

Brúalengd án þensluraufa

Rannsóknarverkefni



Gylfi Sigurðsson
Helgi S. Ólafsson



Mars 2016

Efnisyfirlit

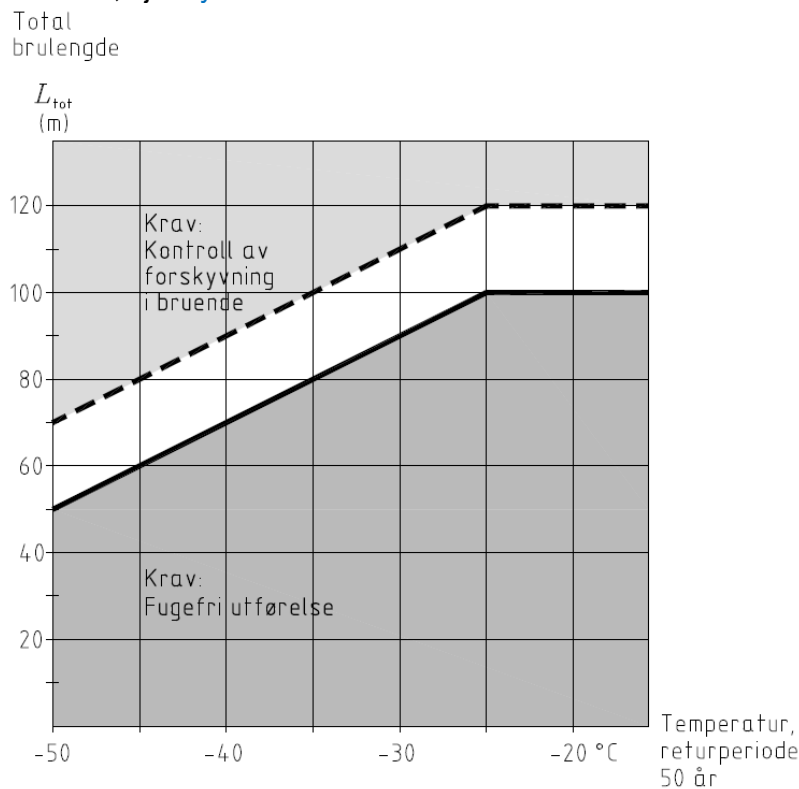
1.	Inngangur	3
2	Vettvangsferðir og útreikningar	4
2.1	Brú á Kolgrafarfjörð í vegi 54 Snæfellsnesi.....	4
2.1.0	Almennt	4
2.1.1	Vettvangsferð	5
2.1.2	Rýrnun, skrið og hitabreytingar	7
2.2	Brú á Hvítá hjá Bræðratungu í vegi 359.....	8
2.2.0	Almennt	8
2.2.1	Vettvangsferð	8
2.2.2	Rýrnun, skrið og hitabreytingar	11
2.2.3	Mælingar á vegyfirborð	12
2.3	Brú á Múlakvísl í vegi 1-b2.....	13
2.3.0	Almennt	13
2.3.1	Vettvangsferð	14
2.3.2	Rýrnun, skrið og hitabreytingar	16
3	Framkvæmdin.....	17
3.0	Almennt	17
3.1	Framkvæmdin við þær brýr sem eru til skoðunar	17
4	Svörun fyllingar við hreyfingu brúar	19
5	Takmarkandi þættir og mótvægisáðgerðir.....	21
6	Hámarkslengd brúa án þenslufúga.....	22
6.0	Almennt	22
6.1	Brýrnar sem hafa verið skoðaðar	22
6.2	Til umhugsunar og nánari skoðunar - brúarlengd án þenslufúga	23
7	Lokaorð.....	25
	Tilvísanir:	27

1. Inngangur

Tildrög þessa verkefnis eru þau, að í drögum að Norsku reglunum um hönnun brúa; [Håndbok 185^{1\)}](#), voru settar fram kröfur um hámarks lengd brúa án þensluraufa í gr. 3.2.3 Fugefrie bruer. Kröfurnar voru:

- $L_{\max} \leq 100$ m, ef láréttar hreyfingar í lengdarstefnu brúar eru hindraðar því sem næst fyrir henni miðri
- $L_{\max} \leq 50$ m, ef láréttar hreyfingar í lengdarstefnu brúar eru hindraðar við annan endann

Í lokaútgáfu bókarinnar, [Håndbok N400^{2\)}](#), gr. 3.4 Fugefrie bruer hefur framsetningu þessarar kröfu verið breytt aðeins, sjá [Mynd 1](#):



Figur 3.1: Krav til fugefri utførelse og behov for kontroll av forskyvninger

[Mynd 1 – úr handbók Norsku Vegagerðarinnar; Håndbok N400](#)

Þetta er í reynd óbreytt krafa m.t.t. íslenskra aðstæðna.

Þensluraufum fylgir annars vegar stofnkostnaður og hins vegar viðhaldskostnaður og því hefur verið tilhneiging hjá Vegagerðinni að hafa brýr mun lengri án þensluraufa en að ofan greinir. Spurningin er hvernig það hefur gefist á líftíma þessara brúa. Í önn dagsins, þegar unnið er að hönnun mannvirkja vinnst ekki tími til þess að skoða þann þátt að neinu marki og því talið heppilegt að færa hann yfir á annan vettvang. Til þess að leitast við að fá svar við spurningunni var því sótt um styrk til Rannsóknarsjóðs Vegagerðarinnar.

Í umsókninni segir m.a.:

Eins og að framan greinir, þá er a.m.k. í Noregi eða hjá Norsku Vegagerðinni gerð krafa um mun minni fjarlægð milli þensluraufa en hér hefur verið gert í reynd. Við það vakna upp spurningar um hvort við erum að ganga of langt eða hvort það er eitthvað í aðstæðum hér á landi, veðurfari, hitastigi, hitasveiflum o.s.frv., sem réttlætir þennan mismun. Lengstu

steyptar brýr hér á landi eru yfir 200 m, en mættu ekki vera nema 100 m skv. norskum reglum. Úr þessu verður augljóslega að skera.

og:

Verkefnið felst í annars vegar fræðilegri nálgun, þ.e. að reikna samdrátt og hreyfingar langra brúa vegna skriðs, rýrnunar og hitabreytinga og hins vegar í vettvangsferðum, þar sem langar brýr án þensluraufa eru skoðaðar m.t.t. þess hvort upp hafi komið einhverjir óheppilegir gallar - ástandsgreining.

Rétt er að taka fram, að misbrýningu á brúargólfi og vegfyllingu er víða að finna í vegakerfinu og á ekki sérstaklega við þær brýr, sem eru til skoðunar..

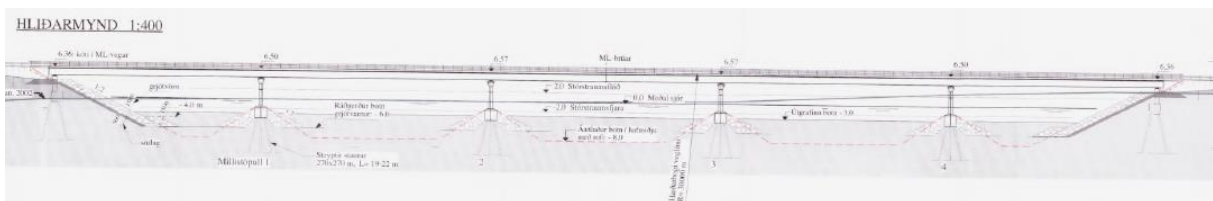
Skrið og rýrnun voru reiknuð skv. [fib Bulletin 65, Model Code 2010, Final draft^{3\)}](#) og hitabreytingar skv. [ÍST EN 1991-1-5:2003 / NA:2010^{4\)}](#). Þrjár brýr voru skoðaðar, þ.e. Brú á Múlakvísl byggð 2014, brú á Kolgrafarfjörð byggð 2004 og brú á Hvítá hjá Bræðratungu byggð 2010.

2 Vettvangsferðir og útreikningar

2.1 Brú á Kolgrafarfjörð í vegi 54 Snæfellsnesi

2.1.0 Almenn

Brúin var byggð 2004 og lengdin er 230 m.

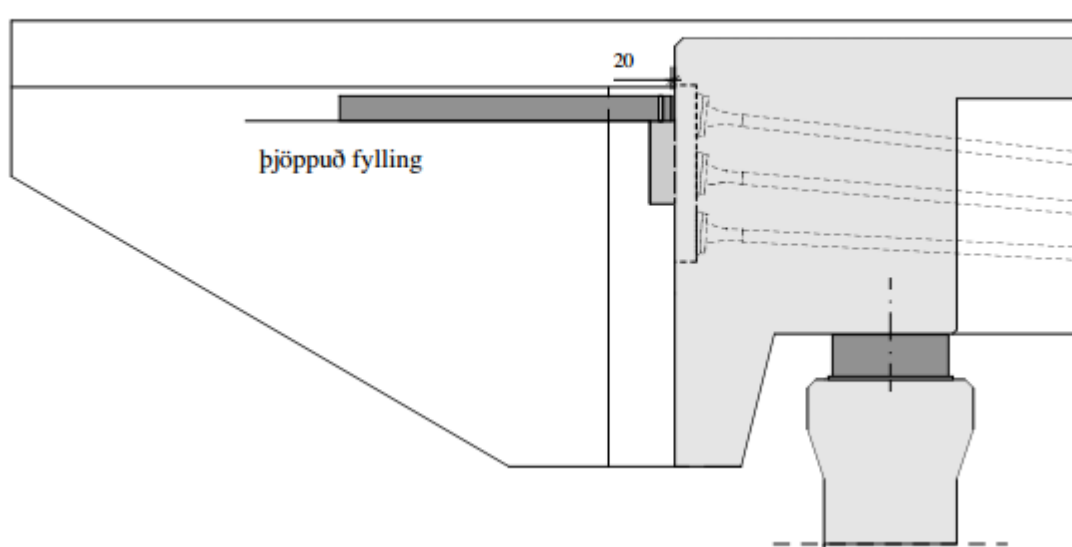


Mynd 2 – yfirlitsmynd úr teikningasafni brúarinnar



Mynd 3 – ljósmynd úr gagnabanka Vegagerðarinnar

SNIÐ B-B



Mynd 4 – endabiti. Úr teikningasafni brúarinnar

Mesta hæð endabita fyrir miðri brú er 2.650 mm, þ.e. biti ásamt niðurhengdum bita. Lengd siglplatna er 2,0 m og þykkt þeirra 100 mm.

2.1.1 Vettvangsferð

Farið var á vettvang 20/8 2015 og myndirnar hér á eftir teknar þá:



Mynd 5 – yfirborð við austurenda



Mynd 6 – yfirborð við vesturenda



Mynd 7 – yfirborð við austurenda



Mynd 8 – yfirborð við austurenda



Mynd 9 – lega við austurenda



Mynd 10 – lega við vesturenda



Myndirnar bera með sér að vegna samdráttar brúarinnar hefur verið gert við slitlagsyfirborðið og að engar misfellur var að sjá í því í vettvangsferðinni sem máli skipta.

Jón H. Helgason á Vestursvæði Vegagerðarinnar kannaði hvaða lagfæringar hafi þurft að gera í gegnum árin við brúarendana, en þær hafa verið minniháttar, svo sem að fylla í hjólför og dældir. Það hefur því ekki skapast þörf á tiltölulega róttækum aðgerðum eins og að fjarlægja yfirlagið og endurleggja. [Myndir 5 – 8](#) bera með sér að ástandið var ágætt í sumar.

Hliðfærsla leganna var ekki mæld á staðnum, en með því að hlutfalla út frá þekktum stærðum á myndunum m.a. [Myndum 9 og 10](#) gæti hún verið ~ 80 mm.

2.1.2 Rýrnun, skrið og hitabreytingar

Eins og komið hefur fram hér að framan var skrið og rýrnun reiknuð skv. [fib Bulletin 65, Model Code 2010, Final draft](#)³⁾ og hitabreytingar skv. [ÍST EN 1991-1-5:2003 / NA:2010](#)⁴⁾. Hitastigsgildin -28°C eru skv. staðlinum, þ.e. $(5^{\circ}\text{C} + (-23^{\circ}\text{C}))$, en í því felst að upphafshitinn er metinn 5°C, en engin gögn liggja fyrir um hvort svo hafi verið í þessu tilviki. Niðurstöður í mm sem fall af tíma er að finna í [Töflu 1](#).

Orsök		~1 ár	~5 ár	~10 ár	~20 ár	~30 ár	~50 ár	~100 ár
samdr.	60 dagar	360 dagar	1800 dagar	3600 dagar	7200 dagar	10.800 dagar	18.000 dagar	36.000 dagar
Rýrnun	-18	-31	-49	-60	-72	-79	-87	-95
Skrið	-33	-54	-69	-75	-81	-84	-87	-92
Hitalækkun	-64	-64	-64	-64	-64	-64	-64	-64
	-116	-149	-183	-200	-217	-227	-239	-252

Tafla 1 – útreikningar á skriði, rýrnun og samdrætti vegna hitalækkunar í mm

Í ágúst 2015 var brúin ~ 11 ára gömul. Meðalhitastig, hámarkshiti og lágmarkshiti í ágúst á nálægum veðurathugunarstöðvum, þegar hún var skoðuð skv. Veðurstofu Íslands, sjá [Töflu 2](#):

Stöð	Ár	Mánuður	Meðal hiti °C	Hámarkshiti °C	Lágmarkshiti °C
Kolgrafarfjarðarbrú	2015	Ágúst	9,42	15,8	3,8
Búlandshöfði	2015	Ágúst	9,31	17,9	4,9

Tafla 2 – hitastig í ágúst skv. tveimur veðurstöðvum

Með því að brúa rýrnun og skrið í [Töflu 1](#) fyrir 11 ár fæst:

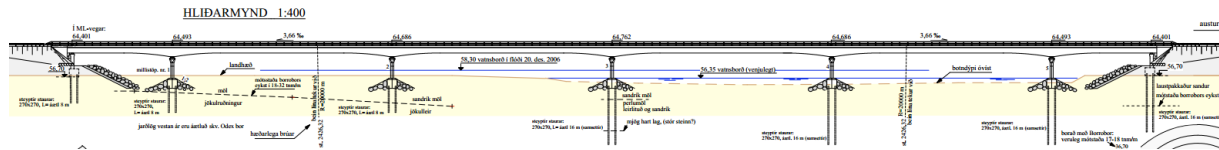
11 ára rýrnun og skrið ~ 137 mm, sem er heldur minni færsla en áætluð var út frá þekktum stærðum á myndunum hér að framan (~160 mm). Byggingaraðferðin og hvenær slitlag var lagt leiðir til þess að hluti rýrnunar og skriðs kemur ekki fram, sjá gr. 3.1.

Líkur á -23°C frosti (50 ára frosti) eru ekki miklar og ef það kemur mun það vara stutt, það er frekar spurning um áhrif venjulegra, algengra árstíðabundinna hitasveifla.

2.2 Brú á Hvítá hjá Bræðratungu í vegi 359

2.2.0 Almenn

Brúin var byggð 2010 og lengdin er 272.6 m.

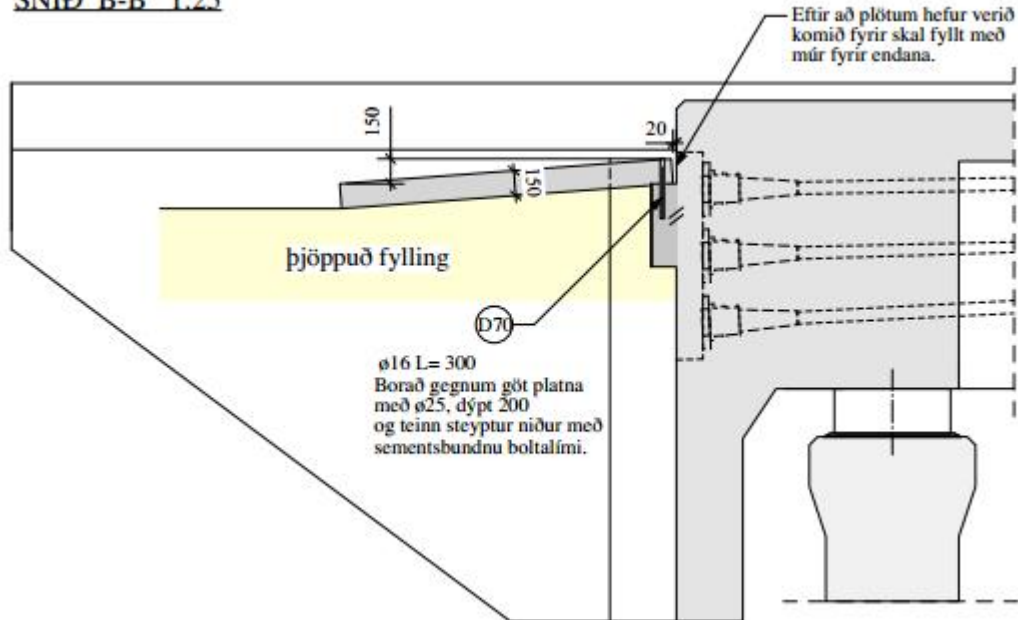


Mynd 11 – yfirlitsmynd úr teikningasafni brúarinnar



Mynd 12 – BPP tók myndina í maí 2011

SNIÐ B-B 1:25



Mynd 13 – endabiti. Úr teikningasafni brúarinnar

Mesta hæð endabita fyrir miðri brú er 3.200 mm, þ.e. biti ásamt niðrhengdum bita. Lengd siglatta er 2,0 m og þykkt þeirra 150 mm.

2.2.1 Vettvangsferð

Farið var á vettvang 9 og 29/5 2015 og myndirnar hér á eftir teknar þá:



Mynd 14 – yfirborð slitlags við austurenda brúar



Mynd 15 – yfirborð slitlags við vesturenda brúar



Mynd 16 – við vesturenda

Mynd 14 og 15 sýna nokkuð sig slitlagsins, sem er að svo komnu máli meira áberandi við austurendann og skýrist af því hvernig staðið var að framkvæmdinni, sjá gr. 3.1. Vegfarandi, sem á oft erindi þarna um telur að sigið að austanverðu hafi orðið sérstaklega áberandi í vetur og jafnvel varasamt, þegar snjór var í dældinni og ísing á brúaryfirborðinu.



Mynd 17 - við austurenda



Mynd 18 – lega undir vesturenda



Mynd 19 – lega undir austurenda

Hliðarfærsla leganna var mæld á staðnum og reyndist á bilinu 50 – 60 mm.

2.2.2 Rýrnun, skrið og hitabreytingar

Skrið, rýrnun og færslur vegna hitabreytinga voru reiknaðar með sama hætti og áður og niðurstöðurnar í mm er að finna í [Töflu 3](#):

Orsök		~1 ár	~5 ár	~10 ár	~20 ár	~30 ár	~50 ár	~100 ár
samdr.	60 dagar	360 dagar	1800 dagar	3600 dagar	7200 dagar	10.800 dagar	18.000 dagar	36.000 dagar
Rýrnun	-23	-40	-65	-81	-98	-108	-119	-130
Skrið	-33	-54	-70	-76	-81	-84	-88	-93
Hitalækkun	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-76	-76
	-132	-170	-212	-233	-256	-268	-283	-299

Tafla 3 – útreikningur á skriði, rýrnun og samdrætti vegna hitalækkunar í mm



Í ágúst 2015 var brúin ~ 5 ára gömul. Meðalhitastig, hámarkshiti og lágmarkshiti í maí á nálægum veðurathugunarstöðvum, þegar hún var skoðuð skv. Veðurstofu Íslands, sjá Töflu 4:

Stöð	Ár	Mánuður	Meðal hiti °C	Hámarkshiti °C	Lágmarkshiti °C
Hjarðarland	2015	Maí	3,63	12,1	-8,3
Arnes	2015	Maí	3,87	13,2	-10,6

Tafla 4 – hitastig í maí skv. tveimur veðurathugunarstöðvum

Eins og áður liggja ekki fyrir gögn um upphafshita brúarinnar, og hitastig skv. ÍST EN 1991-1-5:2004 / NA:2010⁴⁾ því notað eins og áður.

Rýrnun og skrið að 5 árum liðnum skv. Töflu 3:

5 ára rýrnun og skrið ~ 129 mm, sem er heldur meiri færsla en mældist á staðnum, en hafa verður í huga að hluti skriðs og rýrnunar kemur ekki fram vegna byggingaraðferðarinnar og að slitlagið var lagt rúmu 1,5 ári eftir steypu fyrri áfanga sbr. gr. 3.1.

2.2.3 Mælingar á vegfirborð

Mælt var á vegfirborðið við báða brúarenda í miðjum akreinum í 6 m fjarlægð frá þeim.

Mæling á vegfirborð við vesturenda brúar, Tafla 5:

Miðja vinstri akreinar við vestur enda, horft til austurs													
Aðgerð í línu	Hæðir og hæðarmismunur í mm												
Mæld hæð í mm	0	10	-5	-15	-25	-28	-25	-30	-35	-40	-45	-45	-50
Áætluð rétt hæð í mm	0	-4	-8	-13	-17	-21	-25	-29	-33	-38	-42	-46	-50
Frávik frá réttri hæð	0	14	3	-3	-8	-7	0	-1	-2	-3	-3	1	0
Miðja hægri akreinar við vestur enda, horft til austurs													
Mæld hæð í mm	0	10	-10	-25	-40	-38	-42	-50	-55	-52	-50	-52	-55
Áætluð rétt hæð í mm	0	-5	-9	-14	-18	-23	-28	-32	-37	-41	-46	-50	-55
Frávik frá réttri hæð	0	15	-1	-11	-22	-15	-15	-18	-18	-11	-4	-2	0
Lengd frá brúarenda í m	0,00	0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00

Tafla 5 – mæling á vegfirborð við vestur enda brúar

Mæling á vegfirborð við austurenda brúar, Tafla 6:

Miðja vinstri akreinar við austur enda, horft til austurs															
Aðgerð í línu	Hæðir og hæðarmismunur í mm														
Mæld hæð í mm	0	17	10	-10	-29	-40	-43	-17	-8	-10	-10	-9	-13	-21	-25
Áætluð rétt hæð í mm	0	-1	-2	-4	-6	-8	-9	-10	-13	-15	-17	-19	-21	-23	-25
Frávik frá réttri hæð	0	18	12	-6	-23	-32	-34	-7	5	5	7	10	8	2	0
Miðja hægri akreinar við austur enda, horft til austurs															
Mæld hæð í mm	0	0	10	-7	-20	-40	-45	-36	-27	-24	-19	-23	-27	-33	-37
Áætluð rétt hæð í mm	0	-1	-3	-6	-9	-12	-13	-15	-19	-22	-25	-28	-31	-34	-37
Frávik frá réttri hæð	0	1	13	-1	-11	-28	-32	-21	-9	-2	6	5	4	1	0
Lengd frá brúarenda í m	0,00	0,15	0,50	1,00	1,50	2,00	2,12	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00

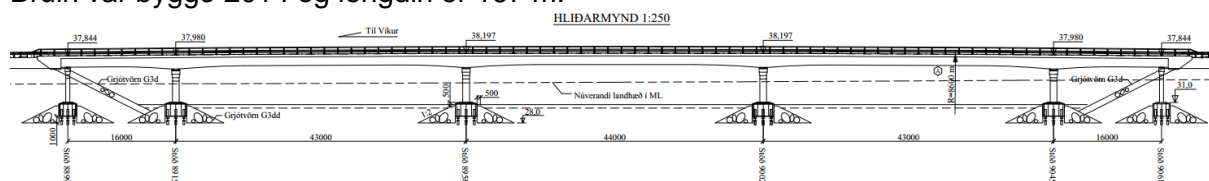
Tafla 6 – mæling á vegfirborð við austur enda brúar

Ef Mynd 14 frá austurenda er skoðuð má sjá, að ef mællína hægri akreinar hefði verið utar hefðu gildi verið hærri. Athygli er vakin á því, að frávikin eru eðlilega mest við enda 2 m löngu sigplatnanna. Stærð frávika næst brúarenda liggur í því, að sigplötturnar eru festar við brúna og þegar hún styttist af völdum rýrnunar og skriðs eða lengist og styttist til skiptis af völdum hitasveifla, þá fylgja sigplötturnar með, en fyllingin a.m.k. síður og umferðin þjappar henni síðan niður og það fyllist a.m.k. að hluta til upp í bil sem hefði annars myndast.

2.3 Brú á Múlakvísl í vegi 1-b2

2.3.0 Almennt

Brúin var byggð 2014 og lengdin er 167 m.



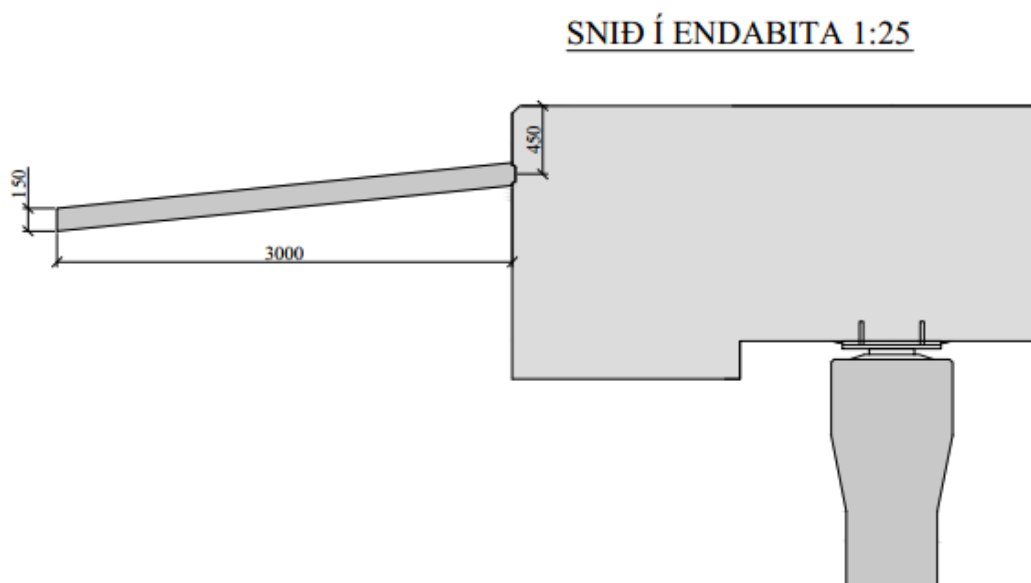
Mynd 20 – yfirlitsmynd úr teikningasafni brúarinnar



Mynd 21 – EMM tók myndina í ágúst 2015



Mynd 22 – EMM tók myndina 06.08.2014



Mynd 23 – endabiti úr teikningasafni brúarinnar

Hæð endabita er 1.550 mm, lengd og þykkt siglætna skv. Mynd 23.

2.3.1 Vettvangsferð

Farið var á vettvang 17/7 2015 og myndirnar hér á eftir teknar þá.



Mynd 24 – yfirborð slitlags við vesturenda brúarinnar



Mynd 25 – yfirborð slitlags við vesturenda brúarinnar



Mynd 26 – yfirborð slitlags við austurenda brúarinnar

Myndir 24, 25 og 26 bera með sér að yfirborðið sé án misfella að svo komnu máli a.m.k.



Í þessu tilviki var ekkert aðgengilegt viðmið tiltækt svo sem við legur á landstöpli til þess að mæla færslu brúarinnar í langátt hennar.

2.3.2 Rýrnun, skrið og hitabreytingar

Skrið, rýrnun og færslur vegna hitabreytinga voru reiknaðar með sama hætti og áður og niðurstöðurnar í mm er að finna í [Töflu 7](#):

Orsök		~1 ár	~5 ár	~10 ár	~20 ár	~30 ár	~50 ár	~100 ár
samdr.	60 dagar	360 dagar	1800 dagar	3600 dagar	7200 dagar	10.800 dagar	18.000 dagar	36.000 dagar
Rýrnun	-13	-24	-38	-48	-58	-64	-71	-78
Skrið	-25	-41	-53	-57	-62	-64	-67	-71
Hitalækkun	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47	-47
	-86	-111	-138	-152	-166	-175	-184	-196

Tafla 7 – útreikningur á skriði, rýrnun og samdrætti vegna hitalækkunar í mm

Í júlí 2015 var brúin liðlega 1 árs gömul. Meðalhitastig, hámarkshiti og lágmarkshiti í júlí á nálægri veðurathugunarstöð, þegar hún var skoðuð skv. Veðurstofu Íslands, sjá [Töflu 8](#):

Stöð	Ár	Mánuður	Meðal hiti °C	Hámarkshiti °C	Lágmarkshiti °C
Kirkjubæjarklaustur	2015	Júlí	9,81	16,1	4,8

Tafla 8 – hitastig í júlí

Eins og áður liggja ekki fyrir gögn um upphafshita brúarinnar, og hitatala skv. [ÍST EN 1991-1-5:2004 / NA:2010^{4\)}](#) var notuð eins og áður.

Rýrnun og skrið að 1 ári liðnu skv. dálki 2 [Töflu 7](#):

1 árs rýrnun og skrið ~ 65 mm.



3 Framkvæmdin

3.0 Almenn

Rýrnun steypunnar hefst nánast strax og steypuvinnu er lokið, en skriðið að uppspennu lokinni. Framkvæmdaröðin eða hvernig staðið er að framkvæmdinni nánar kann að skipta máli varðandi sig / hreyfingu fyllingar við landstöpla, hugsanlega er hluti rýrnunar og skriðs kominn fram áður en fyllt er að brúarendum eða slitlög lögð og því rétt að skoða þann þátt í þeim þremur brúm, sem hér eru til skoðunar.

Í sumum tilvikum er fyllt upp undir neðri brún yfirbyggingar og slegið upp fyrir brúnni á fyllingunni og hún steyp á þurru. Fyllt er að landstöplunum í þeirri aðgerð.

Í öðrum tilvikum er slegið upp mótum t.d. yfir árfarveg og síðan fyllt að landstöplunum áður en vinna við ídrátt kapla og grautun hefst. Þá er fyllt upp í þægilega vinnuhæð vegna þeirrar vinnu. Síðast en ekki síst, þá er áfangaskipting hugsanleg svo sem reyndin var með tvær þeirra brúa, sem skoðaðar voru sérstaklega.

Sig við landstöpla getur einnig stafað af öðrum ástæðum, þ.e. ófullnægjandi þjöppun við landstöpla á byggingastigi, útskolun eða botnrofi á seinni stigum án þess að nánari sé farið út í það hér.

3.1 Framkvæmdin við þær brýr sem eru til skoðunar

Brú á Kolgrafarfjörð:

Brúin var steyp í tveimur áföngum á fyllingu. Skv. upplýsingum frá Ingva Árnasyni svæðisstjóra Vestursvæðis voru dagsetningar steypu- og uppspennuáfanga brúarinnar eftirfarandi:

Fyrri áfangi brúarinnar (~67% hennar) var steypur 7 – 8/12 2003 og sá hluti spenntur 10 dögum seinna eða 17/12.

Seinni áfanginn var steypur 15 – 16/2 2004 og sá hluti spenntur 25/2 2004.

Áfangarnir eru spenntir saman og hluti fyrri áfanga eða samspennuhluti fyrri áfanga hefur þá verið spenntur með síðari áfanganum 25/2 2004.

Ingvi upplýsti einnig, að fyrri lag klæðningar hafi verið lagt á veginn um brúna um mánaðarmótin nóvember / desember 2004 og síðara lagið í júní 2005.

Á þessu tímabili rýrnar og skriður brúin og fyllingin fylgir með, sígur og / eða þjappast af völdum umferðarinnar. Það er væntanlega er ekki óvarlegt að draga þá ályktun, að gert hafi verið við það sig sem myndast hafði þegar fyrri slitlagið er lagt eða um ári eftir að fyrri áfanginn er steypur. Með lögn síðara slitlagsins um 1,5 ári eftir að fyrri áfanginn var steypur hafa lagfæringar einnig verið mögulegar. Við þetta bætast lagfæringar þær í slitlaginu, sem Jón Helgi upplýsti um sbr. gr. 2.1.1.

Það má e.t.v. álykta að við það að lögn neðra slitlagsins dróst í ár hafi verið gert við sig sem kann að hafa komið fram af völdum 1 árs samdráttar eða samtals 85 mm skv. **Töflu 1** (31 mm rýrnun og 54 mm skrið). Við það bætast hugsanlegar lagfæringar þegar seinna slitlagið er lagt um hálfu ári síðar. Til samanburðar er heildar rýrnun og skrið að 11 árum liðnum ~137 mm skv. gr. 2.1.2.

Dráttur á lögn neðra slitlagsins og síðan efra slitlagsins ásamt síðari viðgerð skýrir a.m.k. að hluta til, að engar eða litlar misfellur var að sjá í yfirborði vegarins, þegar brúin var skoðuð.

Brú á Hvítá við Bræðratungu:

Brúin var steyppt á fyllingu í tveimur áföngum sbr. [Mynd 27](#) og milli áfanganna eru ~10 mánuðir. Fyrri áfanginn var steypptur 6/11 2009 og sá síðari 9/9 2010. Kaplar fyrri áfanga voru spenntir 11 og 12/11 2009 og grautað í ídráttarrörin 19/11 2009. Síðari áfanginn ásamt tengihluta áfanganna hefur að líkindum verið spenntur um 7 – 14 dögum eftir að steyppt var. Við þetta bætist að slitlagið virðist hafa verið lagt í júní 2011 skv. myndum frá framkvæmdatíma að dæma og reikna má með að umferð hafi þjappað fyllinguna að brúarendunum (brúin rýrnar og skriður og fyllingin fylgir með, sig myndast) og fyllt hafi verið upp í hugsanlegt sig sem hafði myndast áður en slitlagið var lagt.

Vestari áfanginn hefur því rýrnað og skriðið í ~10 mánuði áður en brúin varð ein samhangandi heild og það skýrir hvers vegna sigið er meira að austanverðu en vestanverðu, sjá [Töflur 5 og 6](#) og [Myndir 14 og 15](#). Hluti rýrnunar og skriðs kemur því ekki fram við endanlega brúarenda bæði af þessari ástæðu og vegna þess að slitlagið er lagt um 6 mánuðum eftir að síðar áfanginn var steypptur.

Skv. [Töflu 3](#) er árs skrið og rýrnun allrar brúarinnar (40+54) mm og það liðu ~ 10 mánuðir milli steypuáfanganna. Ef lengd fyrri áfanga brúarinnar er ~ 57 % lengdar hennar koma $\sim (40+54) * 0,57 * 10/12 * 0,5 = 24$ mm skriðs og rýrnunar ekki fram því steyppt er upp að enda fyrsta áfanga eins og í Kolgrafarfirði, sjá [Mynd 27](#). Eins og fram kemur á [Mynd 27](#) var fyllt að vesturenda brúarinnar og hún notuð sem vinnuvegur að seinni áfanganum. Skrið og rýrnun fyrstu 10 mánaðanna kemur því líklega ekki fram þar heldur, þ.e. veldur ekki sigi í fyllingunni. Við þetta bætist skrið og rýrnun á tímabilinu eftir að áfangarnir voru steypptir saman og áður en fyllt var að endunum, burðarlög lögð og áhrif þess að slitlag er lagt um 6 mánuðum síðar. Það má fá hugmynd um stærð skriðs og rýrnunar á þessu tímabili úr 2. dálki (1 árs skrið og rýrnun) [Töflu 3](#), sem er e.t.v. samtals á bilinu 40 – 60 mm.



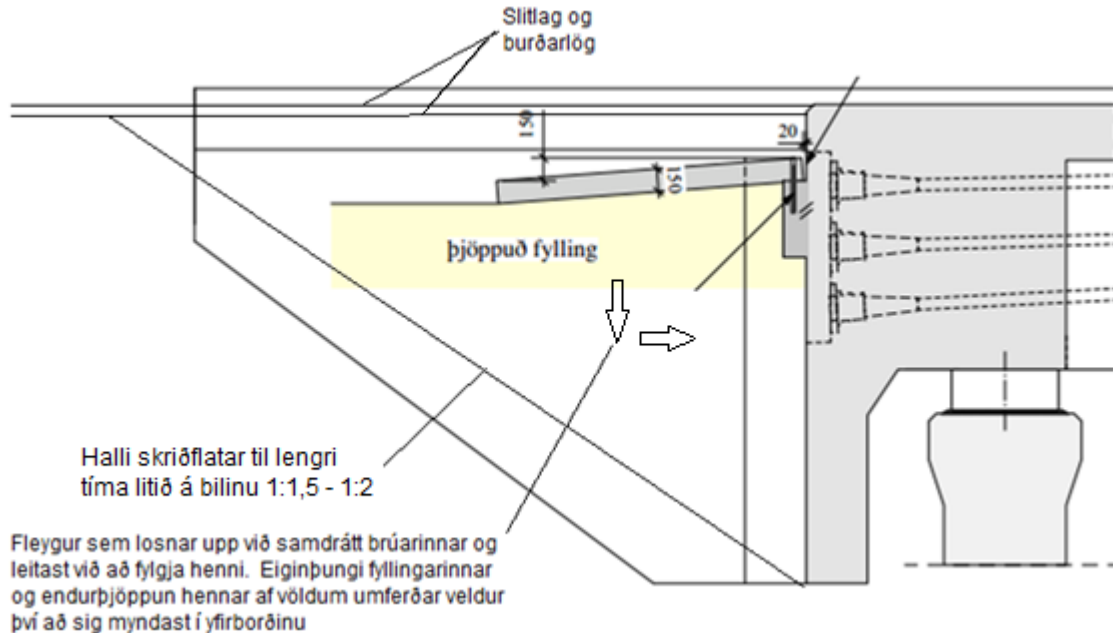
Mynd 27 – BPP tók myndina ágúst 2010

Brú á Múlakvísl:

Í þessu tilviki var fyllt upp undir brúargólfið eins og að framan er lýst og brún steyppt í einu lagi og í framhaldinu spennt og grautað. Eftirlitið með framkvæmdinni tók mikið af myndum og eftir þeim að dæma var brúin steyppt 23/5, spennt um 10/6 og búið að fylla undir og steypa sigplötur um 26/6. Skv. því hefur brúin lítið náð að rýrna og skíða áður en fyllt var að yfirbyggingunni.

4 Svörun fyllingar við hreyfingu brúar

Fyllingin er viðnámsefni og það sem gerist við samdrátt brúarinnar er í raun það sama og þegar stoðveggur skrikar undan fyllingu, sjá [Mynd 28](#).



Mynd 28 – Gróf lýsing á ferlinu

Hluti fyllingarinnar sem skriður fram er fleygurinn sem afmarkast af bitabotninum og skriðfletinum með áætlaðan halla til lengri tíma á bilinu 1:1,5 – 1:2. Fyllingin svarar samdrætti brúarinnar hægt háð ýmsum þáttum svo sem viðnámshorni fyllingarinnar, breytileika þess, þjöppun, umferðinni (ÁDU) og samsetningu (hlutfalli þunga bifreiða) hennar, en hún virkar í reynd eins og titurvaltari. Slitlagið fylgir óhjákvæmilega með og á [Mynd 14](#) sést að sigið er mismikið við eystri enda Hvítárbrúar háð áður nefndum breytum.

Þetta má einnig sjá fyrir sér með afar einfölduðu dæmi, þ.e. hugsa sér seigfljótandi vökva í stað fyllingarinnar í íláti með 4 hliðar. Ljóst er, að ef ein hliðin flyst til, þá lækkar yfirborðið. Því nærri sem hliðin er sem flyst til því meiri verður yfirborðslækkunin.

Ef siglata á að geta komið í veg fyrir umrætt sig þarf hún bæði að vera berandi og ná nægilega langt aftur eða vel út á burðarhæfan flöt svæðisins utan áður nefnds fleygs, sem er líklega almennt óraunhæft nema brúin sé ekki mjög löng og hæð endabita lítil. Sjá brot fyrir aftan siglötun í [Mynd 15](#).

Hitabreytingar virka bæði til tímabundinna lenginga og styttinga á brúnum. Kæling niður fyrir upphafshitann veldur samdrætti sem fyllingin svarar með sama hætti og samdrætti af völdum rýrnunar og skriðs. Þegar brúin hitnar upp fyrir upphafshitann þenst hún út og þjappar til að byrja með fyllingunni saman sem hafði elt hana, ef svo mætti að orði komast, en að því kemur að fyllingin veltist upp og / eða ýtist til hliðar sbr. það sem gerist fyrir framan ýtutönn. Þennan þátt verður að telja nokkuð ófyrirséðan eða óútreiknanlegan. Hér er umtalsverðar endurteknar hreyfingar að ræða þó aðeins sé miðað við 12°C frost, þ.e. 5°C – (-12°C) = 17°C, og 12°C hita, þ.e. 15°C – 5°C = 10°, sjá [Töflu 9](#):



Brú	Stytting	Lenging
Kolgrafarfjörður, 230 m	~39	~23
Hvítá, 272,6 m	~46	~27
Múlakvísl, 167 m	~28	~17

Tafla 9 – dæmi um styttingu og lengingu brúa af völdum hitabreytinga



5 Takmarkandi þættir og mótvægisaðgerðir

Aksturseiginleikar:

Í hönnun er stefnt er að því að aksturseiginleikar yfir brýr séu þeir sömu og í veginum sjálfum, en í því felst að frávik frá réttum ferli við brúarenda verða að vera innan þeirra marka, sem sett eru veginum sjálfum. Að öðrum kosti þarf að taka niður hraðann yfir brýrnar. Vegfarandi gengur væntanlega út frá því nema svo sé gert, að honum sé óhætt að halda óbreyttum hraða yfir þær. Þetta má orða þannig, að lausn vegar og brúar þurfi að vera hugsuð heildstætt m.t.t. aksturseiginleika.

Varmageymd brúarsniðsins er að jafnaði mun minni en vegkroppsins, þannig að það myndast mun fyrr hálsa inn á brúnni en í veginum. Ef ójöfnur eru framan við brú og bifreið byrjar að rása þar gæti ökumanni reynst erfitt að ná stjórn á bifreiðinni, þegar hann kemur inn á brúna, sjá umsögn vegfarenda í gr. 2.2.1. Í þessu felst, að það er mikilvægt að aksturseiginleikar vegar að brúm séu í sama flokki og í veginum sjálfum.

Mótvægisaðgerðir:

Þensluraufar:

Vel hönnuð þenslurauf ætti að geta tryggt viðunandi aksturseiginleika yfir brýrnar, þó þær séu langar. Í upphafi kom fram, að af þeim hlýst annars vegar stofnkostnaður og hins vegar viðhaldskostnaður auk þess að þeim fylgir hávaði. Þetta er það sem veldur því, að æskilegt er að hafa brýr eins langar og skynsamlegt er án þensluraufa. Þensluraufar hafa hins vegar þróast með tímanum og þá líklega til lengri endingar, minna viðhalds og að fljótlegra sé að skipta út slithlutum svo sem þéttingum.

Til þess að gefa aðeins tilfinningu fyrir kostnaði vegna þenslulista nam tilboð vegna 2 * 11 m langs þenslulista, sem leyfir 80 mm færslu, þ.e. þenslulistinn sjálfur, 336.600 Nkr.

Skv. myndbandi er fljótlegt að skipta slithlutanum, þ.e. gúmmíinu í þessari gerð lista út.

Sigplötur:

Sigplötur þurfa ávallt að vera til staðar, en ef endabitar eru háir og brýrnar langar koma þær ekki í veg fyrir sig sbr. gr. 4. Í gr. 4.4.3 í [Reglum um hönnun brúa^{5\)}](#) eru ákvæði um sigplötur og þar segir að í vegum með hámarkshraða ≥ 50 km/klst. skuli lengd sigplatna vera $\geq 3,0$ m og í gr. 4.4.3.2 segir að þær skuli lengja umfram 3,0 m í brúm án þensluraufa og eru lengri en 100 m. Þykkt þeirra skal hanna fyrir umferðarálag sbr. gr. 7.6.6. í [Reglum um hönnun brúa^{5\)}](#).

Reglubundnar viðgerðir:

Annar kostur er að fylgjast vel með vegyfirborðinu framan brúnna og grípa til viðeigandi aðgerða tímanlega sem geta falist í að leggja slitlag í skálar, för eða bylgjur eða taka upp slitlagið staðbundið og endunýja það. Eins og fram kemur í [Töflum 1, 3 og 7](#) heldur rýrnun og skrið brúanna áfram yfir hönnunarlíftíma þeirra (100 ár), þannig að ráðlegt er að skoða ástand vegyfirborðs við enda þeirra árlega og bregðast við með viðeigandi hætti, ef ójöfnur hafa myndast.



6 Hámarks lengd brúa án þenslufúga

6.0 Almenn

Markmiðið er að brúin ásamt brúarendum sé þannig leyst horft til 100 ára hönnunarlíftíma hennar að aksturseignleikar séu þeir sömu og vegarins og lausnin sé heildstæð.

6.1 Brýrnar sem hafa verið skoðaðar

Brú á Kolgrafarfjörð:

Brúarlengdin er 230 m, mesta hæð endabita er 2,65 m, lengd sigplatna 2,0 m og þykktin 100 mm. Þar hafa verið framkvæmdar minni háttar viðgerðir að sögn Jóns H. Helgasonar og þegar brúin var skoðuð í ágúst voru enga hnökra sem máli skiptu að finna við brúarendana eins og áður segir. Heildarrýrnun að 11 árum liðnum ætti skv. gr. 2.1.2 að vera ~ 137 mm og í gr. 3.1 eru færð rök fyrir því, að þar af komi sig vegna 85 mm samdráttar brúarinnar á byggingastigi og þar til slitlag var lagt á veginn líklega ekki fram. Í ljósi hæðar endabita og lengdar burðarlítilla sigplatna ætti sig af völdum mismunar áðurnefndra samdráttartalna eða $137 - 85 = 52$ mm að koma fram. Mjúkir bogar eru kannski ekki mjög sýnilegir á staðnum eða á myndum, en mætti hugsanlega greina með mælingum. Aðrar hugsanlegar skýringar eru e.t.v. tiltölulega lítil umferð og hvort viðnáms horn fyllingar hafi e.t.v. verið í hærra lagi.

Brú á Hvítá hjá Bræðratungu:

Brúarlengdin er 272,6 m, mesta hæð endabita 3,2 m og lengd sigplatna 2,0 m og þykktin 150 mm. Sig er við báða enda, sjá [Töflur 5 og 6](#), og hér að framan hefur verið rökstutt hvers vegna það er meira við austurendann. Þegar horft er til hæðar endabita, lengdar sigplatna og samdráttar skv. dálki 3 í [Töflu 3](#) (rýrnun 65 mm, skrið 70 mm), sem hugsanlega má draga frá 40 – 60 mm sbr. rökstuðning í gr. 3.1, virðist sigið ([Töflur 5 og 6](#)) vera nokkuð í samræmi við það sem búast má við.

Brú á Múlakvísl:

Brúarlengdin er 167 m, endabitahæðin 1,55 m, sigplötulengdin 3,0 m og þykkt þeirra 150 mm. Þegar brúin var skoðuð í júlí var hvorki að sjá sig eða sprungur við endana. Bitahæðin er lítil og það ræðst af því hvort halli skriðflata er 1:1,5 (lárétt lengd $1,5 * 1,55 = 2,32$ m) eða 1:2 (lárétt lengd $2 * 1,55 = 3,1$ m), hvort 3 m langar sigplötur ná nægilega langt út fyrir skriðflötinn, þannig að undirstaðan sé traust. Þær eru hins vegar þunnar og geta líklega ekki borið umferðaralagið til lengri tíma yfir brotasvæðið. Skv. dálki 2 í [Töflu 5](#) er samdrátturinn (rýrnun 24 mm, skrið 41 mm) og að þar sem búið var að leggja sigplötur rúmum hálfum mánuði eftir uppspennu hennar sbr. gr. 3.1 hefur samdráttur brúarinnar verið hverfandi áður en fyllt var að henni. Að svo komnu máli er ekki óvænt að sig hafi ekki komið fram, en hins vegar hefði mátt reikna með sprungum milli slitlags yfir sigplötum og yfirbyggingar.



6.2 Til umhugsunar og nánari skoðunar - brúarlengd án penslufúga

Markmiðið er að aksturseiginleikar yfir brýr séu þeir sömu og í aðlægum vegi og lausnirnar þarf að hugsa út frá því og lausnin þarf að vera heildstæð fyrir veg og brú.

Í ljósi þeirra athugana sem voru gerðar og samanburði á núverandi yfirborði við brúarenda á Brú á Kolgrafarfjörð og Hvítá við Bræðratungu virðist e.t.v. mega draga þá augljósu ályktun að framkvæmdahraðinn skipti umtalsverðu máli. Eftir því sem það dregst að ganga frá endanlegu vegyfirborði við brúarenda þeim mun meiri rýrnun og skriði hefur náð að koma fram þegar að því kemur og sig fyllingarinnar verður minna eftir að brúin fer í notkun.

Hægt er að hugsa sér einfalt viðmið fyrir hámarks lengd brúa án penslufúga á sama hátt og Norðmenn sbr. gr. 1, en þar sem hitasveiflur eru ekki eins miklar hér á landi má setja markið aðeins hærra t.d. við 120 m.

Þegar lengdin er meiri en 120 m skipta útreikningar á skriði, rýrnun og samdrætti sem og lengdarbreytingar vegna árstíðabundinna hitasveifla ásamt hæð yfirbyggingar og öðrum atriðum, sem nefnd hafa verið hér að framan verulegu máli. Inn í þá mynd kemur byggingahraðinn, þ.e. tíminn frá uppsteypu og þar til endanlegt vegyfirborð er frágengið.

Niðurstaðan væri að fyrir lægi rökstutt heildarmat á aðstæðum m.t.t. hugsanlegs sigs, sem er forsenda ákvörðunar um hver lausnin er í hverju tilviki.

Hægt er að hugsa sér lausn sem felst í penslufúgu, en einnig kemur til álita að fylgjast vel með mannvirkinu og lagfæra nánast jafnóðum og hnökror koma upp, en hætt er við að það misfarist.

Hafa verður í huga aukinn ferðamannastraum og aukna umferð manna, sem þekkja ekki aðstæður og ganga út frá að aksturseiginleikar séu þeir sömu hvort sem ekið er á vegi eða brú.

Kostnaður felst í báðum lausnum, en penslufúgulausnin er að líkindum betri, jafnvel mun betri m.t.t. umferðaröryggis og að því gefnu að viðhald hennar sé reglulegt.

Sigplötur eru hluti af lausninni í öllum tilvikum, sjá gr. 5 hér að framan og ef þær eru nægilega langar (ná út fyrir skriðflötinn) geta þær að ákveðnu marki komið í veg fyrir þá annmarka sem koma upp.

Eins og fram kemur í gr. 3.0 getur sig við landstöpla stafað af öðrum ástæðum en rýrnun, skriði og hitabreytingum, sem hér hafa verið til umfjöllunar. Horfa þarf heildstætt á hættu á sigi af völdum mismunandi þátta í hverri brú og meta umfang nauðsynlegs eftirlits við landstöpla í því ljósi.

Eftirfylgni:

Óháð því hvað lausn er valin er skynsamlegt að fara á vettvang t.d. fyrst eftir 2 ár frá því mannvirkið var tekið í notkun til þess að skoða og skrá hvernig til hefur tekist, þannig að unnt verði að læra af reynslunni og bregðast við, ef eitthvað hefur farið úrskeiðis.



Niðurstaðan er samandregin í **Töflu 10** hér á eftir:

Samdregin niðurstaða til íhugunar:

Lengd brúar	Hreyfinguleikar	Þensluraufar	Aðgerðir
$L \leq 120$ m	Báðir endar fríir	Án þensluraufa	Sig getur orðið við brúarenda af öðrum ástæðum en vegna rýrnunar, skriðs og hitabreytinga. Fylgjast þarf almennt með hvort sig verður við landstöplana hver sem ástæða þeirra er og grípa til ráðstafana í tíma
$120 \leq L \leq 240$ m	Heildar mat unnið sem er forsenda og rökstuðningur ákvörðunar um hvaða lausn er valin		
$120 \leq L \leq 240$ m	Báðir endar fríir	Þenslurauf í báðum endum ákveðnar á forsendum heildarmats	Þensluraufin þarf að vera rétt hönnuð og það þarf að viðhalda henni, skipta um þéttlista o.s.frv. Sig getur eigi að síður orðið við landstöplana af völdum útskolunar eða landrofs
$120 \leq L \leq 240$ m	Báðir endar fríir	Án þensluraufar á forsendum heildarmats	Fylgjast þarf mjög reglulega með sigi við brúarendana og grípa til ráðstafana tímanlega. Telja verður þennan kost varasaman
≥ 240 m	Báðir endar fríir	Þenslurauf í báðum endum	Þensluraufin þarf að vera rétt hönnuð og það þarf að viðhalda henni, skipta um þéttlista o.s.frv. Sig getur eigi að síður orðið við landstöplana af völdum útskolunar eða landrofs
$L \geq 120$ m	Eftirfylgni: Farið á vettvangi t.d. fyrst eftir 2 ár frá því mannvirkið var tekið í notkun til þess að skoða og skrá hvernig til hefur tekist, þannig að unnt verði að læra af reynslunni og bregðast við, ef eitthvað hefur farið úrskeiðis		

Tafla 10 – samandregin niðurstaða

Lagt er til, að fylgst verði með þeim þremur brúm sem hér hafa verið til skoðunar og sambærilegt verkefni og þetta verði unnið að t.d. að þremur árum liðnum.



7 Lokaorð

Að lokum þökkum við þeim Kristjáni Kristjánssyni forstöðumanni Hönnunardeildar Vegagerðarinnar og Baldri Þór Þorvaldssyni verkfræðingi og fyrrverandi deildarstjóra á Brúadeild Vegagerðarinnar kærlega fyrir yfirlesturinn og ágætar ábendingar sem og Ingva Árnasyni svæðisstjóra Vestursvæðis og Jón H. Helgasyni verkefnastjóra á Vestursvæði fyrir afla nauðsynlegra upplýsinga frá byggingatíma brúar á Kolgrafarfjörð.





Tilvísanir:

1. [Håndbok 185](#), Bruprosjektering, Prosjektering av bærende konstruksjoner i det offentlige vegnett, Høringsutgave, Statens vegvesen 2013
2. [Håndbok N400](#), Bruprosjektering, Prosjektering av bruer, ferjekaier og andre bærende konstruksjoner, Statens vegvesen 2015
3. [Fib Bulletin 65](#), Model Code 2010, Final draft, Volume 1, International Federation for Structural Concrete, march 2012
4. [ÍST EN 1991-1-5:2003 / NA:2010](#), Actions on structures - Part 1-5: General actions – Thermal actions, CEN European Committee for Standardization, 2003
5. [Reglur um hönnun brúa](#), Vegagerðin 2015, vefrit