það dýptarbil sem áhugi var fyrir að rannsaka. Kjarnarnir voru unnir niður fyrir efnagreiningar hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands (NMÍ).

Klóríðmagnið var efnagreint í kjörnum með 7,5 cm þvermál á dýptarbilunum: 0-1, 1-2, 2-3, 5-6, 9-10, 13-14, 17-18, 21-22, 25-26 og 29-30 mm.

Kjarnar úr viðgerðarsteypunni frá 1981 voru teknir á tveimur dýptarbilum, annars vegar um 15 cm fyrir ofan neðri brún á viðgerðarsteypunni (kjarni #3) og hins vegar um 145 cm fyrir ofan neðri brún á viðgerðarsteypunni (kjarni #5). Óveruleg flögnun hefur átt sér stað í yfirborði viðgerðarsteypunni. Kjarnar úr upphaflegu steypunni voru teknir um 35 cm fyrir ofan neðri brún á viðgerðarsteypunni. Á því dýptarbili voru um 25 mm flagnaðir af yfirborði steypunnar.

Mikil útskolun hefur átt sér stað af klóríði úr yfirborði steypunnar í stöplunum en tiltölulega lítil útskolun hefur átt sér stað í steypunni úr brúargólfinu. Einnig má sjá að styrkur klóríðs í brúargólfinu er tiltölulega hár í dýptarbilinu 1-2 og 2-3 mm.

### **Niðurstöður klóríðmælinga**

Miðað við að viðgerðarsteypa sé 28 ára gömul og með klóríð leiðnistuðul  $2,1 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ætti klóríðstyrkurinn að vera um 0,33 % af steypubunga á 50 mm dýpi. Upprunalega steypa er um 35 ára gömul og miðað við leiðnistuðul  $2,02 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  ætti klóríðstyrkurinn að vera um 0,36 % af steypubunga á 50 mm dýpi. Í báðum þessum útreikningum er miðað við að yfirborðsgildi fyrir klóríð sé 0,8 % af steypubunga. Samkvæmt þessum niðurstöðum hefur skapast tæringarhætta fyrir er meiri en 0,1 % af steypubunga. Hins vegar má segja að þegar bendistálið í steypunni í stöplunum, þá er miðað við að tæringarhætta skapast þegar styrkur klóríðs er meiri en 0,1 % af steypubunga. Hins vegar má segja að þegar leiðniprofíll er eins og hann er, þ.e. með mjög lágt yfirborðsgildi, síðan er hámarks klóríð styrkurinn töluvert fyrir neðan yfirborðið og klóríðstyrkurinn lækkar síðan með dýpi inn í steypuna, er ekki óeðlilegt að álykta að klóríð sé að ekki að ganga mikið inn í sýnið.

Klóríð var efnagreint í kjörnum úr brúargólfinu árið 2005 og eru niðurstöður úr efnagreiningunum sýndar ásamt niðurstöðum úr þessari rannsókn. Samanburður milli þessara tveggja greininga leiðir í ljós verulegan mismun, ljóst er að töluvert meiri útskolun hefur átt sér stað í yfirborði sýnanna frá 2005, en á um 20 mm dýpi og meira er klóríðstyrkurinn svipaður í báðum greiningunum. Ástæða fyrir því af hverju útskolunin í sýnunum frá 2005 er svona mikil er ekki ljós, hins vegar er styrkur klóríðs óvenju hár í sýnunum frá 2010 á dýptarbilinu frá 2-3mm til 5-6 mm. Sýnin frá 2010 eru tekin við niðurfalið brúargólfinu, meðan sýnin frá 2005 eru ekki tekin við niðurfalið, áhrifin af þessum tveimur staðsetningum er hins vegar óljós.

Þátt fyrir þennan mismun á styrk klóríðs, þá benda niðurstöðurnar til þess að tæringarhætta sé ekki til staðar í brúargólfinu. Ef miðað er við að steypuhulan sé 30 mm og að klóríðleiðnistuðull steypunnar sé  $8,61 \cdot 10^{-14} \text{ m}^2/\text{s}$  þá má búast við að tæringarhætta skapist í brúargólfinu eftir um 18 ár.

### **Niðurstöður Smásjárskoðun**

Á árunum 1994 til 1995 voru sýni úr stöplum Borarfjarðarbrúar skoðuð í smásjá. Helsta niðurstaða úr þeirri rannsókn var að skemmdirnar stöfuðu af sprungumyndun í yfirborði steypunnar. Sprungurnar skáru ekki fylliefni, heldur lágu í sementsefjunni nokkurn veginn samsíða yfirborði steypunnar. Sprungurnar ollu því að sementsefjan flagnaði af og tiltölulega stór fylliefnakorn sátu eftir í yfirborðinu, uns þau töpuðu festunni og duttu af. Flögnunin er áberandi mest á beltinu milli lág- og háflæðis. Engin flögnun reyndist vera í steypunni neðan við neðsta fjöruborð og flögnunin minnkaði upp eftir fjöruborðinu. Ástæða fyrir sprungumynduninni var síðan talin stafa af efnahvörfum milli steypu og sjávar. Steypa tók upp Mg og S úr sjónum og Ca skolaðist út. Afleiðing af þessum efnahvörfum var myndun ettringíts í sprungum og holrými, en einnig anhydrits. Þar sem holrými steypunnar í yfirborðinu voru fyllt ettringíti, var ályktað að steypa væri ekki frostþolin og því gæti frostverkun einnig haft áhrif á framgang skemmdanna. Tekið var fram að skemmdirnar stöfuðu ekki af alkálívirni.

Þunnsneiðarnar sem voru útbúnar árið 1994 voru skoðaðar aftur, þetta voru þunnsneiðar frá Rb (nú NMÍ) númer 1486 til 1493 og númer 1517 til 1520. Sýnin eru úr stöplum 6 og 9 og voru tekin neðan og ofan við lægsta og hæsta fjöruborð og svæðinu þar á milli. Markmið með því að skoða sneiðarnar aftur var að kanna hvort einhver merki um alkálívirni myndu í steypunni. Niðurstaðan er sú sama og fyrri niðurstaða að ekki sáust nein bein merki um alkálívirni.

Sú staðreynd að það finnst merki um alkálívirni í bæði upprunalegu steypunni og í viðgerðarsteypunni frá 1981 er mjög áhugaverð. Ekki fundust nein merki um alkálívirni í sýnunum frá 1994, en núna um 16 árum seinna eru greinileg merki um alkálívirni, sbr. þunnsneiðar G-143 og G-145. Jafnframt er það áhugavert að tengja megi greinilegar alkálísprungur við sprungukerfið í sýnunum sem veldur yfirborðsflögnun. Af þessum sökum er ekki hægt að útiloka að skemmdirnar í stöplunum stafi af alkálívirni. Ef alkálíhlaup finnst ekki, er



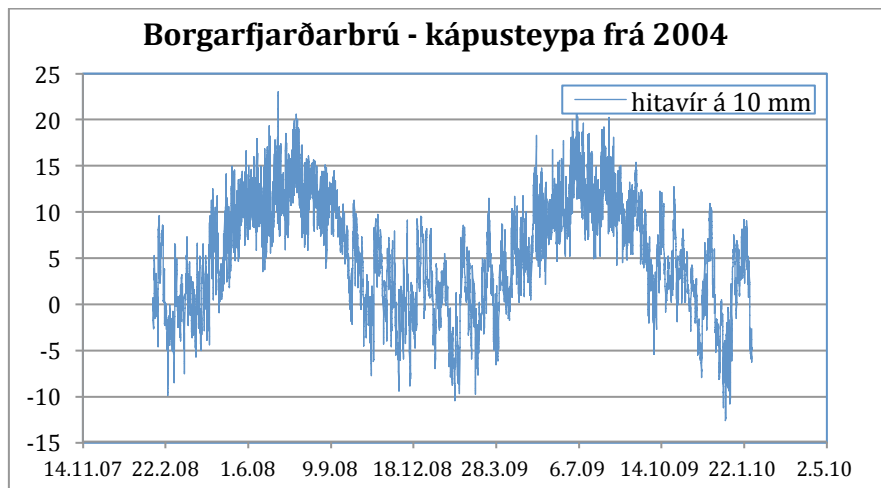
mjög erfitt að greina hvort alkálívirgni sé til staðar eða ekki í steypu, hins vegar þarf það ekki að þýða að alkálívirgni sé ekki til staðar þótt alkálíhlaup finnist ekki í viðkomandi sýni.

Viðgerðarsteypa frá 1981 er einnig með greinilega alkálívirgni, sbr. þunnsneiðar G-140 og G-142. Sérstaklega áhugavert er að steypa er með kísilryki, sbr. þunnsneið G-139. Einnig er það áhugavert að svo til engar yfirborðskemmdir hafa átt sér stað í steypunni, þannig að þrátt fyrir alkálívirknina verður steypa ekki fyrir miklum skemmdum.

Alkálívirknin er ekki til staðar í efri hluta steypunnar, alkálívirgni fannst efst á um 4 cm dýpi en aldrei við yfirborð. Ástæða fyrir því er að klóríð hefur gengið inn í steypuna. Þegar klóríð gengur inn í steypu lækkar pH-gildið, við það dregur verulega úr hættunni á alkálívirgni.

Þar sem vart var við alkálívirgni mátti rekja uppruna hennar til líparítákna og bæði fersks og ummyndaðra basaltákna.

Í fyrri rannsókn var talið að frost/þíðu-virkni hefði töluverð áhrif á framgang skemmdanna, sérstaklega vegna þess að holrými í steypunni við yfirborð eru fyllt ettringíti og því ætti loftkerfið ekki að virka sem skildi geng áhrifum frost/þíðu. Á undanförunum árum hefur Mannvit fylgst með hitasveiflum í yfirborði steypu í stöplum Borgarfjarðarbrúarinnar. Á meðfylgjandi mynd má sjá hitasveiflur í kápusteypu frá 2004 í Borgarfjarðarbrú,



hitamælingin er gerð á 10 mm dýpi frá yfirborði steypunnar milli lágfjöru og háflæðis. Einsog sjá má á myndinni eru verulegar frost/þíðu sveiflur í yfirborði steypunnar, en ekki er að fullu búið að vinna úr þessum mæliniðurstöðum. Þrátt fyrir það er ljóst að það eru verulegar frost/þíðu sveiflur í yfirborði brúarstöplanna og þess vegna er ekki hægt að útiloka áhrif frost/þíðu-skipta sem meðverkandi niðurbrotsafls.

#### **Niðurstöður.**

Styrkur klóríðs er nokkuð hár bæði í stöplusteypu og í viðgerð frá 1981. Sökum þess hve mikið klóríð hefur byggst upp í steypunni er hætta á tæringu í bendistáli. Öðru máli gegnir um steypuna í brúargólfinu, þar hefur tiltölulega lítið klóríð byggst upp í steypunni og engin tæringarhætta skapast.

Verulega skemmdir hafa átt sér stað í yfirborði upprunalegu steypunnar í stöplinum. Skemmdir í steypunni eru mjög svipaðar og lýst var í fyrri rannsókn, nema hvað að greinilegt er að alkálívirgni hefur bæst við síðan. Skemmdir er svipaðs eðlis eru í viðgerðinni frá 1981 og eru í upprunalegu steypunni, nema skemmdir eru skemmra á veg komnar, og lítil flögnun á sér stað í steypunni. Greinileg alkálívirgni er til staðar í kápusteypunni.

Erfitt er að segja til um ástæðu fyrir skemmdunum, en vegna þess að alkálívirknin hefur ekki áhrif á endingu kápusteypunnar má gera ráð fyrir að alkálívirknin hafi ekki mikil áhrif á framgang skemmdanna í upprunalegu steypunni. Einnig er ljóst að frost/þíðu-virkni er veruleg í yfirborði stöplanna á svæðinu milli flóðs og fjöru, þannig að erfitt verður að útiloka frost/þíðu-virkni sem áhrifavald í framgangi skemmdanna.

#### **4.10.2.6 Lokafrágangur**

Kvíin og vinnupallarnir teknir upp 8. júní. Frágangur búnaðar og verklok 22. júní.

## 5 Lokaorð

Horft til framtíðar verður fróðlegt að skoða endingu steypunnar á einhverju árabili á þessari öld. Ekki er gert ráð fyrir að steypan endist til eilífdar, en þá er líka brýnt að það liggi fyrir á einum stað yfirlit og upplýsingar um allar þær mismunandi steypublöndur sem notaðar voru ásamt yfirlit yfir prófanir og niðurstöður prófana sem gerðar voru til að draga lærdóm af því sem gert var. - Þ.e. hvar verður ending steypunnar best.

Ath. Því miður hefur ekki tekist að fá upplýsingar frá NMÍ um rannsóknarniðurstöður á frostpoli og brotþoli fyrir kápusteypu á stöpli 3 frá 28. júlí 2004 ásamt upplýsingum um steypublöndu fyrir kápusteypu á stöpli 2 frá 25. maí 2010.

*Margar og fjölbreyttar rannsóknir hafa verið gerðar sem tengst hafa þessu umfangsmikla verkefni.*

*Rannsóknir sem hafa miðast við að skilja orsakir steypuskemmdanna hafa allflestar verið undir stjórn og frumkvæði Dr. Gísla Guðmundssonar hafa varpað mikilvægu ljósi á eðlis- og efnafræði breytinganna í steypunni sem leitt hafa til tæringar hennar.*

*Rannsóknir og þróun á framleiðslu nothæfrar steypu til viðgerðar á mannvirkjum í ágengu sjávarumhverfi hafa frá upphafi verið undir stjórn Dr. Ólafs Wallevik. Það er ekki minnst að þakka þekkingu og frumkvæði Dr. Ólafs sem tókst að framleiða nothæfa og sterka steypu til niðurlagnar við erfiðar aðstæður.*

*Þeir Dr. Gísli og Dr. Ólafur og aðstoðarfólk þeirra eiga miklar þakkir skildar fyrir þrotlaust og gefandi starf.*

*Tíminn einn mun síðan leiða það í ljós hvernig til hefur tekist.*

*Reykjavík í júní 2016.*

*Einar Haflíðason*