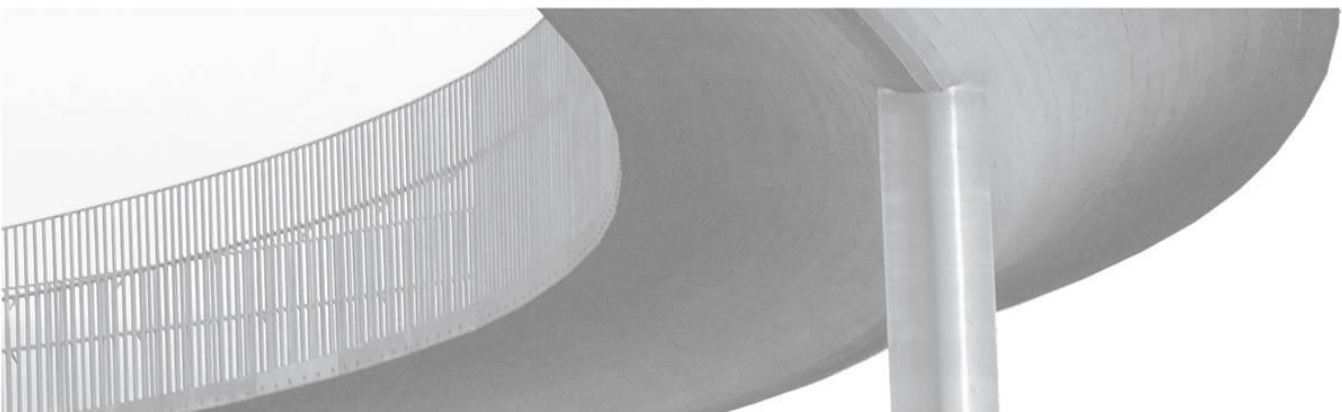




## ÁSTAND SPENNIKAPLA Í STEYPTUM BRÚM

Áfangaskýrsla 3 – Verklýsingar og gátlistar

31.03.2021





## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

2970-160-SKY-003-V01

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

2970-160-SKY-003/50

### VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Guðmundur Valur Guðmundsson

### VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Baldvin Einarsson

### LYKILORÐ

Lykilorð

### STAÐA SKÝRSLU

- Drög  
 Drög til yfirlstrar  
 Lokið

### DREIFING

- Opin  
 Dreifing með leyfi verkkaupa  
 Trúnaðarmál

### TITILL SKÝRSLU

Ástand spennikapla í steiptum brúm  
Áfangaskýrsla 3 – Verklýsingar og gátlistar

### VERKHEITI

Ástand spennikapla í steiptum brúm

### VERKKAUPI

Vegagerðin, Rannsóknarsjóður

### HÖFUNDUR

Baldvin Einarsson

### ÚTDRÁTTUR

Skýrslan er áfangaskýrsla 3 í röð skýrslna um eftirspenntar brýr. Hér er lögð fram tillaga að endurskoðun á almennum verklýsingum fyrir uppspennu og grautun á brúm. Einnig er lagt fram sniðmát að uppspennu- og grautunarskýrslu fyrir framkvæmdina og settir fram gátlistar fyrir hönnun og eftirlit með eftirspenntum brúm.

**ÚTGÁFUSAGA**

---

| <u>NR.</u> | <u>HÖFUNDUR</u>       | <u>DAGS.</u> | <u>RÝNT</u>            | <u>DAGS.</u> | <u>SAMÞYKKT</u>   | <u>DAGS.</u> |
|------------|-----------------------|--------------|------------------------|--------------|-------------------|--------------|
| 01         | Baldvin Einarsson     | 23.3.21      | Kristján Uni Óskarsson | 26.3.21      | Baldvin Einarsson | 30.3.21      |
|            | Skýrsla til verkkaupa |              |                        |              |                   |              |

| <u>NR.</u> | <u>HÖFUNDUR</u>                      | <u>DAGS.</u> | <u>RÝNT</u> | <u>DAGS.</u> | <u>SAMÞYKKT</u> | <u>DAGS.</u> |
|------------|--------------------------------------|--------------|-------------|--------------|-----------------|--------------|
| 02         | Baldvin Einarsson                    | 30.3.21      |             |              |                 |              |
|            | Settur inn fyrirvari Vegagerðarinnar |              |             |              |                 |              |

---

## SAMANTEKT

Í þessari skýrslu, sem er rannsóknarverkefni um ástand spennikapla í steyptum brúm, er fyrst fjallað um eftirspenntar brýr á Íslandi almennt og hvernig staðið var að uppspennu þeirra og grautun. Þá er farið lauslega yfir ástandskönnun á spenniköplum í brúnum á Blöndu og tveimur brúm yfir gjána í Kópavogi, en það voru tveir Finnar frá Rambøll sem gegnumlýstu brýrnar í leit að holrýmum í kapalrörum.

Eftir samanburð á breskri og íslenskum verklýsingum, sem gerður var í síðustu skýrslu, er gerð tillaga að breytingum á almennum verklýsingum fyrir tvo verkþætti í verklýsingum Vegagerðarinnar. Í fyrsta lagi verkþátt 84.36, Spennt járnalögn og í öðru lagi verkþátt 84.37, Uppspæna og grautun.

Þá er sett fram tillaga að sniðmáti fyrir uppspennu- og grautunarskýrslu. Markmiðið með staðlaðri skýrslu er að sjá til þess að öllum gögnum um framkvæmd eftirspenntar járnalagnar sé haldið til haga.

Loks eru sett fram drög að gátlistum fyrir allt sem lýtur að eftirspenntum brúm. Þar er fyrst gátlisti fyrir hönnuði, þá eru gátlistar fyrir eftirlit með útfærslu vinnunnar á verkstað. Loks eru settar fram hugleiðingar varðandi verklýsingarnar til umræðu meðal hönnuða og eftirlitsaðila og hverju væri ástæða til að breyta þegar fram líða stundir.

Að lokum eru svo talin atriði sem eftir er að skoða frekar varðandi endingu og ástand eftirspennta brúa.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.



## EFNISYFIRLIT

|   |    |
|---|----|
| SAMANTEKT   | 5  |
| 1 INNGANGUR   | 9  |
| 1.1 Markmið verkefnis   | 9  |
| 1.2 Almennt um eftirspenntar brýr á Íslandi                             | 9  |
| 1.3 Aðferðir við mat á ástandi kapla                                    | 16 |
| 1.4 Skoðun á köplum   | 17 |
| 1.5 Ástandsmat á eftirspenntum brúm                                     | 20 |
| 1.6 Frekari rannsóknir  | 21 |
| 2 VERKLÝSINGAR  | 23 |
| 2.1 Atriðaskrá fyrir almenna verklýsingu                                | 23 |
| 2.2 Tillaga að verklýsingu fyrir eftirspennta járnalögn                 | 26 |
| 2.3 Tillaga að verklýsingu fyrir uppspennu og grautun, verkþáttur 84.37 | 30 |
| 3 SKÝRSLUMÁT OG GÁTLISTAR   | 35 |
| 3.1 Uppspenni- og grautunarskýrsla                                      | 37 |
| 3.2 Gátlist fyrir hönnuði   | 40 |
| 3.3 Gátlisti fyrir eftirlit og verktaka                                 | 42 |
| 4 HUGLEIÐINGAR UM VERKLÝSINGAR OG EFTIRLIT                              | 46 |
| 5 NÆSTU SKREF   | 50 |

## MYNDASKRÁ

|         |   |    |
|---------|---|----|
| MYND 1  | Brú á Hornafjarðarflijóti. Brú með forspenntum bitum, byggð 1960-61.  | 10 |
| MYND 2  | Brú á Blöndu. Fyrsta eftirspennta brúin á Íslandi, byggð 1963.  | 10 |
| MYND 3  | Brú á Höfðabakka. Eftirspennt brú byggð 1996.   | 11 |
| MYND 4  | Brú á Skeiðarvogi yfir Miklubraut, byggð 1999.  | 11 |
| MYND 5  | Brú á Eyvindará. Bogabrá með eftirspennta yfirbyggingu, byggð 2001.   | 12 |
| MYND 6  | Skíðadalsá, byggð 2002.   | 12 |
| MYND 7  | Brýr á Korpúlfsstaðavegi og göngubrú milli Reykjavíkur og Mosfellsbæjar. Eftirspenntar brýr byggðar 2005.               | 13 |
| MYND 8  | Göngubrú yfir Hringbraut, byggð 2005.   | 14 |
| MYND 9  | Petrulla landbrú (viaduct) á Sikiley, byggð 1985. Hrundi 2014. Til hægri eru tærðir kaplar.                             | 15 |
| MYND 10 | Brú á Steinavötn í byggingu, árið 2020. Hér voru notuð plaströr fyrir spennikapla.                                      | 16 |
| MYND 11 | Brú á Blöndu, fyrsta eftirspennta brú á Íslandi, byggð 1963.  | 18 |
| MYND 12 | Þeir félagar frá Rambøll í Finnlandi, Guy Rapaport og Tuomo Koskela.  | 18 |
| MYND 13 | Endurkastsmæling (Ultrasound 3D) á spenniköplum. Hægra megin er sýnt mynstur mælinganna.                                | 19 |
| MYND 14 | Höggbylgjuaðferð notuð til að skoða betur galla í grautun. Hægra megin er borað inn að kapli þar sem líkur eru á galla. | 19 |
| MYND 15 | Brúin á Blöndu á fallegum degi.   | 20 |
| MYND 16 | Brúin yfir Strandgötu steipt og spennt. Ólafur Sveinn pósar á steypudælunni.  | 35 |
| MYND 17 | Hitamælar við akkeri í brú yfir Steinavötn. Til hægri er verið að spenna brúna. Einangrunarmottur á yfirborði.          | 36 |
| MYND 18 | Grautað í kapla brúar yfir Steinavötn. Flæðiþróf með trekt gert til hægri.  | 36 |
| MYND 19 | Leiðbeiningar um tvöfalda útloftun við hápunkta. Tekið úr NB publikasjon nr. 14.  | 47 |

## TÖFLUSKRÁ

No table of figures entries found.



## 1 INNGANGUR

### 1.1 Markmið verkefnis

Árið 2012 sótti Efla um styrk úr Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar til að leggja mat á ástand spennikapla í steiptum brúm. Markmið rannsóknarinnar voru metnaðarfull og fékkst styrkur til að vinna hluta hennar.

Í verkefnaýsingu verkefnisins eru eftirfarandi markmið tiltekin við vinnu verkefnisins:

- 1) Taka saman mögulegar aðferðir við mat á ástandi spennikapla í steiptum brúm.
- 2) Safna saman gögnum frá hönnun og framkvæmd varðandi grautun og uppspennu eftirspenntra brúa.
- 3) Greina brýr sem gætu verið orðnar viðkvæmar gagnvart tæringu.
- 4) Gera drög að leiðbeiningum varðandi framkvæmdaefirlit fyrir eftirspennnar brýr.
- 5) Gera sjónskoðun/prófanir á völdum brúm.

### 1.2 Almennt um eftirspennnar brýr á Íslandi

Í íslenska vegakerfinu eru samtals í kringum 1200 brýr. Af þeim eru yfir 150 eftirspennnar brýr á landinu og fer þeim sífellt fjölgandi. Þegar eftirspennnar brýr eru vel hannaðar og framkvæmd tekst vel þá eru þær hagkvæmar í byggingu, endingargóðar og viðhaldslitlar í langan tíma eins og reynsla Vega-gerðarinnar sýnir ásamt vinsældum þessarar tegundar brúa.

Fyrsta brúin á Íslandi úr eftirspenntri steypu var brú á Blöndu hjá Blönduósi sem byggð var árið 1963. Hún var þá haflengsta bitabru landsins en miðjuhaf hennar er um 37 m. Fyrstu árin á eftir voru fáar slíkar brýr byggðar á landinu en þeim fór hratt fjölgandi eftir 1980 og eru eftirspennnar brýr líklega algengasta burðarform brúa fyrir haflengdir yfir 20 m. Þegar allt er talið eru eftirspennnar brýr á Íslandi rúmlega 150 talsins og þar af eru 35 þeirra 35 ára eða eldri. Flestar stærri brýr landsins sem byggðar hafa verið síðustu árin eru eftirspennnar, s.s. ný brú á Hvítá hjá Bræðratungu (2010, 270 m), brú á Gígjukvísl (1998, 336 m), brú á Dýrafjörð (1990, 120 m) og brú á Ölfusárós (1988, 360 m). Þá eru flestar

vegamótabrýr á höfuðborgarsvæðinu af þessari gerð. Mikil verðmæti eru því fólgin í þessum brúm. Síðustu tvo áratuginna hafa flestar brýr sem hafa verið byggðar verið eftirspanntar brýr.

Áður en farið var að byggja eftirspanntar brýr á landinu voru nokkra brýr byggðar þar sem notaðir voru forspanntir bitar. Bitarnir voru steiptir í Byggingariðjunni í Reykjavík sem stofnuð var 1958. Brýrnar voru með staðsteyptu gólfi. Byggðar voru fjórar brýr með þessu lagi, Hornafjarðarfljót, Klifandi, Skógá og Þverá hjá Hvolsvelli. Brúin á Hornafjarðarfljóti, sem var byggð á árunum 1960-61 stendur enn, en hún er orðin nokkuð lúin. Nú stendur til að færa hringveginn í Hornafirði þannig að ný brú á Fljótin verður þá byggð.



**MYND 1** Brú á Hornafjarðarfljóti. Brú með forspanntum bitum, byggð 1960-61.



**MYND 2** Brú á Blöndu. Fyrsta eftirspannta brúin á Íslandi, byggð 1963.

Sögu eftirspanntra brúa á Íslandi má greina gróflega í þrjú tímabil eftir því hvernig staða var að uppspennu og grautun þeirra. Í upphafi var vinna við uppspennu kapla og grautun í höndum erlendra manna á vegum framleiðenda uppspennukerfa (aðallega Danir frá Skandinavisk Spændbetong). Á þessu tímabili voru fáar eftirspanntar brýr byggðar í landinu eða um 10 brýr. Flestar voru byggðar á höfuðborgarsvæðinu.

Við vinnu við Borgarfjarðarbrúna 1976-80 fjárfesti Vegagerðin í tækjabúnaði til uppspennu og grautunar spennikapla sem notuð voru í rúma tvo áratugi aðallega af starfsmönnum Vegagerðarinnar. Tækin voru þeim annmörkum háð að aðeins einn vír í kapli var spenntur í hvert sinn. Uppspenna var því frekar tímafrek vinna. Með nýjum tækjum og kunnáttu á síðari hluta áttunda áratugarins fjölgaði spenntum brúm verulega þannig að á tímabilinu frá 1975-2000 voru byggðar um 50 spenntar brýr. Flestar þessara brúa voru hefðbundnar bita- eða plötubrýr. Nokkrar brýr voru gerðar með forsteyptum bitum, sem þó voru að hluta spenntir fyrir uppsetningu en svo fullspenntir eftir að brúarplatan hafði verið steypt. Þetta á við um brýrnar á Borgarfjörð, Sog við Þrastarlund, Laxá í Leirársveit og Gullinbrú yfir Grafarvog. Á þessu tímabili var einnig byggð brú á Héraðsvötn í Skagafirði árið 1981, en þar var í fyrsta skipti byggð brú í áföngum og þar með spennt í áföngum. Það hefur síðan verið gert við flestar lengri brýrnar sem byggðar hafa verið.



**MYND 3** Brú á Höfðabakka. Eftirspennt brú byggð 1996.



**MYND 4** Brú á Skeiðarvogi yfir Miklubraut, byggð 1999.

Síðust tvo áratuginna hefur svo vinna við uppspennu og grautun færst til verktaka og innflytjenda spennibúnaðar sem verið hafa innlendir eða erlendir eftir atvikum. Eftir aldamótin fjölgaði spenntum

brúm enn frekar. Þannig voru byggðar yfir 60 brýr á fyrsta áratugnum en aðeins um 20 á þeim næsta, enda hægði mjög á endurnýjun brúa á vegakerfinu í kjölfar hrunsins árið 2008.



**MYND 5** Brú á Eyvindará. Bogabrá með eftirspennta yfirbyggingu, byggð 2001.



**MYND 6** Skíðadalsá, byggð 2002.



**MYND 7** Brýr á Korpúlstaðavegi og göngubrú milli Reykjavíkur og Mosfellsbæjar. Eftirspenntar brýr byggðar 2005.

Þegar eftirspenntar brýr eru vel hannaðar og framkvæmd tekst vel til þá eru þær endingargóðar og viðhaldslitlar í langan tíma eins og reynsla Vegagerðarinnar sýnir ásamt vinsældum þessarar tegundar brúa. Á meginlandi Evrópu og á Bretlandseyjum uppgötvaðist tæring í mörgum eftirspenntum brúm um og eftir 1980 sem leiddi til töluverðra áhyggja af langtíma endingu þessarar tegundar brúa.



**MYND 8** Göngubrú yfir Hringbraut, byggð 2005.

Það hvernig staðið er að framkvæmd við eftirspennu og grautun hefur mikil áhrif á endingu og gæði mannvirkisins og er gerð krafa í verklýsingum um að einungis fagmenn með reynslu af slíkri vinnu megi standa fyrir verki hverju sinni. Ídráttarrör geta skemmt, vírþræðir geta slitnað, holrými geta myndast þegar verið er að dæla grautnum í rörin og þannig geta myndast aðstæður fyrir tæringu í stálvírnum. Skemmdir á spenniköplum og úrræði við hönnun nýrra brúa eru gerð mjög góð skil í rannsóknarskýrslu Gylfa Sigurðssonar fyrir Rannsóknarsjóð Vegagerðarinnar árið 2015<sup>1</sup>.

Brúargólf er mjög útsett fyrir tæringu, sérstaklega þar sem notað er salt til hálkuvana eða við sjó. Þá er slit á brúargólfi vegna umferðar ökutækja einnig þáttur sem getur valdið því að steypuhula verður minni heldur en ráðlegt er. Ekki þurfa að vera ytri merki um tæringu þótt svo að spennivír sé farinn að tærast og því getur brot í spennuvír jafnvel valdið hruni án nokkurs fyrirvara eins og nokkur dæmi eru til um erlendis.

Fyrsta eftirspannta brúin í Bretlandi sem hrundi var Ynys-y-Gwas brúin yfir Afar ána í Wales. Hún var byggð árið 1953 og hrundi án fyrirvara í desember 1985.<sup>2</sup> Áður hafði að vísu göngubrú í Bretlandi hrundið. En það áttu fleiri brýr eftir að falla í kjölfarið. Þetta varð til þess að um árabíl var bygging eftirspenntra brúa með sama sniði bönnuð í Bretlandi (1992-1996).

<sup>1</sup> Ídráttarrör úr rifluðu plasti fyrir spennikapla. Rannsóknarskýrsla fyrir Rannsóknarsjóð Vegagerðarinnar. Vegagerðin, janúar 2015.

<sup>2</sup> Woodward, R.J. og F.W. Williams: *Collapse of Ynys-y-Gwas bridge, West Glamorgan*. Proc. Instn. Civ. Engrs, Part 1, 1988, 84.



**MYND 9** Petrulla landbrú (viaduct) á Sikiley, byggð 1985. Hrundi 2014. Til hægri eru tærðir kaplar.<sup>3</sup>

Og eftirsprentar brýr hafa síðan verið að falla víða um heim eftir ótrúlega stuttan líftíma. Komið hefur í ljós að brýr úr forsteyptum einingum (segmental bridges) hafa verið sérstaklega viðkvæmar fyrir tæringu á köplum. Flest atvikin hafa verið rakin til tæringar á köplum þar sem misbrestur hefur orðið á grautun kapalröra.

Hrun eftirspenntra brúa erlendis hefur leitt til gagn Gerrar endurskoðunar á framkvæmd og eftirliti með uppspennu og grautun kapla. Gerðar eru strangar kröfur um þekkingu og reynslu til þeirra aðila sem fást við uppspennu og grautun og víða er krafist sérstakrar vottunar.<sup>4</sup> Hér á landi hefur eftirlit með uppspennu og grautun verið háttáð með margvíslegum hætti. Breytileikinn er bæði milli tímabila í uppspennisögunni og milli einstakra brúa. Er nauðsynlegt að skoða heimildir frá byggingu brúnna til að finna þær brýr sem fylgjast þarf með. Þá er ekki síður nauðsynlegt að bæta og samræma verklag við uppspennu og grautun kapla og fylgja eftir kröfum verklýsingar með virku eftirliti. Til þess að það sé raunhæft þurfa verklýsingar að vera uppfærðar miðað við nýjustu staðla.

Í þessari skýrslu er lögð fram tillaga að breytingum á verklýsingum fyrir uppspennu og grautun. Tillagan byggist á fyrri verklýsingum Vegagerðarinnar sem í grunninn eru úr fyrstu útgáfu Alverks frá 1989. Þær hafa verið endurskoðaðar í gegnum árin og hafa breyst úr því að vera leiðbeiningar um uppspennu- og grautunarvinnu í að vera kröfulýsingar. Það hefur haldist í hendur við útgáfu alþjóðlegra staðla og leiðbeininga um slíka vinnu og þær prófanir sem nauðsynlegar eru við framkvæmdina. Þá hafa kröfur til framleiðenda spenniefnis og grautunarefnis vaxið og í Evrópu þarf spennikerfi að uppfylla kröfur skv. evrópsku tæknisamþykki, ETAG 013 (European Technical Approval).<sup>5</sup> Þá er gert ráð fyrir að verkið sé unnið af nægilega reyndum sérhæfðum fyrirtækjum, en leiðbeiningar um það má finna í CEN Workshop Agreement CWA 14646.

<sup>3</sup> Anania, L., Badala, A. og G. D'agata: *Damage and collapse mode of existing post tensioned precast concrete bridge: The case of Petrulla viaduct*. Engineering Structures, vol 162, 2018.

<sup>4</sup> CWA 14646. CEN Workshop Agreement. CEN, 2003.

<sup>5</sup> ÍST EN 13670:2009. Framkvæmdir við steipt mannvirki. Staðlaráð Íslands (ís þýing), gildistaka 2014.



**MYND 10** Brú á Steinavötn í byggingu, árið 2020. Hér voru notuð plaströr fyrir spennikapla.

Einnig er í þessari skýrslu lögð fram tillaga að sniðmáti fyrir uppspenni- og grautunarskýrslu. Með því er lagður grunnur að því að allar þær upplýsingar sem nauðsynlegar eru til þess að meta ástand eftirspenntra brúa síðar meir verði til staðar. Er grunnurinn að sniðmátinu eldri uppspenniskýrslur Vegagerðarinnar og listi yfir nauðsynlegar upplýsingar sem þarf til að hægt sé að meta ástand brúa eftir breskum matslykli fyrir eftirspenntar brýr.<sup>6</sup>

Loks er í skýrslunni settir fram gátlistar fyrir hönnuði og eftirlit. Gátlisti fyrir hönnuði byggist á ákvæðum ÍST EN 1992-1-1 og reynslu af yfirferð teikninga og verklýsinga fyrir uppspennu og grautun. Gátlisti fyrir eftirlit með steypuvinnu, uppspennu og grautun byggist á leiðbeiningum í handbók norska steinsteypufélagsins sem er bæði ítarleg og gagnleg um allt sem viðkemur eftirspenntum mannvirkjum.<sup>7</sup>

### 1.3 Aðferðir við mat á ástandi kapla

Fyrsta hluta verkefnisins, samantekt á mögulegum aðferðum við mat á ástandi spennikapla í steiptum brúm, lauk árið 2015 með útgáfu á skýrslu.<sup>8</sup> Í skýrslunni er lýst þeim aðferðum sem notaðar eru við mat á ástandi kapla í brúm erlendis, farið yfir kosti þeirra og galla og mat lagt á hverjar þeirra henti best við skoðun á ástandi kapla hér á landi.

Aðferðirnar eru metnar út frá kostnaði, tíma, nauðsynlegri þjálfun og þekkingu mælenda, nákvæmni og umfangi niðurstaðna, reynslu og nauðsynlegu aðgengi. Er það mat skýrsluhöfundar að mestur hagur sé í að taka sjónrænt mat, impact-echo aðferðina og ultrasonic-imaging aðferðina til frekari skoðunar með eftirlit með íslenskum brúm í huga og jafnframt segulstraumlekaaðferð ef miklar skemmdir á graut

<sup>6</sup> Ástand spennikapla í steiptum brúm. Áfangaskýrsla 2 – Ástandsmat á völdum brúm í íslensku vegakerfi. Efla, 2017.

<sup>7</sup> Spennarmeringsarbeider. Norsk betongforening Publikasjon nr. 14. 2016.

<sup>8</sup> Ástand spennikapla í steiptum brúm. Áfangaskýrsla 1. Efla, 2015.



í ídráttarrörum koma í ljós. Einnig mætti skoða acoustic-emission aðferðina nánar m.t.t. vöktunar á brúarmannvirkjum.

#### 1.4 Skoðun á köplum

Vegagerðin fékk fyrirtækið Rambøll í Finnlandi til að meta skemmdir á spenniköplum í 3 brúm á landinu. Voru brýrnar skoðaðar í júní 2016 og er lokaskýrsla Rambøll frá mars 2017.<sup>9</sup>

Eftirtaldar brýr voru skoðaðar:

- 1) Brú yfir Blöndu hjá Blönduósi, byggð 1963
- 2) Brú á Hamraborg yfir Hafnarfjarðarveg, byggð 1975
- 3) Brú á Digranesvegi yfir Hafnarfjarðarveg, byggð 1971

Brýrnar eru með elstu eftirspennntu brúm á landinu. Brúin á Blöndu sú elsta og verið var að endurnýja brúargólfíð þegar mælingar á henni fóru fram. Brúin var reist af Vegagerðinni. Hinar brýrnar sem eru yfir gjána í Kópavogi voru reistar af verktaka, Árna brúarsmið, Árna Jóhannessyni (1933-2016). Allar brýrnar voru spennar og grautaðar af erlendum aðilum.

Notaðar voru 3 aðferðir við skoðunina á köplunum í brúnum. Það eru þær aðferðir sem taldar voru vænlegastar til áragurs í fyrsta hluta verkefnisins. Þær eru:

- 1) ultrasonic-imaging aðferðin
- 2) impact-echo aðferðin
- 3) sjónskoðun á köplum

Fyrsta aðferðin byggist á að mæla endurkast af hljóðbylgjum sem varpað er inn í steypuna. Túlkun á þeim niðurstöðum bendir til staðsetningar á mögulegum göllum í grautnum í kapalrörum. Þá er annarri aðferðinni beitt til að skoða mögulega galla betur. Hún byggist á að mæla formbreytingu steypunnar við höggbylgju. Sýni hún jákvæða svörun er borað gat inn að kaplinum og skoðað hvort holrými sé inni í kapalrörinu og athugað hvort einhver ryðmyndun sé á sjálfum kaplinum. Eftir skoðun á kaplinum er síðan gert við borgatið með sérstöku viðgerðarefni.

---

<sup>9</sup> Inspection of Prestressed Bridges in Iceland by Applying NDT Techniques, 2016. Rambøll Finland Oy, 2017.



**MYND 11** Brú á Blöndu, fyrsta eftirspennta brú á Íslandi, byggð 1963.



**MYND 12** Þeir félagar frá Rambøll í Finnlandi, Guy Rapaport og Tuomo Koskela.



**MYND 13** Endurkastsmæling (Ultrasound 3D) á spenniköplum. Hægra megin er sýnt mynstur mælinganna.



**MYND 14** Höggbylgjuaðferð notuð til að skoða betur galla í grautun. Hægra megin er borað inn að kapli þar sem líkur eru á galla.



**MYND 15** Brúin á Blöndu á fallegum degi.

Almennt voru niðurstöður skoðunarinnar nokkuð jákvæðar fyrir allar brýrnar. Öll kapalrör reyndust vel grautuð þar sem hægt var að komast að þeim og einungis vottur af ryði fannst á einum stað í Blöndubrúnni. Skoðunin sýndi því ekki fram á neina galla við uppspennu og grautun á köplum þessara brúa.

Eftirfarandi er reynslan af þessari skoðun:

- 1) Aðferðirnar eru seinlegar og þar með dýrar og því er skynsamlegt að nota þær einungis í sérstökum tilfellum. Það er þess vegna væntanlega ekki grundvöllur fyrir því að hafa svona tæki og þekkingu innanlands, svo sækja verður þjónustuna til útlanda.
- 2) Aðferðirnar ná bara til kapla sem eru nálægt yfirborði steypu. Því er hægt að nota þær á tillölulega fáa kapla í venjulegri brú. Nýtist þó vel til að taka stikkprufur.
- 3) Þær er erfitt að nota á þá staði á köplum sem viðkvæmastir eru og þar sem líklegast er að finna holrými, þ.e. yfir ásetum eða við akkeri.

### **1.5 Ástandsmat á eftirspenntum brúm**

Annar hluti verkefnisins var söfnun á hönnunargögnum og upplýsingum á framkvæmdatíma fyrir valinn hluta af eftirspenntum brúm á Íslandi. Valdar voru 12 brýr úr íslenska vegakerfinu sem allar eru gerðar úr eftirspenntri steinsteypu. Elsta brúin sem valin var var byggð árið 1980 og sú yngsta árið 2010 og spanna brýrnar því stærstan hluta sögu eftirspenntra brúa á Íslandi. Breskur matslykill<sup>10</sup> sem notaður er þar í landi við mat á ástandi eftirspenntra brúa var yfirfærður yfir á íslenskar aðstæður og honum beitt við mat á brúnum tólf, eftir því sem gögn yfir þær leyfðu. Brúnum er forgangsraðað út frá niðurstöðum matslykilsins og lagðar eru til 3 brýr sem þykja henta vel til nánari skoðunar af fagaðilum. Þessar brýr voru Sog við Þrastarlung, Sanddalsá og Norðurá í Heiðarsporði.

Stærsti lærdómurinn sem draga má af þeirri vinnu er sú að skortur er á gögnum um brýrnar frá framkvæmdatíma þeirra, hvort sem gögnin eru til og hafa ekki fundist eða hvort þau séu hreinlega ekki

<sup>10</sup> Design manual for roads and bridges. Volume 3, Section 2, Part 5, BD54/15 Management of post-tensioned bridges. The Highway Agency, 2015.

til. Líklegt verður að teljast að þessi gögn hafi verið til á einhverjum tímapunkti og ein af áskorunum í næstu skrefum þessa verkefnis er að fá úr því skorið hvort nálgast megi þessi gögn með einhverjum hætti.<sup>11</sup> Listi yfir þau atriði sem þurfa að liggja fyrir svo greining verði árangursrík er þannig:

- Nafn
- Byggingarár
- Aldur
- Staðsetning
- Gerð brúar (Stutt en greinagóð lýsing á byggingarformi brúarinnar)
- SDU,ADU,VDU
- Verktaki/Brúarsmiður
- Skýrsla um grautun sbr. Alverk (Já/Nei og linkur)
- Steypuhula og dýpt að köplum
- Uppl. um graut
- Gerð ídráttarröra
- Hvað leynist undir (á/vegur etc.)
- Er til hjáleið?
- Teikningasett
- Hönnunargögn
- Fjöldi spennikapla
- Þennsluraufar og svæði sem viðkvæm eru fyrir tæringu
- Gögn um hvers kyns eftirlit og úttektir sem gerðar hafa verið á viðkomandi brú

Í skýrslunni var gerður samanburður á kröfum fyrir grautun og uppspennu milli breskrar verklýsingar<sup>12</sup>, verklýsingar úr Alverki '95 frá Vegagerðinni<sup>13</sup> og nýrrar verklýsingar sem er í vinnslu hjá Vegagerðinni<sup>14</sup>. Dreginn var fram áherslumunur á milli verklýsinganna og listuð voru upp þau gögn sem talið er mikilvægt að sé haldið upp á í tengslum við ástandsmat á uppspenntum mannvirkjum á líftíma þeirra.

## 1.6 Frekari rannsóknir

Í þessari skýrslu er gerður frekari samanburður á verklýsingum við það sem gert var í fyrri skýrslu. Einnig eru ákvæðin skoðuð í stöðlum sem fjalla um spennivir og framkvæmd uppspennu og grautunar. Þá er gerð tillaga að breytingu á núverandi verklýsingum Vegagerðarinnar. Að lokum er sett fram tillaga að uppspenni- og grautunarskýrslu sem skylt verði að fylla út af verktaka og eftirliti ásamt gátlistum fyrir eftirlit með þessum verkþáttum. Markmiðið með þessari vinnu er að við hvert verk verði til og geymast þær upplýsingar sem nauðsynlegar eru til að hægt sé að áhættumeta brýrnar í framtíðinni.

Sýnt er dæmi um útfyllta uppspenni- og grautunarskýrslu úr nýlegu verki.

<sup>11</sup> Ástand spennikapla í steiptum brúm. Áfangaskýrsla 2 – Ástandsmat á völdum brúm í íslensku vegakerfi. Efla, 2017.

<sup>12</sup> Manual of contract documents for highway works. Series 1700. The Highway Agency, 2014.

<sup>13</sup> Alverk'95 – Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð. Vegagerðin, 1995.

<sup>14</sup> Vegagerðin. Almenn verklýsing á vef Vegagerðarinnar.



## 2 VERKLÝSINGAR

### 2.1 Atriðaskrá fyrir almenna verklýsingu

Í eftirfarandi atriðaskrá eru færð öll þau atriði sem talin eru eiga erindi í verklýsingar. Síðan er merkt við ef tekið er á viðkomandi atriðum í stöðlum með fullnægjandi hætti. Einnig hvort tekið er á þeim í fyrri eða núverandi verklýsingum Vegagerðarinnar, breskum verklýsingu<sup>15</sup> og leiðbeiningum norska steinsteypusambandsins.<sup>16</sup> Sem vísað er í verklýsingum norsku vegagerðarinnar.<sup>17</sup> Einnig eru ákvæði í EN staðli um steypuvinnu, ÍST EN 13670:2009.<sup>18</sup>

| ATRÍÐI  | AL95 | VG2019 | UK | NO | 13670 |
|---|------|--------|----|----|-------|
| <b>84.36 Spennt járnalögn</b>                 |      |        |    |    |       |
| b) Efniskröfur                                |      |        |    |    |       |
| Spennivír skv. ÍST EN 10138                   | X    | X      | BS | X  |       |
| Gerð spennivírs                               |      | X      |    | X  |       |
| Flutningur og geymsla á vír                   | X    | X      | X  | X  | X     |
| Merking á vír                                 | X    | X      |    | X  |       |
| Ryð á vír                                     | X    | X      | X  | X  |       |
| Vottorð með vír                               | X    | X      |    | X  |       |
| Kapalrör                                      |      |        |    | X  |       |
| Stálrör, vísa í ÍST EN 523                    | X    |        |    | X  | X     |
| Veggþykkt stálröra/flokkur                    | X    |        |    | X  |       |
| Plaströr                                      |      | X      | X  | X  |       |
| Ending plaströra                              |      |        | X  |    |       |
| Veggþykkt plaströra                           |      |        | X  |    |       |
| Uppspennikerfi ETAG                           |      |        |    | X  | X     |
| Allir hlutar eftirspennukerfis frá sama aðila |      |        |    |    | X     |

<sup>15</sup> Manual of contract documents for highway works. Series 1700. The Highway Agency, 2014.

<sup>16</sup> Spennarmeringsarbeider. Norsk betongforening Publikasjon nr. 14. 2016.

<sup>17</sup> Prosesskode 2. Standard beskrivelse for bruer og kaier. Håndbok R762. Statens vegvesen, 2018.

<sup>18</sup> ÍST EN 13670:2009. Framkvæmdir við steipt mannvirki. Staðlaráð Íslands (ís þýging), gildistaka 2014.

| ATRÍÐI                            | AL95 | VG2019 | UK | NO | 13670 |
|-----------------------------------|------|--------|----|----|-------|
| Akkeri og tengingar skv. ETAG     |      |        |    | X  | X     |
| c) Vinnugæði                      |      |        |    |    |       |
| Stjórn uppspennu                  | X    | X      |    | X  |       |
| Uppspennubúnaður, tjakkur         |      | X      |    | X  |       |
| Stilling á tjakki                 |      | X      |    | X  |       |
| Vinna í samræmi við EN 13670      |      | X      |    | X  |       |
| Uppspennuáætlun                   |      |        |    | X  | X     |
| Spennilistar                      | X    | X      |    | X  | X     |
| Festingar röra                    | X    | X      |    | X  | X     |
| Samskeyti á kapalrörum            | X    | X      |    | X  | X     |
| Suða á vírum, akkerishlutum       | X    | X      |    | X  | X     |
| Afvötnun röra                     |      |        |    | X  | (X)   |
| Frágangur á útloftunarslögum      | X    | X      |    | X  | X     |
| Dren í lágpunktum röra            |      |        | X  | X  |       |
| Hámarksfjarlægð milli stúta       |      | X      | X  | X  |       |
| Merking á útloftunarstútum/slögum |      |        | X  | X  | X     |
| Hæð á úloftunarslögum             | X    | X      | X  |    |       |
| Þrýstipróf á rökakerfi            | X    |        |    | X  |       |
| d) Prófanir                       |      |        |    |    |       |
| e) Frávik                         |      |        |    |    |       |
| Lega kapla í láréttu plani        | X    | X      |    | X  |       |
| Lega kapla í lóðréttu plani       | X    | X      |    | X  |       |

| ATRÍÐI                                  | AL95 | VG2019 | UK | NO | 1367 |
|---|------|--------|----|----|------|
| <b>84.37 Uppspenna og grautun</b>       |      |        |    |    |      |
| b) Efniskröfur                          |      |        |    |    |      |
| Spennibúnaður í samræmi við spennilista | X    |        |    | X  |      |
| Grautur:                                |      |        |    |    |      |
| Grautur blandaður á staðnum             | X    | X      |    | X  |      |
| Verksmiðjuframleiddur grautur           |      |        |    | X  |      |
| Kröfur um innihald á graut              | (x)  | X      | X  |    |      |
| Sement                                  | X    | X      | X  | X  |      |
| Vatn skv. EN 1008                       | X    | X      | X  | X  |      |
| Íblendi skv. EN 934-2 og 4              |      | X      | X  | X  |      |
| Íaukar, kísilryk                        | X    | X      | X  |    |      |
| Blöndunarhlutföll v/c tala              | X    | X      | X  | X  |      |
| Hiti á graut                            | X    | X      | X  |    |      |
| Forprófanir                             | (x)  | X      |    | X  |      |
| Styrkur á graut                         | X    | X      | X  |    |      |



| ATRÍÐI                            | AL95 | VG2019 | UK  | NO | 1367 |
|-----------------------------------|------|--------|-----|----|------|
| Vatnsaðskilnaður, blæðiþróf       | X    | X      | X   | X  |      |
| Rúmmálsbreyting                   | X    | X      | X   | X  |      |
| Flæðiþróf                         | X    | X      | X   | X  |      |
| Frostheldni                       | X    |        |     |    |      |
| Hörðunartími                      |      | X      | X   | X  |      |
| c) Vinnugæði                      |      |        |     |    |      |
| Stjórn uppspennu                  | X    | X      |     | X  |      |
| Uppspennubúnaður, tjakkur         | (x)  | X      | X   | X  |      |
| Uppspenna eftir spennilista       | x    | X      | X   | X  |      |
| Áfangaskipting                    | x    | X      |     | X  |      |
| Vinna í samræmi við EN 13670      |      | X      | (X) | X  |      |
| Hitastig við uppspennu            |      |        | X   |    |      |
| Uppspennuskýrsla                  | X    | X      |     | X  |      |
| Yfirferð/samþykki á spenniskýrslu | X    | X      |     | X  |      |
| Stjórn grautunar                  | x    | X      |     | X  |      |
| Grautunarbúnaður                  | Í b) | X      | X   | X  |      |
| Varabúnaður                       |      | X      | X   | X  |      |
| Blöndun á graut skv. 446 og 447   |      | X      |     | X  |      |
| Hitamörk við grautun              | (x)  |        | X   | X  |      |
| Grautun í köldu veðri             | X    | (X)    |     | X  |      |
| Tímamörk á graut                  |      |        | X   | X  |      |
| Dælingarhraði                     | x    | X      |     | X  |      |
| Halda þrýstingi eftir lokun       | x    | X      | X   | X  |      |
| Stöðvun á dælingu í miðju kafi    | x    | X      |     |    |      |
| Grautunarskýrsla                  | x    | X      | X   | X  |      |
| d) Prófanir                       |      |        |     |    |      |
| Tíðni sýnatöku                    | X    | X      |     | X  |      |
| Hvar er sýni tekið                | X    | X      | X   |    |      |
| Þrýstistyrkur                     | X    | X      | X   | X  |      |
| Rúmmálsbreyting                   | X    | X      | X   | X  |      |
| Vatnsaðskilnaður                  | X    | X      | X   | X  |      |
| Flæðieiginleikar                  | X    | X      | X   | X  |      |
| Frostheldni                       | X    |        |     |    |      |
| e) Frávik                         |      |        |     |    |      |
| Frávik skilgreind í spennilista   | x    | X      |     |    |      |
| f) Uppgjör                        |      |        |     |    |      |
| Fjöldi kapla                      | x    |        |     |    |      |

## 2.2 Tillaga að verklýsingu fyrir eftirspennta járnalögn

### Almenn verklýsing - 84.36 Eftirspennt járnalögn

#### a) Verksvið

Um er að ræða allan kostnað, efni, vinnu og flutning efnis vegna lagnar og frágangs kapla, þ.m.t.: Lögn, stólun, festingar og frágangur kapalröra, kapla og kapalfestinga.

#### b) Efniskröfur

Um eftirspennta járnalögn gilda ákvæði ÍST EN 13670 kafla 7 og Viðauka E.

**Spennukerfi:** Eftirspennukerfi skal hafa evrópskt tæknisamþykki (ETA). Allir hlutar kerfisins skulu vera samhæfðir, t.d. tilheyra sama uppspennukerfinu.

**Spennivír:** Efni í spennna járnalögn skal vera skv. fyrirmælum og skal það uppfylla kröfur prEN 10138-2 fyrir spennivír. Leggja skal fram framleiðsluvottorð fyrir spennivír. Þar skal að minnsta kosti tilgreina framleiðanda, rekjanlegt framleiðslunúmer með hverri vírrúllu, kennistærðir (styrkleika, fjaðurstuðul og flatarmál), vinnulínu og prófunarstaðal.

Spennivír á að vera án sýnilegra verksmiðjugalla, s.s. rispur, rifur og klofnun o.þ.h. Geyma skal víra þannig á vinnustað að þeir óhreinast ekki og þeir varðir fyrir veðrun með viðeigandi yfirbreiðslum.

Ef ryð fellur á vírinn skal sérstaklega metið hvort hann telst nothæfur. Hann telst nothæfur ef einungis hefur fallið á hann ryðlitur, sem ekki er samfelldur, eða um er að ræða einstaka ryðbletti sem unt er að fjarlægja með mjúkum klút. Ef ryð er samfelld eða vottar fyrir ryðtæringu skal vír hafnað.

**Kapalrör:** Kapalrör sem eru bábublikrör skulu vera í flokki 2, skv. töflu 1 í ÍST EN 523:2003, þ.e. með veggþykkt 0,50 mm. Þvermál röra skal vera í samræmi við ETA fyrir spennikerfið. Þau mega ekki vera heitsínkhúðuð. Rörin eru sett saman með þar til gerðum hólkum og límt yfir samskeyti þannig að þau verði vatnsheld.

Kapalrör sem eru plaströr skulu vera af gerðinni PE/PP eða HDPE ætluð til notkunar sem hluti spennukerfis. Rörin eru sett saman með þar til gerðum herpihólkum. Þvermál röra og veggþykkt skal vera í samræmi við ETA fyrir spennikerfið. Kapalrörin skulu fullnægja kröfum í EAD-160004-00-0301 og fib Bulletin 75 m.t.t. endingar. Kapallinn skal varinn, skv. fib Bulletin 75 með varnarstigi PL2.

Geyma skal kapalfestingar, víra og kapalrör þannig á vinnustað að efnin óhreinast ekki og þau varin fyrir veðrun með viðeigandi yfirbreiðslum.

#### c) Vinnugæði

Öll vinna við eftirspennta járnalögn skal uppfylla kröfur í ÍST EN 13670 köflum 4 og 7 og Viðauka E. Hún skal vera skv. Framkvæmdaflokki 3.

Verktaki skal leggja fram verkáætlun fyrir uppsetningu spenntrar járnagnar ásamt útloftun og afvötnun kapalröra. Verkáætlunina skal leggja fyrir verkkaupa til rýnis áður en framkvæmdin hefst.

Frágangur kapla, akkera og kapalfestinga skal vera í samræmi við fyrirmæli framleiðanda uppspennikerfis og skulu kapalfestingar festar.

Festa skal kapalrör, akkera og kapalstóla tryggilega á uppslátt þannig að kapalrörin fylgi réttum ferli og hæð og gangi hvorki niður eða fljóti upp við niðurlögn steypu. Lágmarksfjarlægð milli kapalstóla er 1,0 m en getur verið minni þar sem krappi á rorum er mikill. Rorum sem beyglast, eða hafa skemmst með öðrum hætti, skal skipta út.

Kapalrörum skal halda þurrum þar til ídælingu vellings er lokið. Þetta skal gert með því að sjá til

Þess að afvötnunarkerfi virki og blása í gegnum þau þrýstilofti í nægilegu magni. Öllum opum út í andrúmsloftið skal halda lokuðum.

Fjarlægð milli útloftunargata og afvötnunaropa má að öðru jöfnu ekki vera meiri en 30 m. Í hápunktum kapalröra, við akkeri og við inndælistúta skal koma fyrir útloftunarrörum, sem eru ekki opnuð fyrr en skömmu áður en grautun er framkvæmd.

Allri vinnu við kapalrör o.fl. skal að fullu lokið og samþykkt af verkkaupa áður en vinna við steypu áfangans hefst. Yfirfara skal og þétta öll kapalrör, afvötnunar- og útloftunarop ásamt tengjum, eins seint og kostur er áður en steyp er. Markmiðið er að engin steypa geti komist inn í neitt kapalröranna eða tengi, sem gæti valdið vandræðum við uppspennu og ídælingu. Við útlagningu og titrun steypu þarf að varast að staftitrarar liggi á rörum og skemmi þau.

Ef tíminn sem líður frá því að strengjum er komið fyrir í rörunum, þar til dælt er í þau, verður meiri en fjórar vikur, skal gera nauðsynlegar ráðstafanir til að koma í veg fyrir tæringu spennistálsins. Í slíku tilfalli skal verktaki leggja fram tillögu um ráðstafanir til úrbóta sem verkkaupi samþykkir.

Bæta skal nauðsynlegri lengd við strengi aftur fyrir kapalfestingar í samræmi við forskrift sem fylgir uppspennikerfi.

Við ídrátt og framleiðslu kapla skal þess gætt að strengir dragist ekki við jörð eða óhreinkist. Enn fremur verður að vera tryggt að sandur eða steypa komist ekki á enda strengjanna, sem standa aftur úr kapalfestingum.

Ýtrustu varkárni og vandvirkni skal gætt við samsetningu kapla og frágang þeirra í mótum. Strengi, sem á að spenna, má ekki rafsjóða. Þeir mega ekki verða fyrir suðuneistum eða annarri hitaáráun, sem getur breytt eiginleikum þeirra. Ef því verður ekki við komið að sjóða kapalstóla í bitalykkjur eða aðra járnalögn, áður en kaplar eru lagðir í mótin, verður að gæta þess að rafsúðneistar geti ekki fallið á kapalrör eða strengi.

Kaplar eru þræddir í kapalrör annað hvort fyrir steypu eða eftir. Gæta skal þess að þeir nái rétttri lengd aftur fyrir akkerisplötu í samræmi við uppspennikerfið.

**d) Prófanir**

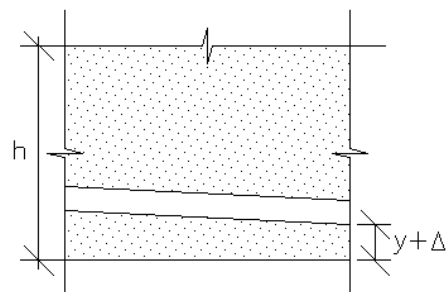
**e) Nákvæmniskröfur, frávik**

Mesta leyfilega frávik í staðsetningu kapalfestinga:

Í lóðréttu plani  $\pm 5$  mm.

Í láréttu plani  $\pm 15$  mm.

Hámarksfrávik kapalröra eða stakra strengja er eftirfarandi:



Fyrir  $h \leq 200$  mm,

$$\Delta = \pm 0,03h.$$

Fyrir  $h > 200$  mm ( $\Delta$  er minna gildið af):

$$\Delta = \pm 0,03h \text{ eða } \pm 30 \text{ mm.}$$

Leyfð frávik steypuhulu að einstökum streng:

$$\Delta = -10 \text{ mm.}$$

Leyfð frávík steypuhulu að kapalröri:

$\Delta = -15$  mm.

### 84.361 Kaplar, 12 x $\varnothing 13$ mm

a) Um er að ræða allan kostnað, efni, vinnu og flutning efnis vegna lagningar og frágangs 12 x  $\varnothing 13$  mm kapla, þ.m.t.: Lögn, stólun, festingar og frágangur kapalröra og kapalfestinga *[nánari lýsing]*.

b) Spennivír:

Þvermál =  $\varnothing 13,0$  mm

Þverskurðarflatarmál =  $100$  mm<sup>2</sup>.

Togþol (tensile strength):  $R_m > 1860$  MPa.

Kennigildi mesta togkrafts (characteristic value of maximum force)  $F_m > 186$  kN.

Kennigildi togkrafts miðað við 0,1 % streitu (characteristic value of 0,1 % proof force)  $F_{p0,1} > 160$  kN. Lágmarkslenging max togkrafts  $A_{gt}$  með  $L_o \geq 500$  mm skal vera 3,5 %.

Spennutap undir 1000 klst. álagi (relaxation) skal vera mest 2,5 % með togkrafti, sem nemur 70 %  $F_m$ .

Kapalrör:

Gerð *[gildi]*

Stærð *[gildi]*

Veggþykkt *[gildi]*

Akkeri ásamt fylgihlutum með tilheyrandi lásplötu og gripum fyrir 13 mm spennivír.

f) Uppgjör miðast við þyngd spennivírs í fullfrágengnum köplum. Lengd kapla reiknast 1,0 m aftur fyrir kapalfestingar.

Mælieining: kg

### 84.364 Kaplar, 12 x $\varnothing 16$ mm

a) Um er að ræða allan kostnað, efni, vinnu og flutning efnis vegna lagningar og frágangs 12 x  $\varnothing 15,7$  mm kapla, þ.m.t.: Lögn, stólun, festingar og frágangur kapalröra og kapalfestinga *[nánari lýsing]*.

b) Spennivír :

Þvermál =  $\varnothing 15,7$  mm, þverskurðarflatarmál =  $150$  mm<sup>2</sup>.

Togþol (tensile strength):  $R_m > 1860$  MPa.

Kennigildi mesta togkrafts (characteristic value of maximum force)  $F_m > 279$  kN.

Kennigildi togkrafts miðað við 0,1 % streitu (characteristic value of 0,1 % proof force)  $F_{p0,1} > 240$  kN. Lágmarkslenging max togkrafts  $A_{gt}$  með  $L_o \geq 500$  mm skal vera 3,5 %.

Spennutap undir 1000 klst. álagi (relaxation) skal vera mest 2,5 % með togkrafti, sem nemur 70 %  $F_m$ .

Akkeri ásamt fylgihlutum með tilheyrandi lásplötu og gripum fyrir 15,7 mm spennivír.

f) Uppgjör miðast við þyngd spennivírs í fullfrágengnum köplum. Lengd kapla reiknast 1,0 m aftur fyrir kapalfestingar.

Mælieining: kg

### 84.365 Kaplar, 15 x ø16 mm

a) Um er að ræða allan kostnað, efni, vinnu og flutning efnis vegna lagnar og frágangs 15 x ø15,7 mm kapla, þ.m.t.: Lögn, stólun, festingar og frágangur kapalröra og kapalfestinga *[nánari lýsing]*.

b) Spennivír :

Þvermál = ø15,7 mm, þverskurðarflatarmál = 150 mm<sup>2</sup>.

Togþol (tensile strength):  $R_m > 1860$  MPa.

Kennigildi mesta togkrafts (characteristic value of maximum force)  $F_m > 279$  kN.

Kennigildi togkrafts miðað við 0,1 % streitu (characteristic value of 0,1 % proof force)  $F_{p0,1} > 240$  kN. Lágmarkslenging max togkrafts  $A_{gt}$  með  $L_o \geq 500$  mm skal vera 3,5 %.

Spennutap undir 1000 klst. álagi (relaxation) skal vera mest 2,5 % með togkrafti, sem nemur 70 %  $F_m$ .

Akkeri ásamt fylgihlutum með tilheyrandi lásplötu og gripum fyrir 15,7 mm spennivír.

f) Uppgjör miðast við þyngd spennivírs í fullfrágengnum köplum. Lengd kapla reiknast 1,0 m aftur fyrir kapalfestingar.

Mælieining: kg

## 2.3 Tillaga að verklýsingu fyrir uppspennu og grautun, verkþáttur 84.37

### Almenn verklýsing - 84.37 Uppspenna og grautun

#### a) Verksvið

Í verkþætti er innifalinn allur kostnaður, efni, vinna og flutningur efnis vegna uppspennu og grautunar kapla, þ.m.t.: Flutningur og uppsetning spennu- og grautunarbúnaðar, kostnaður vegna nauðsynlegra prófana ásamt fyllingu úrtaka við kapalfestingar.

#### b) Efniskröfur

Vellingur til grautunar skal uppfylla kröfur um hlutefni, samsetningu og eiginleika í ÍST EN 447 kafla 6 þegar hann er prófaður skv. ÍST EN 445 kafla 4.

Kröfur um óæskileg efni:

Cl < 0,10% af sementsþunganum.

SO<sub>3</sub> < 4,5% af sementsþunganum.

S<sub>2</sub>-jónir < 0,01% af sementsþunganum.

Vellingur skal vera laus við kekki í sigtiprófi.

Kröfur til flæðis vellings:

| Prófunaraðferð skv. EN 445 | Mælt gildi                   | Krafa: Strax að blöndun lokinni | 30 mín. eftir blöndun í hrærivél eða skv. leiðbeiningum framleiðanda <sup>1)</sup> |
|----------------------------|------------------------------|---------------------------------|--|
| Flæði um trekt             | Tími í s                     | $t_0 \leq 25$ s                 | $1,2 t_0 \geq t_{30} \geq 0,8 t_0$ og $t_{30} \leq 25$ s                           |
| Flæði próf                 | a = meðalþvermál flæðis í mm | $a_0 \geq 140$ mm               | $1,2 a_0 \geq a_{30} \geq 0,8 a_0$ og $a_{30} \geq 140$ mm                         |

Vatnsaðkilnaður skal ekki vera meiri en 0,3% eftir 3 klst. í Wick prófi.

Rúmmálsbreyting skal eftir 24 klst. í Wick prófi vera á bilinu -1% til +5%,

Styrkur á hörðnuðum vellingsi skal ekki vera lægri en 30 MPa eftir 28 daga eða 27 MPa eftir 7 daga.

Storknun vellings mæld skv. EN 196-3. Vellingurinn skal ekki fara að stirðna fyrr en eftir >3 tíma. Storknun skal lokið eftir < 24 klst. Hvort tveggja er miðað við hitastig sem framleiðandi vellings segir til um eða mælt er fyrir um.

**V/S hlutfall.** Hlutfall vatns / sements (v/s-hlutfall) skal vera  $\leq 0,44$ .

Vellingur getur verið annað hvort blandaður á staðnum eða verksmiðjuframleiddur.

#### Vellingur blandaður á staðnum:

Blöndunarhlutföll vellings, sem blandaður er á staðnum, ákveðast í samráði við eftirlitið en eftirfarandi þyngdarhlutföll skulu í höfuðatriðum lögð til grundvallar:

Sement: 1

Vatn:  $0,40 \pm 0,04$

Íblendi skal vera samkvæmt upplýsingum framleiðanda.

Vellingur á að vera gerður úr sementi, vatni, íaukum og íblendi. Efni sem notuð eru skulu vera þannig að ofangreindar kröfur verði uppfylltar.

**Sement.** Sement skal vera skv. ÍST EN 197 af gerðinni CEM I (Portland-sement) eða CEM II/A-D (Portland-kísilryksblandað sement).

**Blendivatn.** Blendivatn skal vera í samræmi við ÍST EN 1008.

**Íblendi.** Íblendi skulu vera í samræmi við ÍST EN 934-2. Heimilt er að nota eina eða fleiri gerðir íblendis saman.

**Íaukar.** Kísilryk má vera í sementi sem notað er í vellinginn, og skal þá uppfylla kröfur skv. ÍST EN 13263. Notkun áldufts er leyfð í takmörkuðu magni.

**Forprófun:** Ganga skal úr skugga um í tæka tíð, að eiginleikar vellings, sem blandaður er á staðnum, séu úr ætluðum efnum til verksins með tækjum sem ætluð er til verksins og unnin með væntanlegum mannafla sem hentar fyrir ætlaða notkun uppfylli kröfur til vellings í ÍST EN 447:2007. Nauðsynleg próf eru skv. töflu í lið d). hér á eftir.

#### **Verksmiðjuframeiddur vellingur:**

Verksmiðjuframeiddan velling þarf ekki að forprófa geti framleiðandi sýnt fram á að hann uppfylli allar kröfur í stöðlum ÍST EN 445, 446 og 447.

### c) **Vinnugæði**

#### **Uppspenna:**

Spennibúnaður skal vera í samræmi við spennilista.

Uppspennutjakkur skal vera með vikmörk innan 2%, sem skal sannreyna með vottuðum mælum, minnst einu sinni á hverju ári. Ef grunsemdir vakna um að mælíbúnaðurinn hafi fengið óheppilega meðferð, högg, hristing eða of mikið álag o.fl., skal endurtaka sannprófun þeirra.

Uppspennu skal framkvæma í samræmi við spennilista, sem **eftirlit** leggur fram. Þar er m.a. kveðið á um hvaða tæki skulu notuð, í hvaða röð kaplar eru spenntir, uppspennukraft, lengingar víra við uppspennu, mælistöður og mörk aflestra á mælitækjum.

Uppspennu skal framkvæma í samræmi við ÍST EN 13670:2009, grein 7.5. Hún skal framkvæmd undir verkstjórn manns með nauðsynlega þekkingu á notkun viðkomandi tækjabúnaðar og með reynslu frá a.m.k. þremur sambærilegum verkum, sjá nánar í CWA 14646. Verktaki skal skila ferilskrá verkstjóra, þar sem vísað er til sambærilegra verka. Ef mannvirkinu er áfangaskipt skal koma fram í áætluninni, með ótvíræðum hætti, hvaða framleiðslunúmer strengja verður notað á hverjum stað í mannvirkinu, eins og það er sýnt á teikningum.

Uppspenna má byrja þegar steypan hefur náð tilskildum styrk skv. spennilista. Þetta má meta með útreikningi á steypuþroska eftir hitamælingum í steypunni og/eða styðja niðurstöðuna með því að brjóta a.m.k. þrjú steypusýni sem geymd eru á verkstað við sömu aðstæður og steypan í mannvirkinu.

Verktaki skal mæla og skrá lengingu strengja og þeirra krafta sem mældir hafa verið á uppspennulistana og afhenda verkkaupa til rýni. Ef mældar lengdarbreytingar eru umfram vikmörk uppspennulistanna, skal endurtaka uppspennuna frá byrjun eftir að slakað hefur verið á köplunum.

Að uppspennu lokinni og þegar verkkaupi hefur yfirfarið spennilistann, og samþykkt hann skriflega, skal skera enda strengjanna 30-50 mm aftan við lásplötur eða þannig að hægt sé að festa grautunarlok á akkerin. Strengina skal skera með skurðskífum en ekki loga.

### Blöndun á vellingi:

Blöndunar- og grautunarbúnaður skal vera í samræmi við ÍST EN 446 kafla 7 og skal henta spennikerfinu. Varadæla og varablöndunarútbúnaður skulu vera til staðar, eins og nauðsynlegt er talið. Búnaður til sýnatöku og prófunar á graut skal vera til staðar.

Blöndun skal fara fram í blendi, þannig að hún verði einsleit og stöðug með eiginleika í mjúku (plastísku) formi. Háð efnis- eða umhverfispáttum (t.d. hitastigi, formi kapallegu og eiginleikum sements) á að halda v/s-tölu eins lágri eins og kostur er m.t.t. aðstæðna.

Vatni skal fyrst blandað í blendinn, því næst sementinu og íblendinu. Blanda má öllu því magni sem vegið hefur verið, bæði sementi og íblendinu eða í smáskömmtum, þar til allt er komið í hann.

Blanda skal velling í magni þannig að örugglega verði til nægilega mikið til að fylla kapalrör, að teknu tilliti til þess sem fer til spillis. Vellingi skal haldið á stöðugri hreyfingu þegar efni hafa verið sett í vélina og þar til hann er tilbúinn til ídælingar í ídráttarrörin.

### Grautun:

Ídæling vellings skal fara fram í samræmi við ÍST EN 13670:2009 grein 7.6, kröfum, sem gefnar eru upp í ÍST EN 446 og leiðbeiningar fib, Bulletin 20, Grouting of tendons in prestressed concrete.

Blöndun og Ídælingu skal framkvæma undir verkstjórn manns með nauðsynlega þekkingu á framleiðslu vellings, af nauðsynlegum prófunum og vali tækja fyrir verkefnið og með reynslu frá a.m.k. þremur sambærilegum verkum. Verktaki skal skila ferilskrá verkstjóra, þar sem vísað er til sambærilegra verka.

Ídælingu má ekki byrja fyrr en verkkaupi hefur samþykkt uppspennu kaplanna.

Tímanlega fyrir ídælingu skal verktakinn vinna áætlun, þar sem grein er gerð fyrir eftirfarandi þáttum og afhenda verkkaupa til rýni:

- framkvæmd ídælingar.
- skiptingu í áfanga til úttektar.
- magn vellings í hvert kapalrör.
- ráðstafanir til að tryggja að kapalrör fyllist með vellingi, e.t.v. með eftirdælingu í tengibox og akkeri.
- möguleika á spúlun og hreinsun kapalröra, ef óvænt atvik verða við ídælinguna.
- útbúnað sem nota skal.
- varaútbúnað sem skal vera til taks við ídælinguna.

Hitastig við ídælingu skal vera í samræmi við ÍST EN 446:2007, grein 8.3.

| Hitastig °C | Byggingarhluti °C | Tímalengd kröfu        |
|-------------|-------------------|------------------------|
|             |                   |                        |
| Minnst      | 3°                | 48 klst. <sup>1)</sup> |
| Mest        | 35 °              |                        |

<sup>1)</sup> Ídælingu má ekki framkvæma ef hitastig byggingarhluta er 3°C eða lægra eða ef hitastig hans er líklegt til að fara niður fyrir 3°C á næstu 48 klst. Framleiðandi gerir e.t.v. stífari kröfu en 3°C og þá tekur sú krafa yfir. Ef byggingarhlutinn er hitaður upp skal hita hann upp í 5°C og hærra, ef framleiðandi vellings gerir kröfu um hærra hitastig en 3°C.

Áður en vellingi er dælt í kapalrörin skal gengið úr skugga um að unnt sé að dæla í þau með því að dæla fyrst í gegnum þau þrýstilofti. Það skal vera laust við olíu. Við útloftunarrör og kapalfestingar, þar sem ekki er dælt inn um, skal koma fyrir gúmmí- eða plastslöngu, sem framlengir útloftun a.m.k. 0,75 m upp fyrir steypufirborð.



Sementsvellingi er dælt í kapalrör, en áður en ídælingin hefst skal gengið þannig frá kapalendum að tryggt sé að þeir séu nægjanlega þéttir, svo sementsvellingurinn tapist ekki út, meðfram lásplötum og láskeilum. Nota skal sérsmiðuð lok sem hylja lásplötu og vírenda en þannig útbúin að hægt sé að hleypa lofti út. Þegar dæling hefst í rörin skal þess gætt að halda sem jöfnustum hraða, eða u.þ.b. 6 til 12 m/mín og skal dælingunni haldið áfram uns jafnt rennsli án loftbólna kemur út um útloftunarslöngur. Eftir að dæling hefst í ídráttarrör má ekki stöðva hana.

Sem viðmiðun er það yfirleitt nægjanlegt að tappa af útloftunarslöngum, u.þ.b. 5 - 10 l.

Eftir að öllum útloftunarstöðum hefur verið lokað, skal halda a.m.k. 0,5 MPa þrýstingi á kapalrör, í eina mín, en þá skal opna útloftunarstúta, einn í einu til þess að hleypa út loftbólum. Milli þess sem hleypt er út skal þrýstingur aukinn aftur upp í a.m.k. 0,5 MPa.

Ef á þarf að halda skal gera viðeigandi ráðstafanir til að tryggja að tengibox og akkeri fyllist, m.a. með eftiríðælingu þeirra á réttum tíma áður en ídæliefni binst. Þar að auki skal vera mögulegt að yfirfara og enduríðæla í tengingar (koblinger), t.d. í gegnum innsteipt rör, sem liggja að efsta hluta tengimúffanna.

Strax að lokinni notkun skal dæla vellingi í þessi rör.

**Yfirsteypa kapalfestinga.** Yfirborð steypu við kapalfestingar, sem steipt verður að, skal vera gróft. Ekki má steypa yfir kapalfestingar fyrr en verkkaupi hefur samþykkt ídælingarvinnuna og búið er að loka með tappa og innsigla yfir alla stúta og akkeri. Áhersla er lögð á að tenging nýrrar og gamallar steypu verði góð, þannig að steypuskilin verði jafnþétt og steypan umhverfis.

Grautunarskýrsla:

Verktaki skal skila dagbók á formi sem verkkaupi samþykkir. Í dagbók skal skjalfesta og staðfesta, með undirritun, alla ídælingarvinnu. Skjalfestingin skal innihalda upplýsingar sem krafist er í ÍST EN 446 kafla 9, þar á meðal um notað efni, útbúnað, tímasetningar, veðurfarslegar upplýsingar, svo sem meðalhitastig á mannvirki og vellingi, notað magn og upplýsingar um niðurstöðu þeirra prófana sem hafa verið framkvæmdar, flæðimæling, þanpróf, vatnsupptökupróf og rúmmálsbreyting ásamt styrkleikaprófi. Dagbókin á ennfremur að innihalda upplýsingar um hvar ídælingarstútar, inntök, útrásir eru staðsett í ídælingaráætluninni, ásamt frávikum frá lokunarröð og öðrum atriðum, þar á meðal athugasemdir um stopp, leka o.m.fl.

**Í lok dælingar** þegar vellingurinn hefur harðnað og dregið til sín aðskilnaðarvatnið skal fjarlægja ídælingarstúta og yfirfara hvort stútarnir eru fullir. Komi í ljós að svo sé ekki skal setja í gang nákvæmari úttekt á orsök þess og raunverulegum aðstæðum. Skrásetningu á þessu skal leggja fyrir verkkaupa til rýni ásamt hugsanlegri umbótaáætlun, sem verkkaupi skal yfirfara.

#### d) Prófanir

Forprófanir skal gera á vellingi sem blandaður er á staðnum. Fjöldi prófa er sýnt í eftirfarandi töflu. Ekki eru gerðar kröfur um að niðurstöður mælinga á styrk og rúmþyngd liggi fyrir þegar grautað er.

Leggja skal niðurstöðu forprófana fyrir verkkaupa til samþykktar. Verktaki getur fyrst farið að huga að því að steypa upp mannvirkið þegar samþykki verkkaupa liggur fyrir.

Eftirfarandi rannsóknir á vellingi skal gera á meðan á grautun stendur í samræmi við ÍST EN 446 kafla 9. Miðað er við eftirlitsflokk 3 (Inspection Class 3).

Tíðni prófana á vellingi:

| Próf:     | Forprófun | Tíðni prófa við grautun | Grein í ÍST EN 445 |
|-----------|-----------|-------------------------|--------------------|
| Sigtipróf | ≥ 1       | ≥ 1                     | 4.2                |
| Flæðipróf | ≥ 1       | ≥ 1 próf/dag            | 4.3                |

|                                    |       |                    |     |
|------------------------------------|-------|--------------------|-----|
| Vatnsaðskilnaðarpróf <sup>1)</sup> | ≥ 1   | 1 próf/hálfum degi | 4.5 |
| Rúmmálsbreyting <sup>1)</sup>      | ≥ 1   | 1 próf/hálfum degi | 4.5 |
| Styrkur                            | (≥ 1) | 3 próf /dag        | 4.6 |
| Rúmpýngd                           | (≥ 1) | 1 próf/hálfum degi | 4.7 |

<sup>1)</sup> Vatnsaðskilnaðar- og rúmmálsbreytingarpróf er sama prófið.

**e) Nákvæmniskröfur, frávik**

Nákvæmni við mælingu uppspennukrafts skal vera ±2%.

Leyfð frávik hlutfæna í vellingi:

Sement og íblendi: ± 2% af fyrirskrifuðu magni.

Vatn: ± 1% af fyrirskrifuðu magni.

**84.37 Uppspenna og grautun**

**a)** Í verkþætti er innifalinn allur kostnaður, efni, vinna og flutningur efnis vegna uppspennu og grautunar á spenniköplum í yfirbyggingu brúarinnar, þ.m.t.: Flutningur og uppsetning spenn- og grautunarbúnaðar, kostnaður vegna nauðsynlegra prófana ásamt fyllingu *[nánari lýsing]*.

**f)** Uppgjör miðast við fjölda spenutra og frágenginna kapla.

Mælieining: stk.

### 3 SKÝRSLUMÁT OG GÁTLISTAR

Skýrslumátið og gátlistarnir sem hér eru settir fram hafa verið lengi í smíðum. Það er vegna þess að ástæða þótti til að reyna þá við raunveruleg verkefni áður en þeir væru birtir. Fyrstu drög voru mótuð við uppennu á göngubrú yfir Breiðholtsbraut hausti 2018 með Ólafi Sveini Haraldssyni. Skýrslumátið var síðan fyrst reynt við brú yfir Strandgötu á Reykjanesbraut í Hafnarfirði 2019-20.

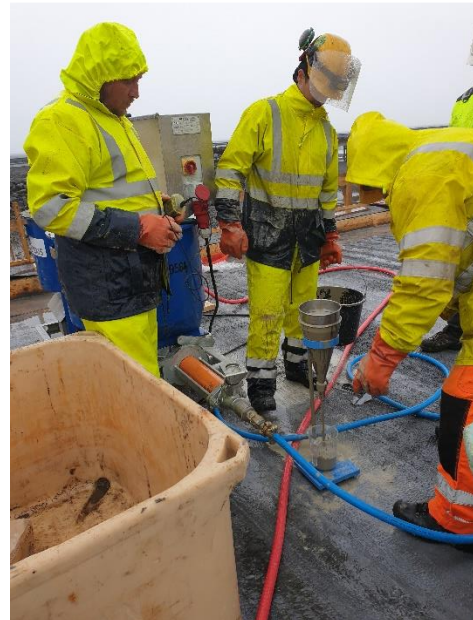


**MYND 16** Brúin yfir Strandgötu steipt og spenn. Ólafur Sveinn pósar á steypudælnni.

Loks var mátið ásamt gátlistum notað við eftirlit á vegum EFLU með uppennu- og grautun á brúm á Steinavötn, Fellsá og Brunná sumarið og haustið 2020.




**MYND 17** Hitamælar við akkeri í brú yfir Steinavötn. Til hægri er verið að spenna brúna. Einangrunarmottur á yfirborði.



**MYND 18** Grautað í kapla brúar yfir Steinavötn. Flæðipróf með trekt gert til hægri.


## 3.1 Uppspenni- og grautunarskýrsla

|   |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
|---|--|-----------------|-------------------------------|-----------------------------|--------------------------|------------|----------------------|-----------|-----------|-----------------------|--|------|---|
|  |  |                 |                               |                             | <b>Gæðastýring verks</b> |            |                      |           |           | Útgáfa 02 - feb. 2021 |  | bls. | 1 |
| <b>Uppspennuskýrsla</b>   |  |                 |                               |                             | Verkþættir nr.           |            |                      |           |           | 0                     |  |      |   |
| Heiti verks:  |  |                 |                               |                             | Verktaki:                |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Ábyrgðam. verktaka:   |  |                 |                               |                             | Verkstjóri:              |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Vinnsla hófst:  |  |                 |                               |                             | Vinnu lauk:              |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| <b>Efnisupplýsingar</b>   |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| <b>Spennivír</b>  |  | Framleiðandi:   |                               |                             |                          |            | Þvermál [mm]:        |           |           |                       |  |      |   |
|   |  | Rúlla           | Þyngd                         | Flotstyrkur                 | Brotstyrkur              | Brotlengin | Teygjustu            | Spennutap | Fylgiskj. |                       |  |      |   |
|   |  | Nr.             | kg                            | MPa                         | MPa                      | %          | MPa                  | %         | Nr.       |                       |  |      |   |
| Kröfur:   |  |                 |                               | 1600                        | 1860                     | >3,5       |                      | <2,5      |           |                       |  |      |   |
| Vírrúlla  |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
|   |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| <b>Spennikerfi</b>  |  | Framleiðandi:   |                               |                             |                          |            | Gerð akkeris:        |           |           |                       |  |      |   |
|   |  | Gerð akkeris:   |                               |                             |                          |            | Fjöldi víra í kapli: |           |           |                       |  |      |   |
| <b>Ídráttarrör</b>  |  | Framleiðandi:   |                               |                             |                          |            | Gerð ídráttarröra:   |           |           |                       |  |      |   |
|   |  | Þvermál röra:   |                               |                             |                          |            | Þykkt röra:          |           |           |                       |  |      |   |
| <b>Grautur</b>  |  | Framleiðandi:   |                               |                             |                          |            | Gerð grauts:         |           |           |                       |  |      |   |
| <b>verkmiðjuframleiddur</b>   |  | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | S <sub>2</sub> <sup>-</sup> | Vatn                     |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Kröfur:   |  | <0,1%           | <4,5%                         | <0,01%                      | Drykkjarh.               |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Innihald:   |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| <b>blandaður á staðnum</b>  |  | Framleiðandi:   |                               |                             |                          |            | Blöndunarhlutf.:     |           |           |                       |  |      |   |
|   |  | Cl <sup>-</sup> | SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> | S <sub>2</sub> <sup>-</sup> | Vatn                     |            | Sement:              |           |           |                       |  |      |   |
| Kröfur:   |  | <0,1%           | <4,5%                         | <0,01%                      | Drykkjarh.               |            | Íblendi:             |           |           |                       |  |      |   |
| Innihald:   |  |                 |                               |                             |                          |            | Íaukar:              |           |           |                       |  |      |   |
| <b>Blöndun grauts</b>   |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Forprófanir á graut:  |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Sigtipróf:  |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Flæðipróf:  |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Vatnsskilnaðarpróf:   |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Rúmmálsbreyting:  |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Styrkur:  |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |
| Rúmþyngd:   |  |                 |                               |                             |                          |            |                      |           |           |                       |  |      |   |

| Framkvæmd                      |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
|--------------------------------|--|--|---------------------------|--|--|---------------------|--|------|----------|------|--|------|--|---------|
| <b>Lagning ídráttarröra</b>    |  |  | Úttekt:                   |  |  | dags.               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Stólun röra:                   |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Stólun járnagrindar:           |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Mæling á kapallegu:            |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Útloftun:                      |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Samskeyti:                     |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
|                                |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| <b>Frágangur akkera</b>        |  |  | Úttekt:                   |  |  | dags.               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Staðsetning:                   |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Stefna/horn:                   |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Þræðing kapla:                 |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Vinnuaðstaða við enda:         |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Hitamælingar við akkeri:       |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Einangrun við akkeri:          |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
|                                |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| <b>Uppspenna</b>               |  |  | Úttekt:                   |  |  | dags.               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Spennilisti:                   |  |  | Höfundur:                 |  |  | dags.               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Uppspenniáætlun:               |  |  |                           |  |  | dags.               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Tjakkur:                       |  |  | Gerð:                     |  |  | Stærð:              |  |      | Kvörðun: |      |  |      |  |         |
| Verkstjóri:                    |  |  |                           |  |  | Ferilskrá:          |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Steypustyrkur við uppsennu:    |  |  |                           |  |  | Aldur               |  | Nr.1 |          | Nr.2 |  | Nr.3 |  | Meðalt. |
|                                |  |  | Brotstyrkur sívalninga:   |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
|                                |  |  | Hitamælingar:(gráðudagar) |  |  | Endi 1              |  |      |          |      |  |      |  |         |
|                                |  |  | Endi 2                    |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Veður við uppsennu:            |  |  | dags.                     |  |  | Hiti:               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Útfylltir spennilistar:        |  |  | dags.                     |  |  | Samþykkt verkkaupa: |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Kaplarnir skornir:             |  |  | dags.                     |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Athugasemdir við uppsennu:     |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
|                                |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| <b>Grautun</b>                 |  |  | Úttekt:                   |  |  | dags.               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Grautunaráætlun:               |  |  |                           |  |  | dags.               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Tækjabúnaður:                  |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Tæki til vara, viðbragðsáætlun |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Verkstjóri grautunar:          |  |  |                           |  |  | Ferilskrá:          |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Veður við grautun:             |  |  | dags.                     |  |  | Hiti:               |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Athugasemdir við grautun:      |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Niðurstöður prófana á graut:   |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Sigtipróf:                     |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Flæðipróf:                     |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Vatnsskilnaðarpróf:            |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Rúmmálsbreyting:               |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Styrkur:                       |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |
| Rúmþyngd:                      |  |  |                           |  |  |                     |  |      |          |      |  |      |  |         |

| Fylgiskjöl með spenniskýrslu |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| Vottorð um spennistál:       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Upplýsingar um spennikerfi:  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Upplýsingar um graut:        |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Spennilisti:                 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Útfylltur spennilisti:       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Uppspenniáætlun verktaka     |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Grautunariáætlun verktaka    |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

### 3.2 Gátlist fyrir hönnuði

|   |  |                          |  |                       |                |
|---|--|--------------------------|--|-----------------------|----------------|
|  |  | <b>Gæðastýring verks</b> |  | Útgáfa 01 - feb. 2021 | bls. 1         |
| <b>Uppspenna og grautun, gátlisti hönnuða</b>                                     |  |                          |  | Verkpættir nr.        | 84.36 og 84.37 |
| Heiti verks:  |  | Hönnuður                 |  |                       |                |
| Verkefnisstjóri:  |  | Teikning:                |  |                       |                |
| Dagsetning:   |  | Yfirfarið:               |  |                       |                |
| <b>Hönnun</b>   |  |                          |  |                       |                |
| Atriði (vísað í ÍST EN 1992-1-1)  |  |                          |  | Athugasemdir          |                |
| Hámarkskraftur í kapli, (5.10.2.1)  |  |                          |  |                       |                |
| Hámarksspenna í steypu við uppspennu (5.10.2.2)                                   |  |                          |  |                       |                |
| Spennutöp vegna skriðs, rýrnunar og styttingar steypu                             |  |                          |  |                       |                |
| Spennutöp vegna núnings í rörum ( $\mu$ og $k$ )                                  |  |                          |  |                       |                |
| Þvingunarvægi   |  |                          |  |                       |                |
| Vægiþol ákvarðandi þversniða í brotástandi  |  |                          |  |                       |                |
| Togspennulaus þversnið í notástandi   |  |                          |  |                       |                |
| Skúfstyrkur þversniða   |  |                          |  |                       |                |
| Vinda   |  |                          |  |                       |                |
| Kleyfnibending við akkeri (ETA)   |  |                          |  |                       |                |
| Millibil milli kapla (8.19.1.2)   |  |                          |  |                       |                |
| Millibil milli akkera (ETA)   |  |                          |  |                       |                |
| Krappi kapla  |  |                          |  |                       |                |
| Spennilistar með forsendum  |  |                          |  |                       |                |
| Athuga griplengdir við uppspennu  |  |                          |  |                       |                |
| Yfirfara spennilista frá uppennifyrirtækinu                                       |  |                          |  |                       |                |
| Yfirfara/samþykkja uppspennu kapla fyrir kapalskurð                               |  |                          |  |                       |                |



| Teikningar   |  |              |
|--|--|--------------|
| Atriði   |  | Athugasemdir |
| Kaplar númeraðir, athuga snið                          |  |              |
| Staðsetning á akkerum                                  |  |              |
| Kapalhorn í akkeri, í lárétu og lóðréttu plani         |  |              |
| Kapalúrtök málsett, hæfileg fyrir tjakk                |  |              |
| Járnalögn út úr enda, kemst tjakkur fyrir              |  |              |
| Kapallega í lóðréttu plani, 1 m millibili              |  |              |
| Kapallega í lárétu plani, 1 m millibili                |  |              |
| Fer kapall gegnum steypuskil? Skilgreina stað og halla |  |              |
| Er kapallegan miðuð við miðju kapals eða undir rör?    |  |              |
| Staðsetning á útloftunarrörum, drenrörum               |  |              |
| Skilgreining á kapli og rorum á teikningu              |  |              |
| Deiliteikning ad akkerum og járnalögn umhverfis        |  |              |
| Er deiliteikning í heppilegum kvarða?                  |  |              |
| þarf að uppfæra teikningar þegar spennikerfi er valið? |  |              |
| Verklýsing   |  |              |
| Atriði   |  | Athugasemdir |
| Skilgreining á spennikerfi skv. fsÍST EN 10138         |  |              |
| Þvermál, flatarmál vírs, togþol, brotkraftur           |  |              |
| Fjöldi víra í kapli                                    |  |              |
| Uppspennikraftur eftir læsingu                         |  |              |
| Uppspenniröð   |  |              |
| Spennt frá öðrum enda/báðum endum                      |  |              |
| Lágmarksstyrkur steypu við uppspennu                   |  |              |
| Sérákvæði um grautun?                                  |  |              |
| þarf sérákvæði um yfirsteypu akkera?                   |  |              |
| þarf að breyta verklýsingu þegar spennikerfi er valið? |  |              |

### 3.3 Gátlisti fyrir eftirlit og verktaka

|   |  |                          |  |                       |  |                |  |
|---|--|--------------------------|--|-----------------------|--|----------------|--|
|  |  | <b>Gæðastýring verks</b> |  | Útgáfa 02 - feb. 2021 |  | bls. 1         |  |
| <b>Uppspenna og grautun, gátlisti</b>   |  |                          |  | Verkpættir nr.        |  | 84.36 og 84.37 |  |
| Heiti verks:  |  |                          |  | Verktaki:             |  |                |  |
| Ábyrgðam. verktaka:   |  |                          |  | Verkstjóri:           |  |                |  |
| Vinna hófst:  |  |                          |  | Vinnu lauk:           |  |                |  |
| <b>Verkstjórn</b>   |  |                          |  |                       |  |                |  |
| <b>Atriði</b>   |  |                          |  | <b>Athugasemdir</b>   |  |                |  |
| Uppspennustjóri með reynslu (CV)  |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Uppspennustjóri með réttindi  |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Grautunarstjóri með reynslu   |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Grautunarstjóri með réttindi  |  |                          |  |                       |  |                |  |
|   |  |                          |  |                       |  |                |  |
| <b>Spennikerfi</b>  |  |                          |  |                       |  |                |  |
| <b>Atriði</b>   |  |                          |  | <b>Athugasemdir</b>   |  |                |  |
| Er spennikerfið með ETA og CE merkt   |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Eru allir hlutar úr sama kerfi?   |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Eru allir hlutar merktir (DoP)  |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Eru núningsstuðlar og lásatap gefið   |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Eru rörin með rétt þvermál og þykkt   |  |                          |  |                       |  |                |  |
| <b>Meðferð spenniefnis</b>  |  |                          |  |                       |  |                |  |
| <b>Atriði</b>   |  |                          |  | <b>Athugasemdir</b>   |  |                |  |
| Er allt spenniefni merkt  |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Er spenniefni geymt á öruggum stað mtt. veðurs                                    |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Spennivír í rúllum  |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Spennivír í hentugum statfum fyrir þræðingu                                       |  |                          |  |                       |  |                |  |
| Spennivír laus við ryð og óhreinindi  |  |                          |  |                       |  |                |  |

| <b>Gálisti fyrir steypu</b>   |  |                     |
|---|--|---------------------|
| <b>Atriði</b>   |  | <b>Athugasemdir</b> |
| Bárurör og tengimúffur laus við ryð og skemmdir                               |  |                     |
| Bárurör fest niður til að koma í veg fyrir uppdrift og færslu við steypuvinnu |  |                     |
| Kaplar eru beinir og í réttri hæð   |  |                     |
| Samskeyti eru vel límd og stútar frágengnir                                   |  |                     |
| Eru rörin bein út úr tromtetinum  |  |                     |
| Eru kapalrörin óskemmd  |  |                     |
| Eru öll akkeri rétt staðsett og með rétt horn                                 |  |                     |
| Eru gormar rétt staðsettir  |  |                     |
| Útloftunarslöngur í öllum hápunktum og við enda                               |  |                     |
| Rétt hæð á útloftunarslöngum  |  |                     |
| Eru útloftunarslöngurnar merktar  |  |                     |
| Dren í öllum lágpunktum   |  |                     |
| Allar slöngur vel festar og nógu langar og óklemmdar                          |  |                     |
| Tengijárn við endasteypur eru rétt lögð                                       |  |                     |
| Járnalögn við akkeri rétt og á réttum stað                                    |  |                     |
| Akkeri og kaplar (ef þræddir) varðir fyrir steypu og óhreinind.               |  |                     |
| Eru tiltækar yfirbreiðslur a.m.k. fyrir brúarenda og akkeri                   |  |                     |
| Hitamælar á réttum stöðum   |  |                     |
| <b>Gálisti fyrir uppspennu</b>  |  |                     |
| <b>Atriði</b>   |  | <b>Athugasemdir</b> |
| Spennilistar rá hönnuði/uppennufyrirtæki                                      |  |                     |
| Uppspennuáætlun fyrirbyggjandi  |  |                     |
| Uppspennustjóri með réttindi  |  |                     |
| Öryggisáætlun fyrirbyggjandi  |  |                     |
| Svæðið aftan við akkeri skermað af fyrir fólki                                |  |                     |
| Steypustyrkur er nægur skv. hitamælingum                                      |  |                     |
| Steypustyrkur er nægur skv. brotprófum sívalninga                             |  |                     |
| Akkerisplötur og fleygar óskemmd og hrein                                     |  |                     |
| Akkerisplötur festar í akkeri og fleygar á sínum stað                         |  |                     |
| Spennivír rétt þræddur, krossast ekki   |  |                     |
| Endar á spennivír hæfilega langir út úr akkeri                                |  |                     |
| Spennivír læstur í passífa endann   |  |                     |
| Tjakkur kalibreraður, vottorð liggur fyrir                                    |  |                     |
| Engar hættur eða hindarnir á aðliggjandi hlutum                               |  |                     |
|   |  |                     |

| <b>Gálisti við uppspennu</b>                           |  |                                      |
|--|--|--------------------------------------|
| <b>Atriði</b>  |  | <b>Athugasemdir</b>                  |
| Uppspennustjóri fær vinnufrið                          |  |                                      |
| Uppspennustjóri fær nægilega aðstoð frá verktaka       |  |                                      |
| Tékka læsingu í passífa endanum                        |  |                                      |
| Kapallenging og kapalkraftur mælt                      |  |                                      |
| Mæld gildi borin saman við reiknuð gildi í spennilista |  |                                      |
| Sprungumyndun við uppspennu                            |  |                                      |
| Uppspennuskýrsla útfyllt                               |  |                                      |
| Uppspennuskýrsla samþykkt, eftirlit/hönnuður           |  |                                      |
| Spennivírar skornir (eftir 12 klst.)                   |  |                                      |
| Allir kaplar/vírar uppspenntir, fleygar í réttri stöðu |  |                                      |
| <b>Gálisti fyrir grautun</b>                           |  |                                      |
| <b>Atriði</b>  |  | <b>Athugasemdir</b>                  |
| Grautur hefur verið samþykktur, verksmiðjugrautur?     |  |                                      |
| Grautur hefur verið forprófaður, niðurstöður?          |  | Sömu próf og við framleiðsluprófanir |
| Grautunaráætlun er til staðar, prófunaráætlun          |  |                                      |
| Neyðaráætlun til staðar                                |  |                                      |
| Grautunartæki til staðar, aukatæki ef eitthvað bilar   |  |                                      |
| Grautunarstjóri með réttindi                           |  |                                      |
| Veðurskilyrði uppfyllt, 3 dagar frostlausir            |  | Séraðgerðir vegna hita               |
| Þrýstiprófun á rörum og slöngum, lokar á slöngum       |  |                                      |
| Slöngur merktar og aðgengilegar við grautun            |  |                                      |
| <b>Gálisti við grautun</b>                             |  |                                      |
| <b>Atriði</b>  |  | <b>Athugasemdir</b>                  |
| Lofthiti, hiti í brú og í graut                        |  | +3, +3, +10°C helst +5. +5, +10      |
| Eiginleikar grauts, framleiðsluprófanir                |  |                                      |
| Sigtipróf  |  | 1 próf áðun en vinna hefst           |
| Flæðiþróf, trekt eða glerplötu                         |  | 3 próf/dag                           |
| Vatnsskilnaður/rúmmálsbreyting, Wick próf              |  | 2 próf/dag                           |
| Styrkur  |  | 3 sýni/dag                           |
| Rúmþyngd   |  | 2 próf/dag                           |
| Grautarþrýstingur                                      |  |                                      |
| Rúmmál af graut  |  |                                      |
| Fylgjast með graut sem kemur út hinum megin            |  |                                      |
| Grautarþrýstingur við lokun, +0,2-0,5 Mpa í mínútu     |  |                                      |

| <b>Gálisti við grautun</b>                         |  |                                 |
|--|--|---------------------------------|
| <b>Atriði</b>                                      |  | <b>Athugasemdir</b>             |
| Lofthiti, hiti í brú og í graut                    |  | +3, +3, +10°C helst +5, +5, +10 |
| Eiginleikar grauts, framleiðsluprófanir            |  |                                 |
| Sigtipróf  |  | 1 próf áður en vinna hefst      |
| Flæðipróf, trekt eða glerplötu                     |  | 3 próf/dag                      |
| Vatnsskilnaður/rúmmálsbreyting, Wick próf          |  | 2 próf/dag                      |
| Styrkur  |  | 3 sýni/dag                      |
| Rúmþyngd   |  | 2 próf/dag                      |
| Grautarþrýstingur                                  |  |                                 |
| Rúmmál af graut                                    |  |                                 |
| Fylgjast með graut sem kemur út hinum megin        |  |                                 |
| Grautarþrýstingur við lokun, +0,2-0,5 Mpa í mínútu |  |                                 |
| <b>Gálisti eftir grautun</b>                       |  |                                 |
| <b>Atriði</b>                                      |  | <b>Athugasemdir</b>             |
| Taka/skera slöngur                                 |  |                                 |
| Eru slöngur fullar af graut?                       |  |                                 |
| Slöngur, grautarlok                                |  |                                 |
| Yfiesteypa á akkerum, járnalögn lokar, tengijárn   |  |                                 |
|  |  |                                 |

## 4 HUGLEIÐINGAR UM VERKLÝSINGAR OG EFTIRLIT

Verklýsingarnar hér að framan má gera verulega styttri með því að vísa eingöngu í kröfur í stöðlum um steypuvinnu (ÍST EN 13670), uppspennu, grautun og prófanir (ÍST EN 445, 446, og 447). Hér hefur verið valið að skrifa inn það sem skiptir máli við framkvæmdirnar fyrir verktakann án þess að hann þurfi að hafa öll þessi skjöl við hendina við pöntun á efni og vinnu á verkstað. Það er hins vegar hægt að gera mun betur að gera verklýsinguna að hreinni kröfulýsingu en gert er hér að framan.

Hér á eftir eru hugleiðingar um ýmis atriði sem þarf að skoða betur og taka afstöðu til við almennar verklýsingar.

**Kapalrör:** Gylfi Sigurðsson<sup>19</sup> hefur fært fram sannfærandi rök fyrir því að við ættum að skilgreina plaströr fyrir kapla í stað blikkröranna. Reynsla verktaka (Ístaks) við brýrnar á Steinavötn, Fellsá og Brunná var að þau væru erfiðari í innkaupum þar sem framleiðendur eru ekki margir, en að þau væru þægilegri í geymslu, notkun og samsetningum. Hann hafði á orði að hann myndi velja þau ef hann mætti ráða, þrátt fyrir að verðmunur væri einhver. Þá er einnig kostur að núningsstuðull er lægri í plaströrum en blikkrörum. Í verklýsingu er báðum kostum haldið, en þá þarf að skilgreina í greiðslulið hvort skal velja, eða leyfa verktaka að velja.

**Vellingur til grautunar:** Í verklýsingum Vegagerðarinnar var alltaf gert ráð fyrir að vellingur væri blandaður á staðnum úr sementi, vatni og íblöndunarefnum. Sementsframleiðendur hafa á síðari tímum þróað tilbúið þurrefni í velling í pokum þar sem einungis þarf að blanda vatni í þurrefnið. Þetta hefur tvo kosti, í fyrsta lagi að blandan hefur verið forprófuð og fylgja prófunarniðurstöður með pöntun og í öðru lagi þarf ekki að skammta nema þurrefni og vatn sem gerir blöndunina einfaldari og væntanlega öruggari. Það er því spurning hvort eigi að bjóða upp að nota velling sem blandaður er á staðnum. Þetta er einnig í samræmi við sjónarmið þeirra Gylfa í skýrslunni hér að ofan. Verktaki við Steinavötn og einnig við Strandgötubru á Reykjanesbraut var með forblandað þurrefni í pokum (frá sitt hvorum framleiðandanum) og hafði á orði að blandan kostaði það sama og sement í vellinginn. Hins vegar er verktaki sem er að byggja brú á Bjarnardalsá á Vestfjarðavegi að nota velling blandaðan á staðnum.

---

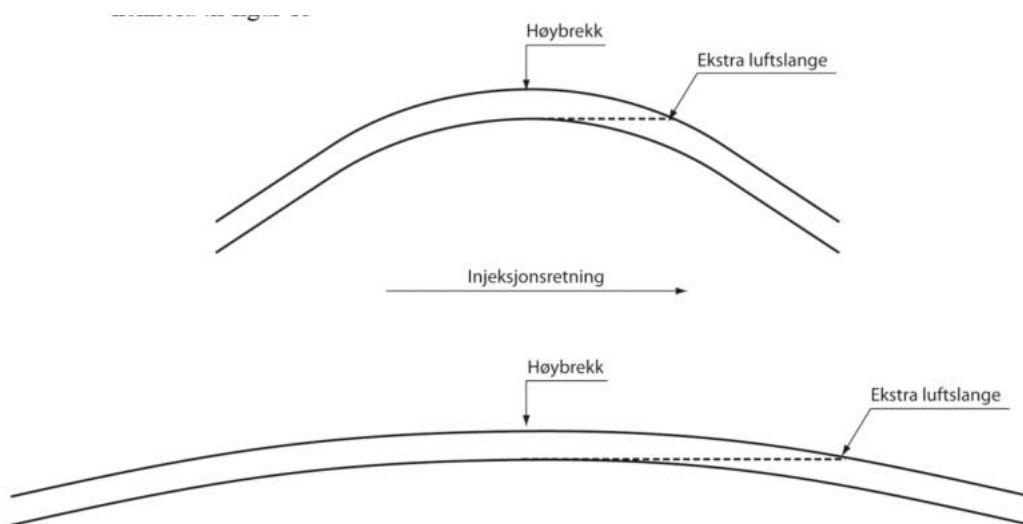
<sup>19</sup> Ídráttarrör úr rifluðu plasti fyrir spennikapla. Rannsóknarskýrsla fyrir Rannsóknarsjóð Vegagerðarinnar. Vegagerðin, janúar 2015.

**Uppspennistjóri og grautunarstjóri:** Í ETA vottun frá framleiðanda spennikerfis stendur:

*Assembly and installation of tendons are only carried out by qualified PT specialist companies with the required resources and experience in the use of bonded multi-strand post-tensioning systems, see CWA 14646. The company's PT site manager has a certificate, stating that she or he has been trained by the ETA holder and that she or he possesses the necessary qualification and experience with the PT system DYWIDAG Strand.<sup>20</sup>*

Samkvæmt þessu þá verða ofangreindir verkþættir ekki unnir nema undir stjórn spennistjóra og grautunarstjóra frá framleiðanda spennikerfisins eða af einhverjum á hans vegum. Í verklýsingu eru í reynd ekki gerða svona strangar kröfur. Þar er opnað á að verktaki geti sinnt þessum verkþáttum ef hann hefur á að skipa mönnum með reynslu við verkþættina. Þetta er í samræmi við fyrri útgáfur verklýsingar, en nú er búið að lauma inn tilvísun í CWA 14646 þar sem ábyrgð, reynslu og menntun uppspennistjóra er skilgreind.

**Afvötnun kapalröra:** Það hefur ekki tíðkast hér á landi við brýr að afvatna kapalrör í lágpunktum. Þá hefur heldur ekki svo ég viti notuð tvöföld útloftun í hápunktum. Ekki heldur hefur verið virt miðmiðið að ekki skuli vera lengra á milli útloftunarstúta en 30-35 m.



**MYND 19** Leiðbeiningar um tvöfalda útloftun við hápunkta. Tekið úr NB publikasjon nr. 14.<sup>21</sup>

Þetta eru atriði sem snúa að hönnuðum og eiga ekki heima í verklýsingu. Þetta er hins vegar atriði sem verktaki og framleiðandi spennikerfis eiga að taka á til þess að framkvæmdin heppnist.

**Steypustyrkur við uppspennu:** Í almenn verklýsingu fyrir steypu yfirbyggingar þarf að koma ákvæði um hvernig staðið skal að mælingu á steypustyrk við uppspennu. Í sérverklýsingu fyrir uppspennu og grautun skilgreinir hönnuður lágmarksstyrk á steypu við uppspennu miðað við það spennikerfi sem hönnun miðast við. Þegar verktaki hefur ákveðið hvaða kerfi hann hyggst nota þarf að yfirfara hönnun á spennikerfinu í samræmi við ETA fyrir kerfið. Það tekur til atriða svo sem til fjarlægðar milli akkera, stærð úrtaka, kleyfnibendingu við akkeri og steypustyrk við uppspennu.

<sup>20</sup> European Technical Assessment, ETA-13/0815 frá 25.06.2018.

<sup>21</sup> Spennarmeringsarbeider. Norsk betongforening Publikasjon nr. 14. 2016.

Það hefur brunnið við að sýni úr steypu yfirbyggingar, sem ætluð eru til að finna steypustyrk við uppspennu, hafa einungis verið geymd við 20°C hita. Þau gefa því kolranga mynd af þroska steypunnar þegar að uppspennu kemur. Það er því nauðsynlegt að setja inn klausu í sérverklýsingu fyrir steypu yfirbyggingar sem fyrirskrifar hvernig sýnt skuli fram á styrk steypunnar.

Eftirfarandi klausa var sett inn í útboðsgögn fyrir brú yfir Strandgötu í Hafnarfirði:

*Til viðbótar við ofangreind sýni skal taka 3 sýni úr steypu við akkeri spennikapla sem geyma skal undir ábreiðu við brúarenda við sömu aðstæður og eru við akkerin. Þessi sýni skal brjóta áður en uppspenna hefst.*

*Mæla skal steypuhita við akkeri spennikapla til að meta steypustyrk áður en kalpar eru spenntir upp. Staðsetning mæla skal vera þannig að gott mat fái á þroska steypu við akkeri.*

Við þetta má bæta að í verklýsingu á steypu yfirbyggingar er rétt að herða á kröfum um yfirbreiðslu eftir steypu. Nú eru til mjög handhægar einangrunarmottur sem gjörbreyta hitafari í steypunni eftir steypu. Það á sérstaklega við um endana þar sem akkerin eru staðsett. Slíkar mottur ætti að fyrirskrifa ef að líkur eru á að þessir verkþættir verði unnir utan hásumars, maí – september. Reynslan sýnir að flestar brýr eru spenntar og grautaðar utan þessa tímabils. Það er mikið óhagræði í því ef að uppspenna frestast þannig að hitinn lækkar niður fyrir mörk fyrir grautun.

**Spennilisti:** Sú hefð hefur skapast hér á landi að hönnuðir hafa útbúið spennilista og uppfært hann miðað við upplýsingar um tjakk og verklag frá verktaka/framleiðanda spennikerfis. Samkvæmt stöðlum er spennilisti á ábyrgð framleiðanda spennikerfisins. Hönnuður leggur þá til hámarkskraft í kapli, reiknaða lengingu, upp spenniröðina og frá hvaða enda skal spennt. Framleiðandinn útbýr síðan sjálfan spennilistann. Þannig ber framleiðandi spennikerfisins ábyrgð á að verklagið sé í samræmi við það sem fyrirskrifað er í ETA fyrir kerfið.

Það er hins vegar hönnuða að koma öllum séróskum um upp spennuna á framfæri við framleiðanda spennikerfisins. Stundum hefur verið talin ástæða til að spenna hluta af köplum fljótlega eftir steypuvinnu og áður en steypan hefur náð nægilegum styrk fyrir fulla upp spennu. Slíkt á þá að koma fram í sérverklýsingu fyrir greiðsluliðinn.

**Punktur um upp spennni- og grautunarskýrslu:** Eins og fram kom í áfangaskýrslu 2 í þessu verkefni þá reyndist erfitt að afla þeirra upplýsinga um brýrnar, sem valdar voru, sem nauðsynlegar voru til að hægt væri að ástandsmeta brýrnar. Upp spennni- og grautunarskýrslur fundust af nokkrum þeirra en upplýsingarnar voru ekki alltaf þær sömu. Þá var oft skortur á upplýsingum um það efni sem notað var. Nú erum 18 eftirspenntar brýr orðnar yfir 50 ára gamlar. Nokkrar þeirra voru einbreiðar og af þeim hafa fáeinar verið breikkaðar síðan. En nú er væntanlega komið að því að fyrsta brúin af þeim verði rifin. Það er ekki vegna þess að hún hafi ekki staðist tímans tönn heldur er verið að endurbyggja einbreiða brú og breyta veglínu í leiðinni.

Reiknað er með að brýr sem hannaðar eru í dag komi til með að endast í 100 ár. Það er því mjög mikilvægt að allar helstu upplýsingar um hönnun og byggingu þeirra verði til taks í framtíðinni til þess að hægt verði að meta ástand þeirra. Því eins og komið var inn á hér að framan þá hafa slíkar brýr hrunið án fyrirvara og sýnilegra merkja um skemmdir. Það er því mikilvægt að fylgst sé með þeim og reynt á hverjum tíma að meta ástand þeirra út frá fyrirliggjandi gögnum. Það er best gert með því að til sé staðlað form fyrir upp spennni- og grautunarskýrslu og að þar sé safnað saman öllum gögnum um



framkvæmdina bæði það efni sem var notað en líka hvernig var staðið að henni og hvort eitthvað kom upp á sem gæti hafa áhrif á endingu brúarinnar.

**Punktur um gátlista hönnuða:** Gátlisti fyrir hönnun er helst til þess gerður að inn á teikningar og í verklýsingu rati allar þær upplýsingar sem nauðsynlegt er að séu fyrir hendi þegar ástand brúarinnar er metið til framtíðar.

**Punktur um gátlista eftirlits:** Í gátlistann er safnað saman ýmsum atriðum úr heimildum sem gott er fyrir eftirlit að hafa í huga við uppsteypu og uppspennu- og grautun. Það hefur borið á því að eftirlitsmenn með vega- og brúarframkvæmdum hafa ekki kynnst þessum verkþáttum og átta sig því ekki á mikilvægi þeirra fyrir endingu brúarinnar. Það eru til dæmi um að eftirlit hafi ekki verið til staðar við uppspennu- og grautarvinnu við brýr. Gátlistunum er ætlað að bæta að nokkru úr því.

## 5 NÆSTU SKREF

Í síðast6a áfanga þessa verkefnis er ráðgert að skoða nánar þær brýr sem valdar voru til frekari skoðunar í áfangaskýrslu 2.

Eins og þar kom fram reyndust upplýsingar sem tiltækar voru skannaðar hjá Vegagerðinni ekki nægilegar til þess að hægt væri að meta ástand þeirra eftir breskum matslykli með sannfærandi hætti. Það þarf því að kafa betur ofan í þau gögn sem til eru í skjalageymslu Vegagerðarinnar áður en lengra er haldið.

Síðan er áætlað að skoða brýrnar til þess að fylla betur í eyðurnar þar sem við á þannig að hægt sé að nálgast betur ástand þeirra. Hluti verkefnisins er að meta þær aðferðir sem hægt er að beita við þá upplýsingaöflun á brúnum sjálfum. Þar kemur til greina að mæla steypustyrk, steypuhulu á járn og kapalrör, klórmengunar í steypu og ýmislegt fleira.

Má reikna með að sótt verði um framhaldsstyrk í Rannsóknasjóð Vegagerðarinnar til að standa straum af þeim kostnaði sem af þessu hlýst á næsta ári.



