

# Útskiptanlegar brúalegur

## Rannsóknarverkefni



Gylfi Sigurðsson  
Aron Bjarnason



Mars 2015



## Efnisyfirlit

1.	Inngangur .....	1
2	Staðlar, staðaltílvísanir, tæringarvarnir, aðgengi, frágangur.....	2
2.1	Staðlar, staðaltílvísanir .....	2
2.1.1	Almennt.....	2
2.1.2	Eftirlit, viðhald og endurnýjun.....	2
2.1.3	Undirstöðuflötur lega, afstilling og lagþykkt múrs .....	2
2.1.4	Krafa um tæringarvörn skv. ÍST EN 1337-9.....	3
2.2	Dæmi um tæringarvarnir, aðgengi, frágangur .....	3
2.2.0	Almennt .....	3
2.2.1	Dæmi um kröfur til tæringarvarna .....	4
2.2.2	Aðgengi umhverfis legur.....	5
2.2.3	Dæmi um frágang lega úr gervigúmmí skv. ICE.....	5
3	Vettvangsskoðun.....	7
3.1	Almennt .....	7
3.2	Arnarneshæð.....	7
3.3	Borgarfjarðarbrú.....	7
3.4	Bæjarháls.....	9
3.5	Elliðaárbrú við Árbæjarstíflu.....	9
3.6	Elliðaárbrú (vestari) við Ártúnsbrekku.....	10
3.7	Gljúfurá í Borgarfirði.....	10
3.8	Litla Laxá við Flúðir .....	11
3.9	Norðurá hjá Haugum .....	12
3.10	Sog við Þrastalund .....	13
3.11	Stóra Laxá .....	13
3.12	Sæbraut .....	14
3.13	Þverá hjá Hvolsvelli.....	15
3.14	Brú á Ölvusárós.....	15
4	Rannsóknarverkefni í USA .....	19
4.0	Almennt .....	19
4.1	Útbreiðsla í USA.....	19
4.2	Heftisbilun í gervigúmmílegum .....	19
4.3	Gæði gervigúmmílega í dag (2008).....	20

4.4	Nokkrar niðurstöður rannsóknarinnar .....	20
5	Meistaraverkefni .....	21
5.0	Sængt meistaraverkefni .....	21
5.1	Kostir og gallar lega úr gervigúmmí .....	21
5.2	Legur úr gervigúmmí – dæmi um það sem þarf að yfirfara .....	21
5.3	Hreinsun og viðhaldsmálun .....	22
5.4	Dæmi um svör brúahönnuða .....	22
5.5	Nokkrar helstu niðurstöður meistararannsóknarinnar .....	23
6	Endurbót tæringarvarna .....	25
6.1	Tveggja laga (e: duplex) tæringarvarnarkerfi .....	25
6.2	Málningarkerfi, tæringarvörn .....	26
6.3	Ryðfrítt stál .....	27
6.4	Snerting heitsínkhúðaðas stáls og ferskrar steypu .....	28
7.	Til íhugunar og nánari skoðunar .....	29
8	Lokaorð .....	29
	Tilvísanir: .....	31



## 1. Inngangur

Brúalegur eru skilgreindar skv. [ÍST EN 1337-1:2000<sup>\(1\)</sup>](#) sem búnaður (e: element) sem gegnir því hlutverki að leyfa innbyrðis snúning milli tveggja burðarvirkjahluta og flytja álag skilgreint við tilteknar aðstæður, koma eftir atvikum í veg fyrir færslur (e: fixed bearing), leyfa færslu aðeins í eina átt (e: guided bearing) eða í allar áttir í plani (e: free bearing) eða eins og mælt er fyrir um í hverju tilviki. Í stað þess að útbúa brúalegurnar sjálfar með stýringum er gjarnan í staðinn komið fyrir sjálfstæðum málmfestingum, færslustýringum (e: restraint bearing), sem leysa þann þátt og geta eftir útfærslum hindrað hreyfingar í eina eða fleiri áttir.

Skv. [gr. 4 í ÍST EN 1337-1:2000<sup>\(1\)</sup>](#) á það vera almenn meginregla að unnt sé að yfirfara legur og leguhluta, viðhalda þeim og skipta þeim út, ef svo ber undir þannig að þær geti uppfyllt þær virknikröfur sem til er ætlast á líftíma mannvirkisins.

Í grein [2.3 í ÍST EN 1990:2002<sup>\(2\)</sup>](#), segir að stefna skuli að 100 ára hönnunarlíftíma fyrir brýr en 10 – 25 ára hönnunarlíftíma fyrir byggingahluta sem skipta má út svo sem legur (brúalegur væntanlega þar með taldar). Það er athyglisvert að legur skuli sérstaklega vera tilgreindar í staðlinum og vekur einnig upp spurningar um hver sé reynslan hér á landi. Mikilvægt er að þróa lausnir á brúalegum í ljósi bæði innlendrar og erlendrar reynslu.

Þar sem hér er vísað í Evrópustaðla, sem hafa formlega verið teknir upp sem íslenskir staðlar er rétt að halda því til haga, að Ísland er eitt CEN ríkjanna og sem slíkt höfum við skuldbundið okkur að innleiða Evrópustaðlana.

Í erli dagsins á meðan unnið er að einstökum verkefnum er ekki mikið rými til þess að rýna hvernig mismunandi legulausnir hafi komið út hvað varðar virkni, tæringu, endurnýjun, hvernig þróunin hefur verið hvað brúarlegur varðar o.s.frv. Í ársbyrjun 2014 var því sótt var um styrk til Rannsóknarsjóðs Vegagerðarinnar vegna verkefnisins; [Útskiptanlegar brúalegur](#), sem þannig var lýst í stuttri lýsingu með umsókninni:

*„Skv. ÍST EN 1990:2002 skal hanna brýr fyrir 100 ára líftíma. Á svo löngum líftíma er nauðsynlegt að geta skipt út ákveðnum mikilvægum þáttum, sem missa hluta eiginleika sinna með tímanum vegna öldrunar eða tæringar. Undir það falla brúalegur. Legurnar þurfa að vera aðgengilegar til endurnýjunar, hugsað fyrir sæti fyrir tjakk, útskipti þeirra auðveld og efnisval, tæringarvörn stálplata sem og festinga hugsuð út frá löngum líftíma.“*

Algengasta legugerðin í þeim brúm sem Vegagerðin hefur hannað síðustu 4 – 5 áratugin hafa verið legur úr gúmmíkenndum gerviefnum (e: elastomeric bearings), oftast stálstyrktar (þ.e. með láréttum stálplötum umluktum gervigúmmíi) og með blýkjarna þar sem áraun af völdum jarðskjálfta er umtalsverð. Með legunum hafa í mörgum tilvikum verið færslustýringar eins og lýst er hér að framan til þess að hindra færslur í eina eða fleiri áttir í plani.

Nálgun verkefnisins:

- Staðaltílvísanir í þessu sambandi, dæmi um tæringarvarnir, aðgengi og frágang
- Farið í vettvangsskoðanir– ástand lega skoðað í 13 brúm - ástandsmat
- Leitað eftir rannsóknum á vefnum á kostum og göllum mismunandi legulausna



- Leitast við að skoða hvernig legulausnir hafa þróast hjá viðurkenndum leguframleiðendum
- Ábendingar / tillögur til endurbóta

## 2 Staðlar, staðaltívisanir, tæringarvarnir, aðgengi, frágangur

### 2.1 Staðlar, staðaltívisanir

#### 2.1.1 Almenn

Um brúalegur gilda almennt staðlarnir [ÍST EN 1337 -1 til 9](#), þar sem hluti þeirra á við um allar brúalegur, en aðrir um ákveðnar legugerðir.

#### 2.1.2 Eftirlit, viðhald og endurnýjun

Í inngangi hér að framan er vísað í [gr. 4 í ÍST EN 1337-1:2000<sup>\(1\)</sup>](#) þar sem segir að það eigi að vera almenn meginregla að unnt sé að yfirfara legur og leguhluta, viðhalda þeim og skipta þeim út, ef svo ber undir þannig að þær geti uppfyllt þær virknikröfur sem til er ætlast á líftíma mannvirkisins.

Einnig kemur fram í [gr. 2.3 í ÍST EN 1990:2002<sup>\(2\)</sup>](#) að stefnt sé að 10 – 25 ára hönnunarlíftíma á byggingahlutum sem skipta má út svo sem legum.

Í [gr. 7.6 í ÍST EN 1337-1:2000<sup>\(1\)</sup>](#) segir að gera skuli ráðstafanir til þess að auðvelt sé að skipta legum eða hluta þeirra út með því að lyfta burðarvirkinu. Gengið skal út frá því við hönnun legunnar að burðarvirkinu verði lyft  $\leq 10$  mm, ef annað liggur ekki fyrir. Einnig segir að hlutinn sem skipt er út skuli að öllu leyti vera a.m.k. jafngildur hvað gæði varðar hlutanum, sem skipt er út.

Fjallað er um eftirlit með legum í [gr. 4 og 5 í ÍST EN 1337-10:2003<sup>\(5\)</sup>](#). Almenn segir í gr. 5 að yfirfara skuli ástand lega a.m.k. jafn oft og reglubundin skoðun brúarinnar er framkvæmd. Sérstaklega er tekið fram að þær skuli yfirfara, þegar jarðskjálfti hefur gengið yfir. Í gr. 4 er skilgreint nánar hvað skuli yfirfara í reglubundinni skoðun:

- að legan hafi nægilega getu fyrir afgang (e: residual) hreyfingu m.t.t. legugerðar að teknu tilliti til hitastigs mannvirkisins
- sýnilega galla
  - sprungur
  - ranga staðsetningu
  - ófyrirséða færslu eða aflögun
- ástand legusætisins
- ástand tæringarvarnar, rykvarnar og þéttinga
- ástand renni- eða veltiyfirborðs
- sýnilegar skemmdir í aðliggjandi byggingarhlutum

#### 2.1.3 Undirstöðufloður lega, afstilling og lagþykkt múrs

Í [gr. 7.1 í ÍST EN 1337-3:2005 Elastomeric bearings<sup>\(3\)</sup>](#) er fjallað um hámarks frávik snertiflatar frá fyrirskrifuðum fleti. Almenn er krafa gerð um að flöturinn sé hreinn og þurr og án korna. Ef réttstæði er lögð yfir skálínu flatarins eiga holur ekki að vera stærri en 2 mm eða 0,3% þeirra lengdar sem skoðuð er. Stærri gildið er ákvarðandi.

Krafa um hámarksfrávik frá sléttum fleti er skilgreind sem frávik í innbyrðis snúningi milli byggingahluta, sem má mest vera 0,3%.



Í gr. 6 í ÍST EN 1337-11:1997<sup>(6)</sup> er fjallað um hvernig stilla megir legur áður en múr sem rýrnar lítið er látinn flæða undir þær. Stilliskrúfur eru nefndar, en þá þurfa þær að vera 4 undir hverri legu, en einnig er getið um fleyga en stöðugleiki þeirra er væntanlega síðri.

Ein tilgreindra aðferða til þess að tryggja að múr verði örugglega undir legum er að setja þær ofan á stífan, mótanlegan (í plastísju ástandi) múr með yfirhæð, þannig að umfram múr sé þrýst / ýtt til hliðar, þegar legunni er komið fyrir á sínum stað.

Áhersla er jafnframt lögð á, að hvaða aðferð sem notuð sé tryggi að legan sitji á öllum fleti sínum.

Í gr. 6.6 í ÍST EN 1337-11:1997<sup>(6)</sup> er sett fram krafa um hámarks þykkt ójárnþent murlags undir legum á undirstöðum, sem t.d. Ítalska fyrirtækið Alga S.p.A gerir að sínum:

- $\leq 50$  mm eða
- $\leq 0,1 \times \frac{\text{flatarmál stálplötu}}{\text{ummál stálplötu}} + 15$  mm

Lægra gildið er ákvarðandi, en þykktin má heldur ekki vera minni en 3 sinnum stærsta kornastærð múrsins.

Krafa skv. staðlinum virðist a.m.k. vera rökrétt, þ.e. að þykkt murlagsins megir auka með vaxandi flatarmáli stálplötunnar undir legunni. Trefjastyrking múrsins gæti skipt máli varðand hámarksþykkt murlagsins, en það þarf að skoða sérstaklega t.d. trefjagerð, trefjamagn og áhrif.

Til samanburðar má benda á að í leiðbeiningum sem finna má á netinu frá Gumba (þýskur legu framleiðandi) á bls. 63 er sett fram að lagþykkt múrs geti verið á bilinu 20 – 50 mm.

#### 2.1.4 Krafa um tæringarvörn skv. ÍST EN 1337-9

Í gr. 4.1.1.1 í ÍST EN 1337-9:1997<sup>(4)</sup> eru settar fram kröfur til tæringarvarnarkerfis stáls í tengslum við legur:

Að 10 árum liðnum frá því búnaðurinn var afhentur skulu eftirfarandi kröfur uppfylltar:

- engar blöðrur / bólgur í magni umfram flokk 1 skv. ÍST EN ISO 4628-2<sup>(7)</sup>
- ekkert ryð umfram flokk Ri: 1 skv. ÍST EN ISO 4628-3<sup>(8)</sup>
- ekkert málningarniðurbrot umfram flokk 1 skv. ÍST EN ISO 4628-4<sup>(9)</sup>
- flögnunarstig málningar ekki umfram flokk 1 skv. ÍST EN ISO 4628-5<sup>(10)</sup>

Í ÍST EN 1337-9:1997, gr. 3.3<sup>(4)</sup> er sjávarumhverfi (e: marine environment) skilgreint sem staðir útsettir fyrir saltan sjávarúða og að tæringarhraðinn sé á bilinu 30 - 60 g / m<sup>2</sup> / ári, sem jafngildir þynningu sínklausins á bilinu 4,1 – 8,3 µm / ári.

## 2.2 Dæmi um tæringarvarnir, aðgengi, frágangur

### 2.2.0 Almenn

Skv. þeim teikningum brúa Vegagerðarinnar sem skoðaðar hafa verið í tengslum við verkefnið eru stálfestingar lega úr gervigúmmí úr venjulegu stáli, þ.e. ekki úr ryðfríu stáli. Tæringarvörn þeirra er ekki skilgreind í öllum tilvikum á teikningum, en þegar það er gert er krafa gerð um heitsínkhúðun án þess að heitsínkhúðaða yfirborðið sé málað. Það sama virðist lengst af hafa



átt við um færslustýringar, en nýleg dæmi eru til um að ryðfrítt, sýrufast stál hafi verið skilgreint, en ekki orðið að notkun þess þegar á reyndi.

### 2.2.1 Dæmi um kröfur til tæringarvarna

Skv. bæklingi frá þýska fyrirtækinu Gumba, sem finna má á netinu, kemur fram að kröfur skv. staðlinum séu uppfylltar með því að nota málningarkerfi skv. [ZTV-ING Part 4<sup>\(11\)</sup>](#), töflu A 4.3.2, kerfi Nr.1 fyrir legur, sem lítur þannig út:

- sandblástur að hreinsistigi Sa3
- sprautusínkhúðun 100 µm
- millilag á epoxy lím (e: resin) grunni 80 µm
- yfirborðslag á polyurethan grunni 80 µm

Skv. bæklingi frá Spennteknikk á netinu felst yfirborðsmeðhöndlun í eftirfarandi:

- sandblæstri að hreinsistigi Sa2,5
- sprautusínkhúðun Zn/Al 85/15 ≥ 85 µm
- epoxygrunni 15 - 25 µm
- epoxymálning 100 µm
- heildarlagþykkt ≥ 200 µm

Skv. tilboði frá Mageba:

Tæringavörn C4 skv. [ÍST EN ISO 12944-2<sup>\(22\)</sup>](#)

Tæringarvarnarkerfi A4.15 eða A8.01

Vænt ending H (High)

1. Sandblástur Sa 3
2. Sprautusínkhúðun 80 µm
3. Holufyllt (e: Pore filter) --µm eða
1. Sandblástur Sa 2 1/2
2. Zinc dust EP (epoxy) - grunnur, 2 þátta 80 µm
3. EP (epoxy málning), 2 - þátta 80 µm
4. PUR (polyurethan málning), 2 - þátta 80 µm
- Lagþykkt samtals, (e: target thickness) 240 µm

Eftirfarandi krafa er sett fram í gr. 84.86 í [Prosesskode 2<sup>\(12\)</sup>](#):

Meðhöndla skal sérstaklega snertiflöt milli heitsínkhúðaðs stálhlutar og ferskrar steypu bæði í inn- og útlötum t.d. í tengslum við undirsteypu fótplatna til þess að komast hjá efnabreytingum og gasmyndun við snertingu heitsínkhúðunar við sement (sementsslamm / sementsvelling), þegar það er úr afkrómuðu sementi (krómatsöltum eytt) (á t.d. við um allt Norskt sement).

Nota skal aðferðir sem vitað er að skili árangri svo sem:

- einangra síunkið frá sementinu (sementsslamminu / sementsvellingnum) með epoxymálningu, sem þurrum sandi er stráð yfir eða
- með sérstöku sínklagi, sem inniheldur króm í eftirmeðhöndlunaraðgerð að heitsínkhúðun lokinni

Naglar / boltar, sem verða eftir í steypunni og notaðir eru til festingar innsteypra hluta, skulu vera úr ryðfríu stáli.



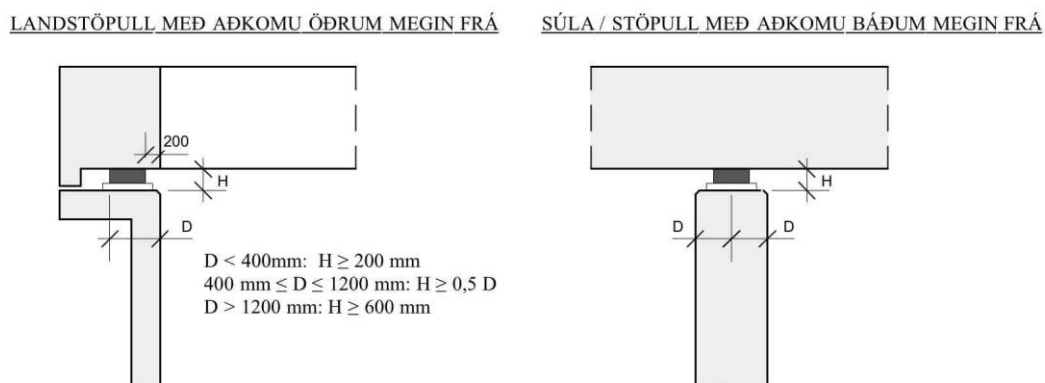
Til samanburðar er í gr. 6.2 (5) í ÍST EN 13670<sup>(21)</sup> fjallað um heitsínkhúðaða járnþendingu á eftirfarandi hátt

„Þegar sínkhúðuð þending er notuð, skal sínkhúðin vera nægilega óvirk til að komast hjá efnahvörfum milli hennar og sementsins, annars skal steypa framleidd með sementi sem hefur engin skaðvænleg áhrif á bindinguna við sínkhúðuðu þendinguna.“

### 2.2.2 Aðgengi umhverfis legur

Í gr. 4.7 í [Reglum um hönnun brúa](#)<sup>(20)</sup>, sem byggir á norsku brúhönnunar-leiðbeiningunum; [Hándað V499, Bruþrosjektering Eurokodeutgave](#)<sup>(13)</sup> er sett fram krafa um nauðsynlegt rými í til þess að unnt sé að sinna eftirliti og viðhaldi í tengslum við legur.

Á mynd 1 er dæmi úr [Reglum um hönnun brúa](#) um tilvik, þar sem aðkoma er að legu frá einni hlið. Hæðin H er háð dýptinni D og krafa um hæðina H er metin sérstaklega í burðarvirkjum með legum með miklar hreyfingar.



Mynd 1 – föst lega: Krafa um fría hæð við legur

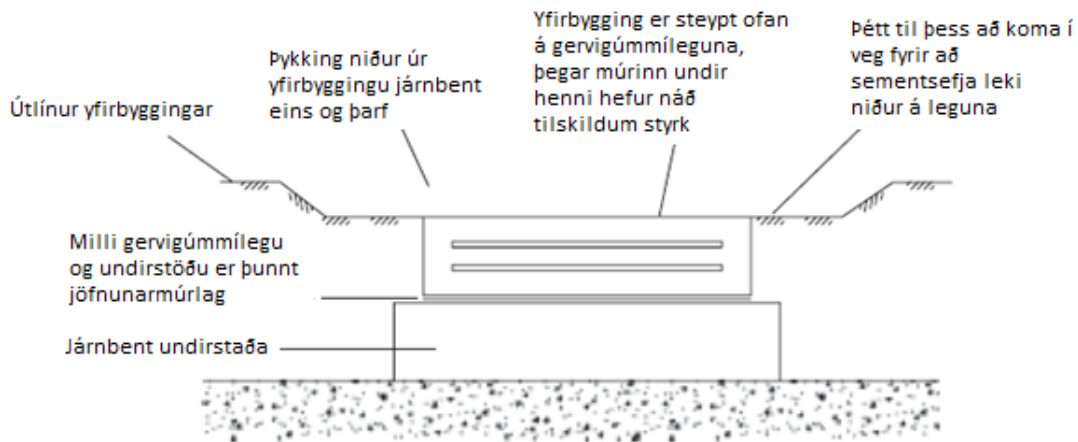
Í gr. 12.4.5 í sömu heimild segir eftirfarandi:

„Unnt á að vera að skoða ástand lega. Undir- og yfirbygging brúa eiga að vera þannig hannaðar og leystar að unnt sé að lyfta yfirbyggingunni upp til þess að stilla og skipta um legur. Fletirnir sem lyftibúnaðurinn á að hvíla á eiga að vera láréttir.“

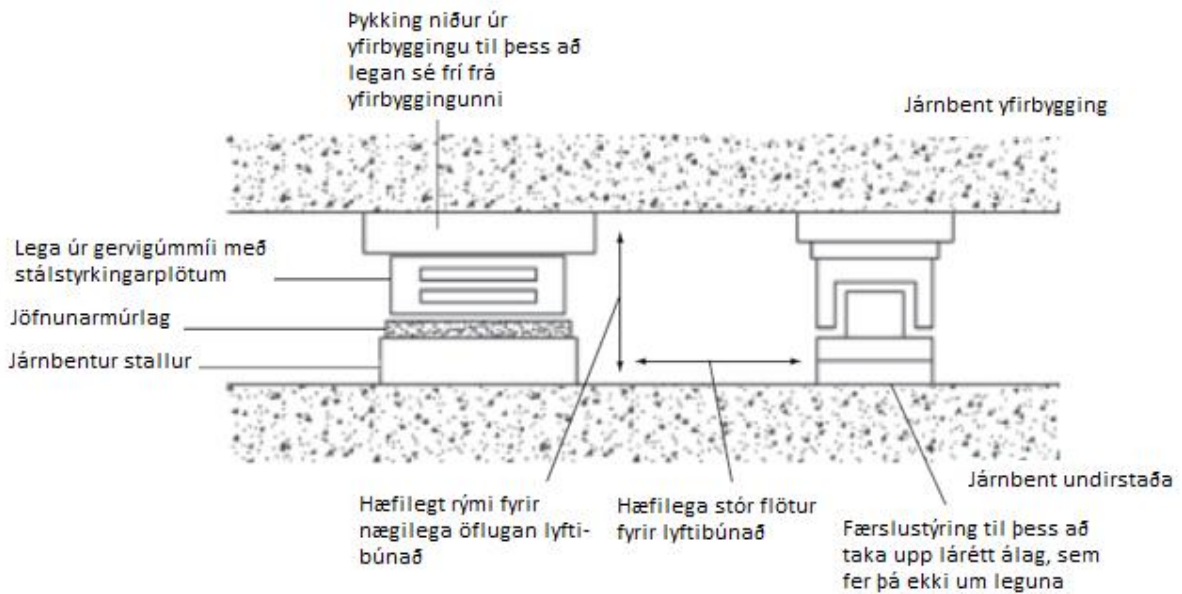
Stærðir (mál) ásetuflata fyrir lyftubúnað eiga að samsvara nauðsynlegum áætluðum stærðum lyftibúnaðar að meðtöldum vikmörkum.“

### 2.2.3 Dæmi um frágang lega úr gervigúmmíi skv. ICE

Eftirfarandi myndir eru settar fram í [ICE \(Institution of Civil Engineeres\) Manual](#)<sup>(14)</sup> og eiga að sýna eðlilegan frágang lega úr gervigúmmíi (e: elastomeric bearings). Ábendingar eru um nægjanlegt rými fyrir lyftibúnað og að múrlög eigi að vera þunn enda er burðargeta ójárnþents múrs veikari en bentrar steypu.



Mynd 2 – lega úr gúmmíkenndu efni á steiptum og járnbentum stalli



Mynd 3 – lega úr gúmmíkenndu efni á steiptum og járnbentum stalli, en færslustýring til hliðar

## 3 Vettvangsskoðun

### 3.1 Almennt

Vettvangsferðir voru þrjár og legur skoðaðar í 13 brúm. Skoðunin fólst í sjónmati og markmiðið að fá viðunandi yfirlit yfir ástandið á legum í brúm hér á landi. Einnig voru teknar myndir til þess að skoða og endurmeta stöðuna þegar heim væri komið og eins til þess unnt verði að fá hugmynd um og meta breytingar að næstu skoðun lokinni.

### 3.2 Arnarneshæð

Byggingarár: 1990

Legugerð: Allar legur eru úr gervigúmmí af gerðinni Gumba, gerð B

Hreyfimöguleikar: Hlutverk leganna er ekki að takmarka hreyfimöguleika brúarinnar

Ástand: Ekki er annað sjá en allar legur séu í góðu lagi, en bungur eru vel sýnilegar milli stálstyrkingarplatna leganna. Með hliðsjón af gr. 4.2 eru þær eðlilegar. Búast má við að sprungur og síðan rifur myndist í gervigúmmíinu með tímanum (öldrun), ef bungur verða mjög stórar. Steypukleprar ganga niður á a.m.k. eina leganna, sem er óæskilegt m.t.t. hreyfimöguleika.



Mynd 4 og 5 – legur í brú á Arnarneshæð – landstöpull

### 3.3 Borgarfjarðarbrú

Byggingarár: 1979

Legugerð: Legur á landstöplum eru annars vegar úr gervigúmmí (e: elastomeric) gerð B og hins vegar eru færslustýringar úr stáli. Skv. teikningum eiga færslustýringarnar að vera heitsínkhúðaðar, en krafa um lagþykkt er ekki sett fram

Hreyfimöguleikar: Hvert haf fyrir sig er sjálfstætt, þannig að það sem takmarkar hreyfingarnar í hverju hafi eru færslustýringarnar, ef álagið er umfram það lárétta álag, sem legurnar úr gervigúmmí geta tekið upp

Ástand: Að þessu sinni var látið nægja að skoða legur á landstöplum, enda þarf sérstakan búnað til að skoða legur á millistöplum. Á hinn bóginn er full ástæða til þess að skoða legurnar á þeim einnig í ljósi ástands lega á landstöplum. Ekkert virtist athugasemjaverð við sumar leganna á landstöplunum, sjá mynd 6, en í öðrum mátti sjá tæringu út frá láréttum

stálstyrkingarplötum og því rifur eða sprungur í gervigúmmiinu eða aðeins sprungur og tæring ekki sýnileg, sjá myndir 8 og 9. Ástand gervigúmmilega á landstöpli vestanmegin virðist a.m.k. fljótt á litið betra. Sammerkt með öllum gervigúmmilegum sem skoðaðar voru var, að múrinn hefur verið látinn ganga 20 – 30 mm upp á legurnar, sem er óheppilegt eins og áður hefur komið fram, því það takmarkar hreyfinguleika þeirra. Afleiðing af því var m.a. að múrinn var sprunginn í sumum tilvikum.

Allar færslustýringar eru ryðgaðar og efsti hluti þeirra næst steypu bitunum jafnvel kolryðgaður

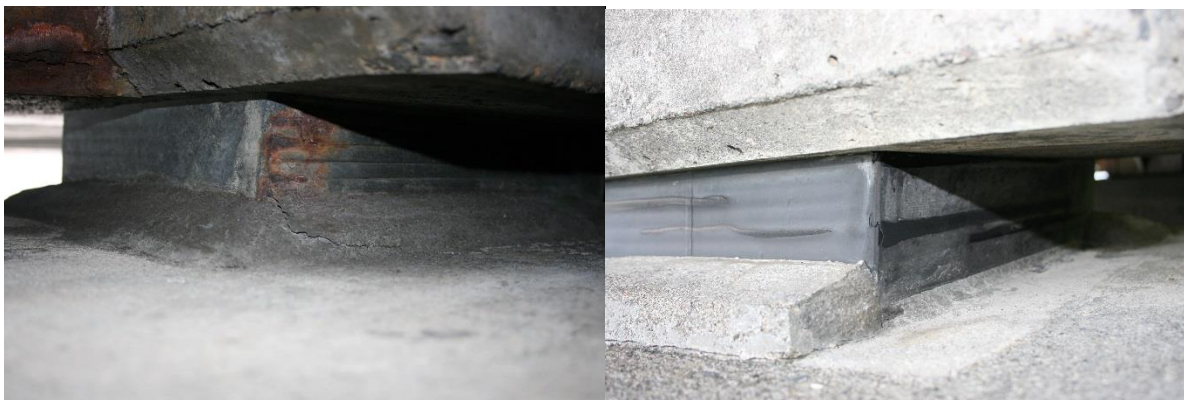
Orsök skemmda:

Ekki er unnt að sjá einhverja eina einhlíta skýringu á mismunandi ástandi á gervigúmmilegunum, því aðstæður er mjög sambærilegar undir öllum langbitum. Hugsanleg skýring gæti þá verið breytileiki í framleiðslu leganna, sem veldur því að gervigúmmið er mishæft til þess að takast á við aldurstengdar breytingar – öldrun.

Orsök mikillar tæringar færslustýringanna gæti legið í vinnuaðferðinni við heitsínkhúðunina, efnasamsetning stálsins hafi verið fremur óheppileg m.t.t. heitsínkhúðunar og ekki er útilokað að ásoðnar festingar þeirra, sem ganga upp í fremur þrönga bita, hafi í einhverjum tilvikum snert bendistálið og það hafi e.t.v. myndast fórnarskaut



Myndir 6 og 7 – brú á Borgarfjörð – legur á landstöpli austanmegin



Myndir 8 og 9 – brú á Borgarfjörð – legur á landstöpli austanmegin

### 3.4 Bæjarháls

Byggingaár: 1994

Legugerð: Allar legur eru úr gervigúmmíi, af gerð C í landstöplum og gerð B í millistöplum. Legur í landstöplum eru með blýkjörnum. Allar stálfestingar eru heitsínkhúðaðar, lagþykkt 120 µm

Hreyfimöguleikar: Hreyfimöguleikar takmarkast ekki af öðru en stífleika leganna

Ástand: Ekki er annað að sjá en allar legur séu í góðu lagi, en bungur milli stálfestingarplatna eru vel sýnilegar. Skv. ICE (Institution of Civil Engineeres) [Manual](#)<sup>(14)</sup> eru takmarkaðar (hóflegar) bungur af völdum lóðréttis álags eðlilegar. Sínkhúðin á stálfestingum og boltahausum er heil



Mynd 10 – legur í brú í Bæjarhálsi – landstöpull



Mynd 11 – legur í brú í Bæjarhálsi – millistöpull

### 3.5 Elliðaárbrú við Árbæjarstíflu

Byggingaár: 1981

Legugerð: Pottlegur af gerðinni Neopot skv. teikningum

Hreyfimöguleikar: Legur halda öðrum brúarendanum föstum í langátt, en leyfa hreyfingar hins í langáttina. Legur yfir millistöpli leyfa hreyfingar í plani

Ástand: Legur á landstöplum eru kolryðgaðar og hafa að líkindum veikst verulega og geta þeirra til þess að sporna við hreyfingum eins og tilgreint er á teikningum væntanlega orðin takmörkuð. Líklega skerða þær ekki möguleika yfirbyggingar til hornsnúnigs yfir landstöplum að svo komnu máli því þá kæmu fram skemmdir á þeim. Legur yfir millistöpli virðast vera í lagi

Orsök skemmda: Líklega hefur salt vegavatn komist í gegnum þéttlista þensluraufar að legunum, en legusætið virðist vera lárétt eða því sem næst og vatninu er því ekki veitt frá legunum. Inni í brúnni er heitavatnslögn sem kann að hafa haft áhrif með einhverjum hætti í þessu sambandi, en það var ekki skoðað nánar að þessu sinni enda markmið vettvangsskoðana að fá viðunandi yfirlit eins og áður segir



Myndir 12 og 13 – legur á norður – landstöpli Elliðaárbrúar við Árbæjarstíflu

### 3.6 Elliðaárbrú (vestari) við Ártúnsbrekku

Byggingarár: 1996

Legugerð: Pottlegur af gerðinni Glacier skv. teikningum á landstöplum og gervigúmmí, gerð B, á millistöpli. Allar stálfestingar eru heitsínkhúðaðar, lagþykkt 115  $\mu\text{m}$  skv. teikningum. Þykkt sínxhúðar á boltahausum er að líkindum mun minni e.t.v.  $\sim 50 \mu\text{m}$

Hreyfimöguleikar: 3 legur eru á hvorum landstöpli. Ytri legurnar leyfa hreyfingar í plani, en miðjulega í öðrum enda leyfir hreyfingar í langátt, en engar hreyfingar í langátt í hinum endanum. 2 legur úr gervigúmmí eru á millistöpli

Ástand: Ekki er annað sjá en allar legur séu í góðu lagi, en bungur milli stálstyrkingarplatna gervigúmmílega eru vel sýnilegar. Tæring hefur ekki unnið á heitsínkhúð stálfestinganna, en hluti boltahausa er farinn að tærast



Myndir 14 – lega á norður – landstöpli Elliðaárbrúar við Ártúnsbrekku

Mynd 15 – lega á millistöpli

### 3.7 Gljúfurá í Borgarfirði

Byggingarár: 1962

Legugerð: Á teikningum er ekki getið um legugerðir á landstöplum og þá ekki heldur tæringarvörn stálsins. Hins vegar er sýndur asfaltþappi í snertifleti milli sökkuls og millistöpluls og ein miðlæg járnaröð og blýplata milli millistöpluls og yfirbyggingar og einnig ein miðlæg járnaröð. Þetta virðist hugsað til þess að leyfa takmarkaðan hornsúning yfirbyggingar yfir millistöplum. Yfirbygging að austanverðu hvílir á veltilegum (e: roller bearing), en að vestanverðu virðist sem gert hafi verið ráð fyrir hreyfingum í langátt í

asfalti, þ.e. að asfalt eða sambærilegt hafi verið borið á flötinn, en asfalttaumar á landstöpli að vestanverðu benda til þess

**Hreyfimöguleikar:** Veltilegunum að austanverðu er ætlað að leyfa hreyfingar í langátt og einnig virðist sem asfaltlag í sæti að vestanverðu hafi einnig verið ætlað að leyfa hreyfingar í langátt, en fyrirstaða gegn hreyfingum er þó líklega meiri þar. Möguleiki til hliðarhreyfinga yfirbyggingar á landstöplum að austan og vestan takmarkast annars vegar af mótstöðu lega og hins vegar ef um mikla hreyfingu er að ræða af breidd rýmis milli hliðarveggja landstöpla og yfirbyggingar. Sýnilega er ekki gert ráð fyrir að millistöplar leyfi hliðarhreyfingar nema sem nemur stífleika þeirra

**Ástand:** Veltilegurnar á landstöplinum að austanverðu eru ónýtar eins og sjá má á mynd 16. Útilokað er að geta sér til um ástandið á því sem virðist vera rennilega úr asfalti á landstöplinum að vestanverðu

**Orsök skemmda:** Líklegt verður að telja með hliðsjón af núverandi útliti að stál í veltilegum hafi verið lítt eða ekki tæringarvarið í upphafi, sjá myndir 16 og 17



Myndir 16 og 17 – brú á Gljúfurá í Borgarfirði – veltilegur að austanverðu

### 3.8 Litla Laxá við Flúðir

**Byggingarár:** 1993

**Legugerð:** Allar legur eru úr gervigúmmíi frá Gumba, gerð B. Með legunum eru sérstakar sjálfstæðar heitsínkhúðaðar færslustýringar úr stáli, en skv. teikningum er þykkt heitsínkhúðunarinnar fyrirskrifuð 80  $\mu\text{m}$  í festingum sem leyfa færslur í langátt, en 120  $\mu\text{m}$  í hinum

**Hreyfimöguleikar:** Í öðrum enda brúarinnar eru færslustýringar sem leyfa færslur í langátt, en í hinum færslustýringar sem hindra hreyfingar í plani

**Ástand:** Ekki er annað sjá en allar legur séu í góðu lagi. Rýmið milli yfirbyggingar og landstöpuls er mjög þröngt, jafnvel þannig að það virtist hugsanlegt að yfirbyggingin hvíldi að einhverju leyti á færslustýringunum. Tæring hefur ekki unnið á heitsínkhúð færslustýringanna



Myndir 18 – lega á austur – landstöpli brúar á Litlu Laxá

### 3.9 Norðurá hjá Haugum

Byggingarár: 1972

Legugæð: Á landstöplum að austanverðu eru færslustýringar úr stáli. Legur á landstöplum að vestanverðu eru hins vegar rennilegur í langátt en með stýringum í þverátt. Kröfur um tæringarvörn er ekki að finna á teikningum Hreyfimöguleikar: Færslustýringarnar að austanverðu hindra hreyfingar brúarinnar bæði í langátt og þverátt. Rennilegurnar að vestanverðu leyfa hreyfingar í langátt brúarinnar, en hindra hreyfingar í þverátt

Ástand: Á teikningum er ekki að finna upplýsingar um legur, hvorki varðandi gerð eða tæringarvörn. Allt stál er allryðgað, en þó er ekki unnt að halda því fram að færslustýringar séu orðnar það veikar að svo komnu máli, að þær séu hættar að gegna hlutverki sínu. Það kom á óvart hversu vel stálrennihluti lega á landstöpli að vestan leit út, en hann myndar efri hluta leganna. Þar er um ryðfrítt stál að ræða

Orsök skemmda: Líklegt verður að telja sbr. mynd 19 að allt stál hafi verið lítt eða ekki tæringarvarið í upphafi. Almennt var að því stefnt að stálfestingar og færslustýringar væru heitsínkhúðaðar, þó það hafi stundum ekki reynst mögulegt vegna aðstæðna



Myndir 19 – brú á Norðurá hjá Haugum – færslustýring á landstöpli að austanverðu



Mynd 20 – brú á Norðurá hjá Haugum rennilega að vestanverðu



### 3.10 Sog við Prastalund

Byggingaár: 1983

Legugerð: Allar legur eru úr gervigúmmíi, gerð B á millistöplum, en gerð C á landstöplum. Legur á landstöplum eru með blýkjörnum. Kröfur um tæringarvörn stálplatna er ekki að finna á teikningum, en allar plötur næst legum með blýkjarna eru sýnilega sínkhúðaðar sbr. mynd 21 og þá hefur sama krafa um tæringarvörn verið gerð til platna fjær legum

Hreyfímöguleikar: Stífleiki leganna takmarkar hreyfímöguleika brúarinnar þegar álagið er innan ákveðinna marka, en aðliggjandi byggingahlutar við enda brúarinnar, þegar álagið verður umfram það

Ástand: Stór hluti leganna er með mismunandi langar rifur með eða án ryðtauma frá stálstyrkingarplötum og þar sem verst er sést í ryðgaðar styrkingarplötur. Í einu tilviki hefur lega gengið til á stálplötu sem er hluti hennar (gerð C), mynd 22, og í öðru tilviki virðist a.m.k. um los að ræða. Þegar rifur eru komnar á gervigúmmíð eru stálstyrkingarnar ekki lengur varðar og þær fara að ryðga eins og reyndin er í Soginu. Sumar leganna geta sýnilega ekki tekið upp jafnstóra lárétta krafta og áður og eins og til er ætlast. Í gr. 4.4. hér á eftir, sem byggir á bandarískri rannsókn er lítillega fjallað um hvenær legur úr gervigúmmíi fara að gefa sig.

Byrjað er að votta fyrir tæringu á stálplötum næst legum, a.m.k. hluti stálplatna fjær legum eru tærðar og boltahausar eru flestir tærðir

Orsök skemmda: Jarðskjálftakraftar 2000 og 2008 hafa að líkindum orðið sumum leganna ofviða, en einnig er hugsanlegt að aldur þeirra komi þar einnig við sögu, > 30 ár. Þunnt sínklag á boltahausum veldur því að sumir þeirra eru tærðir. Hins vegar er ekki er ljóst hvers vegna hluti platna fjær legum hefur tærst, þar sem sama krafa hefur að líkindum verið gerð til tæringarvarna allra stálplatna. Stálið gæti hafa hentað misvel til sínkhúðunar, þykkt sínklagsins verið mismunandi og loks áhrif steypunnar o.s.frv. Á þessum tíma var sement ekki afkrómað sbr. gr. 2.2.1, en hugsanlega hefur að jafnaði verið meiri raki næst steypunni



Myndir 21 og 22 – brú á Sog í Prastalundi – legur á landstöpli austan ár

### 3.11 Stóra Laxá

Byggingaár: 1985

Legugerð: Allar legur eru úr gervigúmmíi og líklegt verður að telja að gerð B sé á millistöplum, en gerð C á landstöplum, en gerðanna er ekki getið á

- teikningum. Legur á landstöplum eru með blýkjörnum. Kröfur um tæringarvörn stálplatna er ekki að finna á teikningum
- Hreyfimöguleikar:** Stífleiki leganna takmarkar hreyfimöguleika brúarinnar meðan álagið er innan ákveðinna marka, en aðliggjandi byggingahlutar við enda brúarinnar, þegar álagið verður umfram það
- Ástand:** Að þessu sinni voru aðeins skoðaðar legur við austurenda brúarinnar vegna vatnstöðunnar. Í annarri legunni á austari millistöplinum mátti sjá um 70 mm langa rifu, en að öðru leyti var ekkert athugavert að finna að frátöldum bungum í gervigúmmí milli stálplatna. Stálfestiplötur fyrir legur með blýkjörnum eru allar orðnar allryðgaðar sem og boltarnir, en ekki þannig að um merkjanlega veikingu sé að ræða að svo komnu máli
- Orsök skemmda:** Þar sem um staka rifu var að ræða í legu á millistöpli var talið að skemmdin væri aldurstengd – öldrun legunnar fremur en áraun frá jarðskjálftum 2000 og 2008. Bungur er að finna milli stálstyrkingarplatna í flestum legum, sem skoðaðar voru. Með hliðsjón af gr. 4.2 eru þær líklega eðlilegar. Orsök tæringar stálplatna liggur líklega í því, að þær hafa ekki verið tæringarvarðar í upphafi eða a.m.k. ekki sínkhúðaðar



Myndir 23 – brú á Stóru Laxá – lega á landstöpli austan ár



Mynd 24 – lega á millistöpli austan ár

### 3.12 Sæbraut

- Byggingarár:** 1999
- Legugerð:** Legur eru aðeins á landstöplum og eru allar úr gervigúmmí og líklegt verður að telja að um gerð B sé að ræða, en gerðar er ekki getið á teikningum
- Hreyfimöguleikar:** Stífleiki leganna sem og millistöpuls takmarkar hreyfimöguleika brúarinnar meðan álagið er innan ákveðinna marka, en aðliggjandi byggingahlutar við enda brúarinnar, þegar álagið verður umfram það
- Ástand:** Ekki er annað að sjá en að legurnar sjálfar séu í lagi, en sjá má bungur a.m.k. í hluta þeirra milli stálstyrkingarplatna. Öðru máli gegnir um múrinn undir legunum, en í nokkrum tilvikum eru sprungur í honum undir framhluta leganna, stundum fleiri en ein, sjá myndir 25a og 25b. Af þessu leiðir að álagið á legunum flyst líklega á aftari hluta þeirra og múrsins, sem er ekki æskilegt. Líklegt er að skemmdir þessar aukist með tímanum
- Orsök skemmda:** Fleiri en ein skýring kemur til álita, en meðal hugsanlegra skýringa er að óstyrktur múr sé of veikur miðað við þykkt múrlagsins. Skv. teikningum er

fyrirskrifað að nota skuli múr af gerðinni Elgo – fylli. Sjá gr. 2.1.3 hér að framan varðandi hámarksþykkt múrlags undir legum



Myndir 25a og 25b – brú á Sæbraut – legur á landstöpli norðan Sæbrautar

### 3.13 Þverá hjá Hvolsvelli

Byggingaár: 2002

Legugerð: Legur á landstöplum eru af gerð C með blýkjarna, en á millistöplum af gerð B. Skv. teikningum eiga boltar að vera heitsínkhúðaðir og allt stál sandblásið í hreinistig Sa 2,5 og síðan sínhúðað, lagþykkt 115  $\mu\text{m}$

Hreyfímöguleikar: Stífleiki leganna takmarkar hreyfímöguleika brúarinnar meðan álagið er innan ákveðinna marka, en aðliggjandi byggingahlutar við enda brúarinnar, þegar álagið verður umfram það

Ástand: Ekki er annað að sjá en að legurnar sjálfar séu í góðu lagi hvort sem er á landstöplum eða millistöpli. Ekkert sér heldur á tæringarvörn stálplatna eða boltahausa. Múrinn undir legum á millistöpli virðist vera í þykkara lagi, þó það hafi ekki komið að sök að svo komnu máli.



Myndir 26 og 27 – brú á Þverá við Hvolsvöll – legur á landstöpli og millistöpli austan Þverár

### 3.14 Brú á Ölvusárós

Byggingaár: 1988

Legugerð: Legur á landstöplum og millistöplum næst landstöplum eru skv. teikningum Gumba Nofri legur með renniplötum. Legur á fimm millistöplum eru hins vegar úr gervigúmmí af gerðinni C með blýkjörnum. Skv. teikningum skulu stálrenniplötur yfir legum vera ryðfríar án þess að það sé nánar skilgreint. Skv. legupöntun frá '87 er beðið um renniplötur (e: sliding plate) 20 mm á þykkt, en í skoðun á staðnum og skv. myndum

virðist sem ryðfríar plötur séu neðan á plötum úr venjulegu stáli, sjá myndir 28 og 29. Kröfur um tæringarvörn stálplatna við legur með blýkjörnum eru ekki settar fram á teikningum. Almenna reglan var hins vegar að krafa væri gerð um að þær væru sínhúðaðar. Skv. myndum virðist sem að um tvö tæringarvarnarlög sé að ræða, þ.e. málningarlag og þar undir sínhúð eða sprautusínhúð

**Hreyfímöguleikar:** Stífleiki leganna vinnur á móti hreyfingu brúarinnar meðan áraunin er ekki þeim mun meiri, en ef áraunin og þar með hreyfingar verða miklar fer yfirbyggingin utan í steypa knasta ofan á stöplum eins og varð í jarðskjálftum 2008

**Ástand:** Að þessu sinni voru legur á stöplum 1, 2, 3, 7, 8 og 9 skoðaðar, en talið var að mestar líkur væru á sprungum eða rifum í legum á stöplum 3 og 7. Farið var niður að millistöplum í körfu úr litlum körfubíl. Greina mátti sprungur í gervigúmmí milli stálstyrkingarplatna í hluta rennilega bæði á landstöplum og millistöplum. Dæmi var um ryðútfellingar, en þá er sprunga orðin að rifu og vatn kemst inn að stálstyrkingaplötunum, sjá mynd 28.

Á mynd 29 má einnig sjá að múrinn hefur brotnað frá legunni. Sömu sögu er að segja um múrinn undir rennilegu á stöpli nr. 2, sem er millistöpull. Sprungur var ekki að sjá í legum á millistöplum nr. 3 og 8.

Mynd nr. 30 var hins vegar tekin 2008, þegar verið var að gera við steypuskemmdir í kjölfar jarðskjálftanna 2008.

Gervigúmmíð bungar víða út milli stálstyrkingarplatnanna, en það er matsatriði hvað er eðlilegt í því sambandi, sjá gr. 4.4. hér á eftir. Sprungur var í skoðuðum brúm oftast að finna í bungum milli stálstyrkingaplatnanna, þannig að við öldrun leganna virðist líklegast að sprungur komi fram þar. Nokkur tæring er byrjuð í boltahausum, stálplötum við legur með blýkjörnum og ryðfríum stálplötum yfir rennilegum

**Orsök skemmda:** Það er athyglisvert að sjá, að sprungur fundust að þessu sinni í legum, sem eru rennilegur. Skýringin er væntanlega að við öldrun gervigúmmísins myndast sprungur, en ef blýkjarni er til staðar, þá léttir hann álaginu af gervigúmmíinu, ver það ef svo mætti segja, og sprunga myndast síður.

Skýringin á sprungum í múr gæti bent til þess að hann sé of þykkur og / eða gangi upp á legurnar og hafi því brotnað við hreyfingu þeirra. Sjá gr. 2.1.3 hér að framan varðandi hámarksþykkt múrs undir legum



Myndir 28 – brú á Ölvusárósi – rennilega á landstöpli stöpull nr. 1 að austan



Mynd 29 – rennilega á stöpli nr. 2, millistöpull



Myndir 30 – brú á Ölvusárósi – millistöpull. SHS 2008



## 4 Rannsóknarverkefni í USA

### 4.0 Almenn

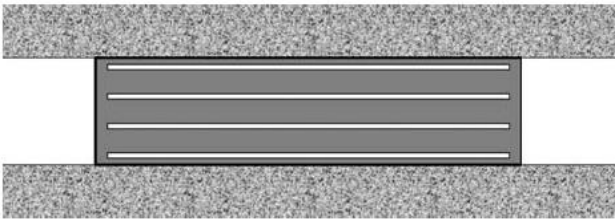
Í rannsóknarskýrslu, [NCHARP Report 596<sup>\(15\)</sup>](#), sem hafði það að markmiði að finna snúningmörk lega úr gervigúmmíi, eru settar fram nokkrar áhugaverðar ábendingar sem hér eru settar fram.

### 4.1 Útbreiðsla í USA

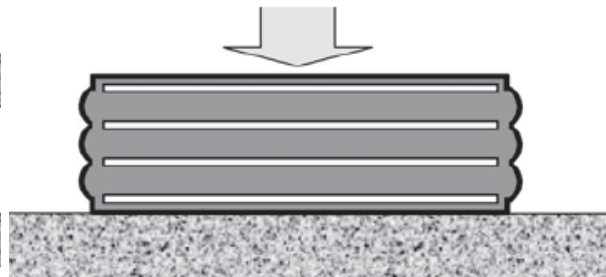
Í grein 1.1 segir að þessi gerð lega sé algengust í öllum umdæmum USA. Þær geti tekið upp venjulegt álag frá brúm án þess að í þeim séu vélrænir eða hreyfanlegir hlutir, sem leiðir til þess að viðhald á þeim verður minna. Þessi eiginleiki, hagkvæmni (stofnkostnaður og rekstur) og auk þess eru þær taldar betri til þess að taka upp álag frá jarðskjálfta en aðrar legur. Þetta gerir þær að áhugaverðum kosti.

### 4.2 Heftisbilun í gervigúmmílegum

Á mynd 31 úr skýrslunni er sýnt snið í gegnum stálbenta gervigúmmílegu, sem er ekki undir álagi og mynd 32 snið í gegnum gervigúmmílegu sem er undir álagi, sem leiðir til að gúmmíð bungar hóflega (takamarkað) út milli stálstyrkingarplatananna.

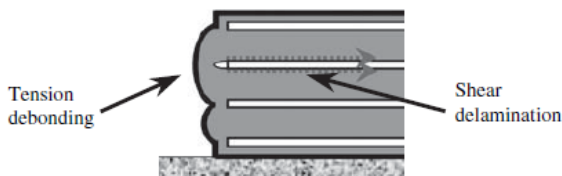


Mynd 31 - snið í gegnum stálbenta brúalegu úr gervigúmmíi, sem er ekki undir álagi

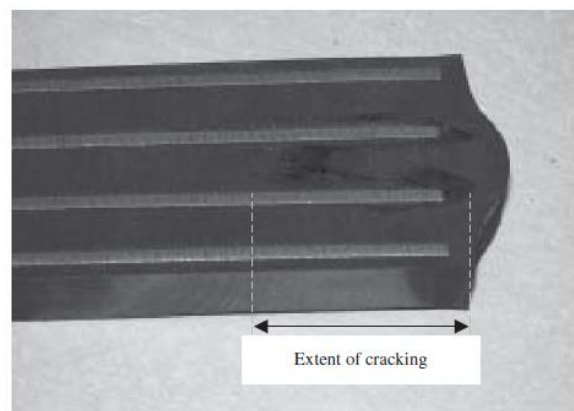


Mynd 32 - snið í gegnum stálbenta brúalegu úr gervigúmmíi, sem er undir álagi

Á myndum 33 og 34 úr skýrslunni er sýnt snið í gervigúmmílegu þar sem hefti milli bendilags og gervigúmmís er farið að gefa sig.



Mynd 33 - heftibrot við enda stálstyrkiplötu og skerflögnun við yfirborð hennar



Mynd 34 - skersprunga þrengist inn í gervigúmmíð



### 4.3 Gæði gervigúmmílega í dag (2008)

Í gr. 2.4.1 kemur fram að mikill fjöldi gervigúmmílega hafi verið rannsakaður í þessari rannsókn og fyrri rannsóknum, sem greint er frá í skýrslum, NCHRP Reports 298 og 325. Samanburður á niðurstöðum þessarar rennsóknar og fyrri rannsókna ber með sér að gæði gervigúmmílega er að meðaltali betri núna en fyrir 20 árum síðan. Að þessu var komist með því að bera saman meðalþrýstispennur í rannsóknum nú og þá, sem leiddu til að hefti milli stálstyrkingarplatna og gervigúmmís byrjaði að gefa sig. Útbreiðsla / framrás heftieftirgjafarinnar reyndist einnig mun minni í þessari tilraun en þeim fyrri.

### 4.4 Nokkrar niðurstöður rannsóknarinnar

Í gr. 4.2 í skýrslunni er fjallað um niðurstöður rannsóknarinnar og hér á eftir eru örfáar nefndar:

- Í tilraunum hefur verið sett álag á gervigúmmílegur sem er allt að 10 x hönnunargildið og þær hafa skemmst sýnilega vegna þess, en þær gátu eigi að síður borið lóðrétt álagið áfram
- Legurnar sem prófaðar voru komu frá 4 stærstu framleiðendum lega af þessari gerð í USA og voru allar í háum gæðaflokki. Eins og áður hefur komið fram var niðurstaða tilraunanna, að gæði lega eru meiri í dag en fyrir 20 árum síðan. Enginn framleiðandanna stóð hinum frammar
- Það er engin einhlít skilgreining á hvenær gervigúmmílega fer að gefa sig. Fyrsta einkennið er venjulega staðbundin heftibrot af völdum togs í ysta lagi / hulu yfir útbrún stálstyrkingarplötu. Aukið álag eða endurtekið álag getur síðan leitt til flögnunar sem einkennist af láréttri skersprungu inn í gervigúmmíð. Þannig sprunga hleypur venjulega inn á mörkum gervigúmmís og stálstyrkingarplatna
- Heftibrot af völdum togs í ysta laginu (hulunni) í hlið stálstyrkingarplatnanna hefur engin umtalsverð áhrif á burðargetu gervigúmmíleganna. Það er á hinn bóginn fyrirboði byrjunar skerflögnunar í láréttum fleti stálstyrkingarplatnanna, sem breytir stífleika gervigúmmílegunnar og getur að lokum leitt til þess að hún rifnar
- Skortur á einhlítri skilgreiningu á því hvenær gervigúmmílega fer að gefa sig veldur því að hönnunarskilgreining lega af þessari gerð verður erfið og matskennd
- Ekki reyndist unnt að sýna fram á skýr tengsl milli ákveðinna eiginleika gervigúmmísins svo sem togpöls eða brotlengingar við þreytuþol þess
- Skarpar brúnir stálstyrkingarplatna stuðla að flögnun, en úr þeim áhrifum má draga ef þær eru unnar / rúnnaðar
- Gervigúmmílegur gerðar úr 60 „durometer“ gervigúmmíi stóðust betur sambærilegt álag heldur en legur af sambærilegri stærð úr 50 „durometer“ gervigúmmíi, þar sem aukinn stífleiki minnkaði hámarks skerstreituna





## 5 Meistaraverkefni

### 5.0 Sænskt meistaraverkefni

Á netinu má finna meistaraverkefni sem unnið var við KTH 2012; [Bridge Bearings, Merits, Demerits, Practical Issues, Maintenance and Extensive Surveys on Bridge Bearing<sup>\(16\)</sup>](#), sem gekk m.a. út á að safna hagnýtum álitamálum varðandi mismunandi legugerðir eins og heiti verkefnisins bendir til. Í því skyni voru fyrirspurnir sendar bæði til leguframleiðenda og brúahönnuða.

### 5.1 Kostir og gallar lega úr gervigúmmí

Í greinum 2.2.4 og 2.2.5 í meistaraverkefninu er fjallað um kosti og galla lega úr gervigúmmí, sem rétt er að geta um þar sem sú gerð lega er algengust hér á landi.

Kostir:

- stálstyrkingarplötur eru umvafðar / umluktar gervigúmmí og því varðar gegn tæringu
- líftími er langur með lítilli viðhaldspörf
- henta þar sem mikill hornsnúningur er á legunni
- virka vel þar sem jarðskjálftavirkni er hófleg
- hóflegur kostnaður

Helstu gallar:

- vandmál vegna ófullnægjandi uppsetningar svo sem vegna festinga
- gallar sem koma fram vegna lélegra efnisgæða svo sem tærðs stáls, ófullnægjandi brennisteinsmeðhöndlunar (e: vulcanization), lélegra gæða gervigúmmís, sem leiða til sprungna o.fl.
- bungur í gervigúmmí milli stálstyrkingarplatna vegna þrýstings og hornsnúnings
- flögnun frá stálstyrkingarplötum af völdum skerspenna við brúnir stálsstyrkingarplatna
- rifur af völdum öflugra jarðskjálfta, en þeim er auðvelt að skipta út í samanburði við aðrar legugerðir
- gervigúmmíð stífnar við lágt hitastig
- þreytuvandamál vegna hitabreytinga þar sem eiginleikar breytast með tímanum

### 5.2 Legur úr gervigúmmí – dæmi um það sem þarf að yfirfara

Í gr. 3.3.3 í meistaraverkefninu er helstu atriði talin upp sem þarf að skoða í eftirlitsferðum í tengslum við legur. Eftirfarandi atriði eru tilgreind varðandi legur úr gervigúmmí:

- þykkt legunnar sé einsleit
- hreyfifrelsi eða hreyfitakmarkanir m.t.t. hitastigs þar sem gervigúmmíð stífnar, ef hitastig er lágt
- sprungur eða rifur í gervigúmmíinu
- stífar legur í lágu hitastigi
- bungur í yfirborði gervigúmmílega
- misbrýning, lyfting, hornsnúningur og færsla legu
- flögnun eða los stálplatna frá gervigúmmíinu
- ástand festinga og tengihluta
- hvort hverskonar óhreinindi, þ.á.m. frá fuglum eða raki hafi safnast fyrir



- lárétt- og lóðrétt stilling legunnar

### 5.3 Hreinsun og viðhaldsmálun

Í gr. 3.4.1. er fjallað um hreinsun og málun. Þar segir að hreinsun og málun sé algengasta viðgerða- og viðhaldsaðgerðin í tengslum við legur í brúm. Hreinsun er unnin til þess að fjarlægja hvers konar ryk, skít, ryð og undirbúa yfirborðið þannig fyrir tæringarvörn. Eftirfarandi aðferðir eru nefndar:

- mála með sérstakri málningu, sem jafnfram fjarlægir ryð
- hreinsa með uppleysandi efnum svo sem terpentínu
- vírbursta
- sýruhreinsa með tilteknum sýrum
- eldhreinsa með tilteknum efnum
- sandblása (mismunandi blástursmiðlar koma til álita)
- háprýstipvo

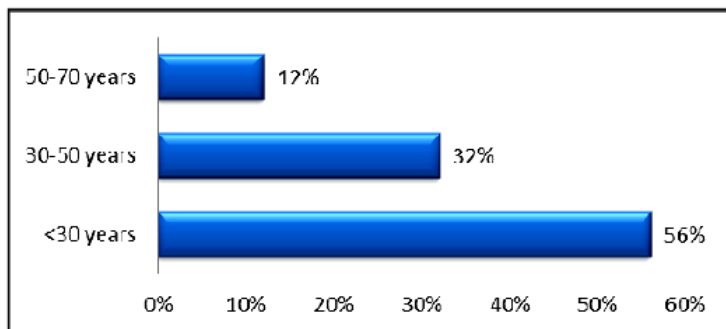
Sérstaklega er tekið fram, að þar sem vegsöltun er notuð ætti að hreinsa legurnar árlega.

### 5.4 Dæmi um svör brúahönnuða

Spurningar voru m.a. sendar til 76 brúahönnuða og dæmi um athylisverð svör er t.d. að:

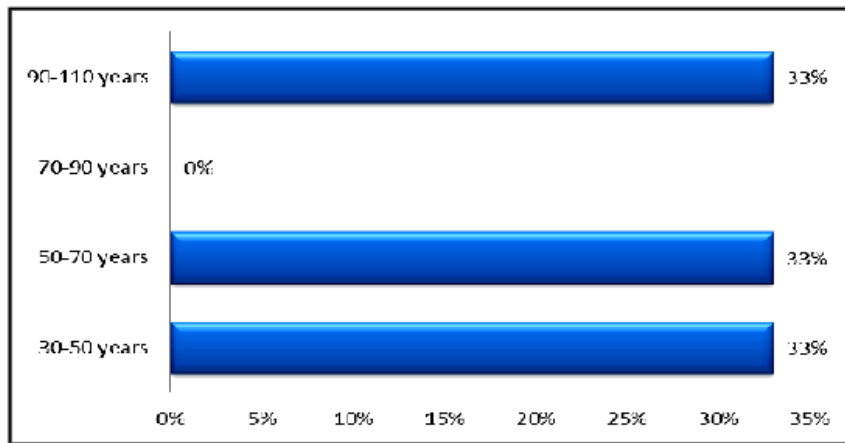
- 64% þeirra töldu að í ljósi reynslu þeirra hentuðu gúmmílegur best þar sem titringur er mikill
- 44% þeirra töldu að gúmmílegur hentuðu best undir steypar, spenntar og / eða járnbenntar yfirbyggingar, en 34% að lokaðar legur hentuðu best við þær aðstæður
- 51% svarenda völdu legur úr gervigúmmí þar sem auðveldast væri að viðhalda þeim og sú gerð þar sem síst þyrfti á reynslu og sérfræðiþekkingu að halda vegna viðhaldsins
- 52% svarenda hölluðust að því í ljósi reynslu sinnar að nota legur úr gervigúmmí þar sem væri mikill titringur
- 42% svarenda töldu legur úr gervigúmmí henta best í ljósi reynslu þeirra til notkunar í tengslum við annað hvort staðsteypa eða forsteypa yfirbyggingu
- 12% lega endist í 50 – 70 ár, 32% í 30 – 50 ár og 56% í < 30 ár

Líftími 46 lega, sem skipta þurfti út kemur fram á mynd 35 óháð legugerð:



Mynd 35 - líftími lega, sem hefur þurft að skipta út

Til samanburðar er mat leguframléiðenda á líftíma lega, sem þeir framléiða, sjá mynd 36:



Mynd 36 - meðalnýtingatími brúalega, sem stefnt er að af hálfu leguframleiðendanna sjálfra

### 5.5 Nokkrar helstu niðurstöður meistararannsóknarinnar

Legur úr gervigúmmíi hafa leyst tæringarvandamál, sem fylgdu legum úr stáli. Viðhald þeirra er lítið í samanburði við aðrar tegundir og þær eru hagkvæmar. Þær ráða vel við hornsnúning, en virka illa við lágt hitastig, en þá geta þær frosið og hindrað hreyfingar. Þær geta rifnað í jarðskjálfta eða í titringi.

Lokaðar legugerðir, þ.e. pottlegur, kúlulaga legur, diskalegur, viðnáms kólfalegur og legur úr gervigúmmíi með blýkjarna eru nýjustu legugerðirnar. Megin virknihluti þeirra er aflokaður og varinn gegn niðurbroti. Lokaðar legur virka vel í miklu álagi og við lágt og hátt hitastig. Legur úr gervigúmmíi með blýkjarna og legur með viðnáms kólfi eru mjög öflugar á virkum jarðskjálftasvæðum. Sérstaklega er bent á öldrun gervigúmmís.





## 6 Endurbót tæringarvarna

### 6.1 Tveggja laga (e: duplex) tæringarvarnarkerfi

Í vettvangsskoðunum skv. gr. 3 hér að framan kemur í ljós að heitsínkhúðunin er í sumum tilvikum illa farin t.d. í Borgarfjarðarbrú (byggð '79), í öðrum tilvikum farin að láta ásjá t.d. í ytri leguplötum í Sogsbrú hjá Þrastalundi (byggð 1983) og svo virðist sem veikleikar séu farnir að myndast í tæringarvörn stálplatna í brú á Ölvusárósi (byggð 1988). Það er vafasamt að draga víðtæka ályktun af þessu, þar sem ekki liggur fyrir hvernig staðið var að heitsínkhúðuninni, hvort stálið var heppilegt til heitsínkhúðunar, hver þykkt sínklagsins var, hvernig stálið var hreinsað o.s.frv. Það má e.t.v. ætla að endingartími heitsínkhúðunar frá þessum tíma sé ~ 20 - 25 ár án viðhalds.

Skv. teikningum hefur tæringarvörn legufestinga og færslustýringa á seinni árum verið fyrirskrifuð í átt við eftirfarandi:

- sandblástur Sa 2,5
- heitsínkhúðun að smíði lokinni 110 – 120  $\mu\text{m}$

Það hefur ekki verið talin þörf á að mála yfirborðið, en skv. ýmsum heimildum má lengja líftíma málningarkerfisins umtalsvert með því:

Skv. [Duplex Systems, Painting over Hot-Dip Galvanized Steel<sup>\(17\)</sup>](#) kemur t.d. fram að yfirmálun á sínklag verði til þess að það hægi verulega á eyðingu sínk húðarinnar, sem lengi verulega endingu heitsínkhúðaða stálsins. Þegar málningin hefur veðrast eða skemmst er sinkið enn til staðar sem og veitir lagvörn (e: barrier protection) eða fórnarvörn (e: cathodic protection). Niðurstaðan er að stálið fær vörn sem svarar til 1,5 – 2,3 x samanlagðrar varnar hvors lags fyrir sig í árum:

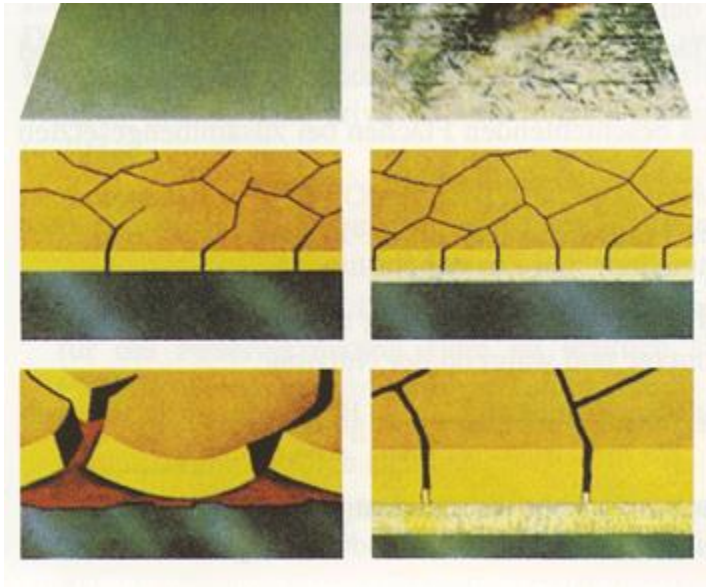
$$M_{\text{duplex}} = 1,5 - 2,3 (M_{\text{sínk}} + M_{\text{málning}})$$

Í jöfnunni er ekki gert ráð fyrir neinu viðhaldi málningarinnar heldur að hún eyðist með eðlilegum hætti. Talað er um samvirkniáhrif eða samlegðaráhrif í þessu sambandi (e: synergistic effect).

Á heimasíðu IZA ( International Zinc Association),

[http://www.zinc.org/info/performance\\_of\\_painted\\_metallized\\_coatings](http://www.zinc.org/info/performance_of_painted_metallized_coatings) kemur fram að í iðnaðar- / sjávarumhverfi sé samlegðarstuðullinn á bilinu 1,8 – 2,0.

Á heimasíðu nordic Galvanizers, <http://www.nordicgalvanizers.com/Duplexsystems.htm> eru samlegaráhrif sínk húðunar og málningar skýrð á eftirfarandi hátt, sjá mynd 37:



**Mynd 37**

Undir myndinni á heimasíðunni segir að um skematíska framsetningu sé að ræða, sem sýnir vinstra megin hvernig mikró sprungur í málningarlagi á stáli verði til þess að lagið undir ryðgi og flagni. Hægra megin er hins vegar málningarlaga á heitsínkhúðuðu efni og mikró sprungur sem myndist í því fyllast af tæringar efnum (e: corrosion products) úr sínkinu, en rúmmál þess er minna heldur en ryðs frá stáli og veldur ekki flögnun málningarlagsins.

Á áðurnefndri heimasíðu og skv. fleiri heimildum er mikil áhersla lögð á meðhöndlun og hreinsun stálsins að heitsínkhúðun lokinni til þess að árangur náist. Skv. heimasíðunni er öruggasta aðferðin sögð felast í léttum sandblæstri, þannig að um 10 µm heitsínkhúðunarinnar séu fjarlægðir. Aðferðinni er lýst nánar þar.

Sé gert ráð fyrir að málningarkerfi endist í 15 ár og heitsínkhúðun í 25 ár felst í „duplex“ áhrifunum að samanlagður endingartími málningar og sínkhúðar gæti verið ~1,8 x (15 + 25) ~ 70 ár, sem er umfram og jafnvel langt umfram endingartíma leganna skv. gr. 5.4.

Á færslustýringunum eru slitfletir, sem málning mun fljótt núast af, en spurning er hversu lengi síkið helst, en það hefur ekki verið rannsakað sérstaklega.

## 6.2 Málningarkerfi, tæringarvörn

Áreiti umhverfisins er skilgreint í [ÍST EN ISO 12944-2<sup>\(22\)</sup>](#):

C1	very low	
C2	low	Lítill mengun, dreifbýli
C3	medium	Þéttbýlis- og iðnaðarumhverfi, hófleg brennistein- og tvísýrings mengun. Strandumhverfi með lítilli seltu
C4	high	Iðnaðar- og strandsvæði með hóflegri seltu
C5-I	very high (industrial)	Iðnaðarsvæði með háum hlutfallslegum raka í áreitnu umhverfi
C5-M	very high marine	Strandsvæði og frálandssvæði með mikilli seltu

Festingar og færslustýringar eru almennt fremur litlar umleikis, þannig að kostnaður vegna tæringarvarna er mjög lítill hluti heildarkostnaðarins og því álitlegt að skilgreina málningarkerfið skv. efsta flokknum.

Í [ÍST EN ISO 12944-5<sup>\(23\)</sup>](#) eru settar fram tillögur að málningarkerfum, þ.á.m. málningarkerfum á heitsínkhúðað stál. Kerfi A7.12 og A7.13 skv. töflu A.7 er þannig:



Kerfi	Grunnur			Önnur lög	Málningarkerfi		Ending ár
	Bindiefni	Fjöldi laga	NDFT í $\mu\text{m}$	Gerð bindiefnis	Fjöldi laga	NDFT í $\mu\text{m}$	C5-M
A7.12	EP,PUR	1	80	EP, PUR	3	240	5 - 15
A7.13	EP, PUR	1	80	EP, PUR	3	320	> 15

EP epoxy málning

PUR Polyurethan málning „araomatic“ eða „aliphatic“

NDFT Nafnþykkt þurrfilmu

Ending Háð því hvernig tekst til við heftingu við heitsínkhúðaða undirlagið

Í [Guide to protection of steel against corrosion](#)<sup>(18)</sup> eru settar fram tillögur að málningarkerfum byggðar á ofangreindum flokkum. Málningarkerfi í áreitiflokki C5-M ofan á heitsínkhúðun, þ.e. tveggja laga (e: duplex) tæringarvörn er sett fram á eftirfarandi hátt:

Tæringarvörn: Tveggja laga (e: duplex) tæringarvarnarkerfi

Staðlatilvísanir: ÍST EN ISO 14713, ÍST EN ISO 1461, [ÍST EN ISO 12944-5](#)<sup>(23)</sup>

Sínkhúðun Heitsínkhúðun, lagþykkt 85  $\mu\text{m}$  + ljósgeislun (e: light irradiation) eða efnafræðileg meðferð (e: chemical treatment)

Grunnur 2 þátta epoxy málning (e: 2 component epoxy) 80  $\mu\text{m}$

Millilag Epoxy málning (e: combination of epoxy) 100  $\mu\text{m}$

Yfirlag Polyurethan málning e 60  $\mu\text{m}$

Heildar þurrfilmuþykkt 240  $\mu\text{m}$  ofan á sínklagið

Áætlaður líftími málningar 15 ár

Ef horft er til áðurnefndrar töflu A.7 í [ÍST EN ISO 12944-5](#)<sup>(23)</sup> og úrdrætti úr henni í töflunni hér að framan virðist hér vera tekið mið af kerfi A7.12, sem gengur ekki eins langt og kerfi A7.13.

Skv. lauslegri könnun á netinu virðist sem algengt sé að byggja málningarkerfi á sínklag upp á kerfi A7.12 og með svipuðum hætti og í [Guide to protection of steel against corrosion](#)<sup>(18)</sup>.

Vert er að skoða, þegar til kastanna kemur hvort fyrir liggja vottun frá til þess bærum aðila um að málningarkerfið uppfylli kröfur þ.e. C5-M skv. [ÍST EN ISO 12944-2](#)<sup>(22)</sup>.

Þar sem tæringarvarnarkerfið vegur ekki þungt í heildarkostnaði eins og áður segir kemur til álita, að byggja á kerfi A7.13.

### 6.3 Ryðfrítt stál

Það hefur komið til álita að nota ryðfrítt stál í færslustýringar eins og áður segir, en frá því hefur verið fallið, þegar á reyndi. Í ljósi þeirrar endingar sem má ná með tveggja laga (e: duplex) tæringarvarnarkerfi og líftíma lega skv. gr. 5.4 er álitamál hvort þörf sé á því, en jafnframt verður að hafa í huga að til eru margar gerðir af ryðfríu stáli og að ryðfrítt stál tærist einnig.

Skv. [Corrosion](#)<sup>(19)</sup> hafa verið gerðar tæringarrannsóknir á ryðfríu stáli, sem sumar hverjar hafa staðið yfir mörg ár. Í rannsókn sem stóð yfir í 18 ár á ryðfríu stáli af gerð 304S15 og 316S33 skv. BS/UK var niðurstaðan eftirfarandi skv. töflu 3.21C í heimildinni:



Aðstæður	Pyttafjöldi, stk / cm <sup>2</sup>		Dýpt pytta, µm	
Umhverfi	Stál 304S15	Stál 316S33	Stál 304S15	Stál 316S33
Sjávarumhverfi	3160	355	85	24

Í rannsókn sem unnin var á árunum 1962 – 1968 á stáli sem var ýmist í skjóli fyrir verðri eða ekki og þvegið á 6 mánaða fresti eða ekki kom eftirfarandi í ljós skv. töflu 3.22B í heimildinni:

Aðstæður	Pyttafjöldi /stk / cm <sup>2</sup>	Dýpt pytta, µm
Óvarið	355	23
Óvarið og þvegið	355	24
Í skjóli	452	71
Í skjóli og þvegið	420	46

Af þessu má draga þá ályktun, að ef til álita kemur að nota ryðfrítt stál í legufestingar eða færslustýringar til þess að ná fram líftíma umfram það sem unnt er með tveggja laga (e: duplex) tæringarvörn þurfi að velja tegund ryðfría stálsins af mikilli kostgæfni.

#### 6.4 Snerting heitsínkhúðaðas stáls og ferskrar steypu

Í gr. 2.2.1 er vitnað í ákvæði í [Prosessskode 2<sup>\(12\)</sup>](#) um að meðhöndla skuli sérstaklega snertiflöt milli stálhlutar og ferskrar steypu. Sú aðgerð er hluti tæringarvarna.

Í gr. 2.2.1 er einnig vitnað í [ÍST EN 13670<sup>\(21\)</sup>](#), þar sem bent er á að nota þurfi óáreiðið sement í steypu, sem snertir heitsínkhúðað lag, ef hefti milli steinsteypunnar og sínklagsins á ekki að verða fyrir skaðlegum áhrifum.





## 7. Til íhugunar og nánari skoðunar

Brúalegur eru í flestum brúm, þegar nauðsynlegt er að aðskilja yfirbygginguna frá undirstöðum, þ.e. landstöplum og milliundirstöðum vegna mismunahreyfinga eða hornsnúninga. Brúalegur eru þannig einn margra mikilvægra þátta, sem tryggja að brýr geti gegnt hlutverki sínu. Í lokin er rétt að benda á nokkur atriði til íhugunar og nánari skoðunar:

- Í ljósi vettvangsskoðana 13 brúa sumarið 2014 virðist sem líftími brúalega hér á landi sé ekki fjarri líftíma brúalega skv. könnun sænska meistaraverkefnisins við [KTH](#)<sup>(16)</sup>
- Skv. [ÍST EN 1337 -1](#)<sup>(1)</sup> á það að vera almenna meginreglan, að unnt sé að yfirfara legur og leguhluta, viðhalda þeim og skipta þeim út. Til þess að þetta sé mögulegt þarf rýmið við legurnar að vera nægjanlegt, lyftibúnaður þarf bæði fleti til þess að hvíla á og nægilegt rými, undirstaðan sem og hluti yfirbyggingarinnar sem hann lyftir undir þarf að vera hönnuð fyrir álagið og þar með kleyfnikraftana. Þetta á við um bæði landstöpla og millistöpla
- Fram kemur í rannsóknarskýrslu [NCHARP Report 596](#)<sup>(15)</sup>, sjá gr. 4.3 hér að framan, að gæði gervigúmmilega frá þeim leguframléiðendum sem til skoðunar voru hafa aukist á s.l. 20 árum. Í innkaupum þarf að leitast við að tryggja að framfarirnar skili sér hingað
- Vert er að íhuga hvort til álita komi að útfæra færslustýringar þannig að þær séu útskiptanlegar á sama hátt og legur
- Liður í því að legur og færslustýringar séu útskiptanlegar gæti verið að nota boltafestingar í stað innsteypra festinga
- Huga þarf að deilihönnun við legur og færslustýringar með það í huga að vatni sé veitt frá og hvers konar ópríf safnist ekki fyrir. Vert er að skoða hvort þróa megi útfærslur færslustýringa með það að markmiði að draga úr tæringu
- Hámarksþykkt ójárnþent mýrs undir legum eru sett ákveðin mörk skv. [ÍST EN 1337-11](#)<sup>(6)</sup>, sjá einnig gr. 2.1.3 hér að framan
- Algengasta viðgerða- og viðhaldsaðgerðin í tengslum við legur felst í hreinsun og málun skv. gr. 3.4.1 í meistaraverkefninu [Bridge Bearings](#)<sup>(16)</sup>.
- Lengja má líftíma stáls sem festir legur sem og stáls í færslustýringum umtalsvert með því að mála það með tveggja laga (e: duplex) tæringarvörn. Líftímann má lengja sem nemur margfeldis stuðlinum 1,8 – 2,0 á samanlagðan líftíma annars vegar málningar og hins vegar sínkhúðar í árum. Í því sambandi þarf sérstaklega að skoða snertifleti færslustýringa – hversu lengi virkar sínkvörnin þar, kemur sérstök lagvörn (slitflötur) þar til álita, nægir að þær séu útskiptanlegar eins og legurnar o.s.frv.
- Í vettvangsskoðunum kom í ljós að útskipti á legum og færslustýringum er skammt undan. Þetta er sérhæfð vinna sem þarf að vinna á hagnýtan og markvissan hátt. Lagt er til, að á næstunni verði aflað þekkingar í þessu sambandi með því að fá hingað hæfan aðila með víðtæka reynslu á þessu sviði, skoða þær brýr sem fyrst þarf að huga að, setja niður líklegt verkferli o.s.frv.

## 8 Lokaorð

Að lokum þökkum við fyrrverandi vinnufélaga okkar og forstöðumanni Brúadeildar, Einari Hafliðasyni verkfræðingi, og núverandi vinnufélaga okkar á Hönnunardeild Vegagerðarinnar, Helga S. Ólafssyni verkfræðingi, kærlega fyrir yfirlestur og ágætar ábendingar.





## Tilvísanir:

1. [ÍST EN 1337-1](#), *Structural bearings – Part 1: General design rules*
2. [ÍST EN 1990:2002](#), *Eurocode – Basis of structural design*
3. [ÍST EN 1337-3:2005](#), *Structural bearings – Part 3: Elastomeric bearings*
4. [ÍST EN 1337-9:1997](#), *Structural bearings – Part 9: Protection*
5. [ÍST EN 1337-10:2003](#), *Structural Bearings – Part 10: Inspection and maintenance*
6. [ÍST EN 1337-11:1997](#), *Structural bearings – Part 11: Transport, storage and installation*
7. [ÍST EN ISO 4628-2:1992](#) *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect – Part 2: Designation of degree of blistering*
8. [ÍST EN ISO 4628-3:1982](#), *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect – Part 3: Designation of degree of rusting*
9. [ÍST EN ISO 4628-4:1982](#), *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect – Part 4: Designation of degree of cracking*
10. [ÍST EN ISO 4628-5:1982](#), *Paints and varnishes – Evaluation of degradation of paint coatings – Designation of intensity, quantity and size of common types of defect – Part 4: Designation of degree of flaking*
11. [Additional Technical Contract](#) *Conditions and Guidelines for Civil Engineering Works ZTV-ING, Part 4: Steel construction, composite steel construction, Section 2: Composite Steel Construction*
12. [Håndbok R762, Prosesskode 2](#), Standard beskrivelse for bruer og kaier, Hovedprosess 8, Statens vegvesen håndbokserie, Oslo, desember 2012
13. [Håndbok V499, Bruprosjektering, Eurokodeutgave](#), Statens vegvesen håndbokserie, november 2011
14. [ICE Manual of Bridge Engineering 2008](#), Institution of Civil Engineers
15. [NCHARP, Report 596](#), *Rotation Limits for Elastomer Bearings*, Transportation Research Board of The National Academies, Washington D.C 2008
16. [Bridge Bearings](#), Merits, Demerits, Practical Issues, Maintenance and Extensive Surveys on Bridge Bearing, Master of Science Thesis, Stockholm, Sweden 2012
17. [Duplex Systems, Painting over Hot-Dip Galvanized Steel](#) American Galvanizers Association
18. [Guide to protection of steel against corrosion](#), Indoor and outdoor structures, Infosteel, 1st edition: May 2012
19. [Corrosion, Volume 1](#), *Metal / Environment Reactions*, Butterworth-Heinemann Ltd, Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8PD, Reprinted 1995
20. [Reglur um hönnun brúa](#), Vegagerðin 2015
21. [ÍST EN 13670:2009](#), *Execution of concrete structures*
22. [ÍST EN 12944-2:1998](#), *Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 2: Classification of environment*
23. [ÍST EN 12944-5:2007](#), *Paints and varnishes – Corrosion protection of steel structures by protective paint systems – Part 5: Protective Paint system*