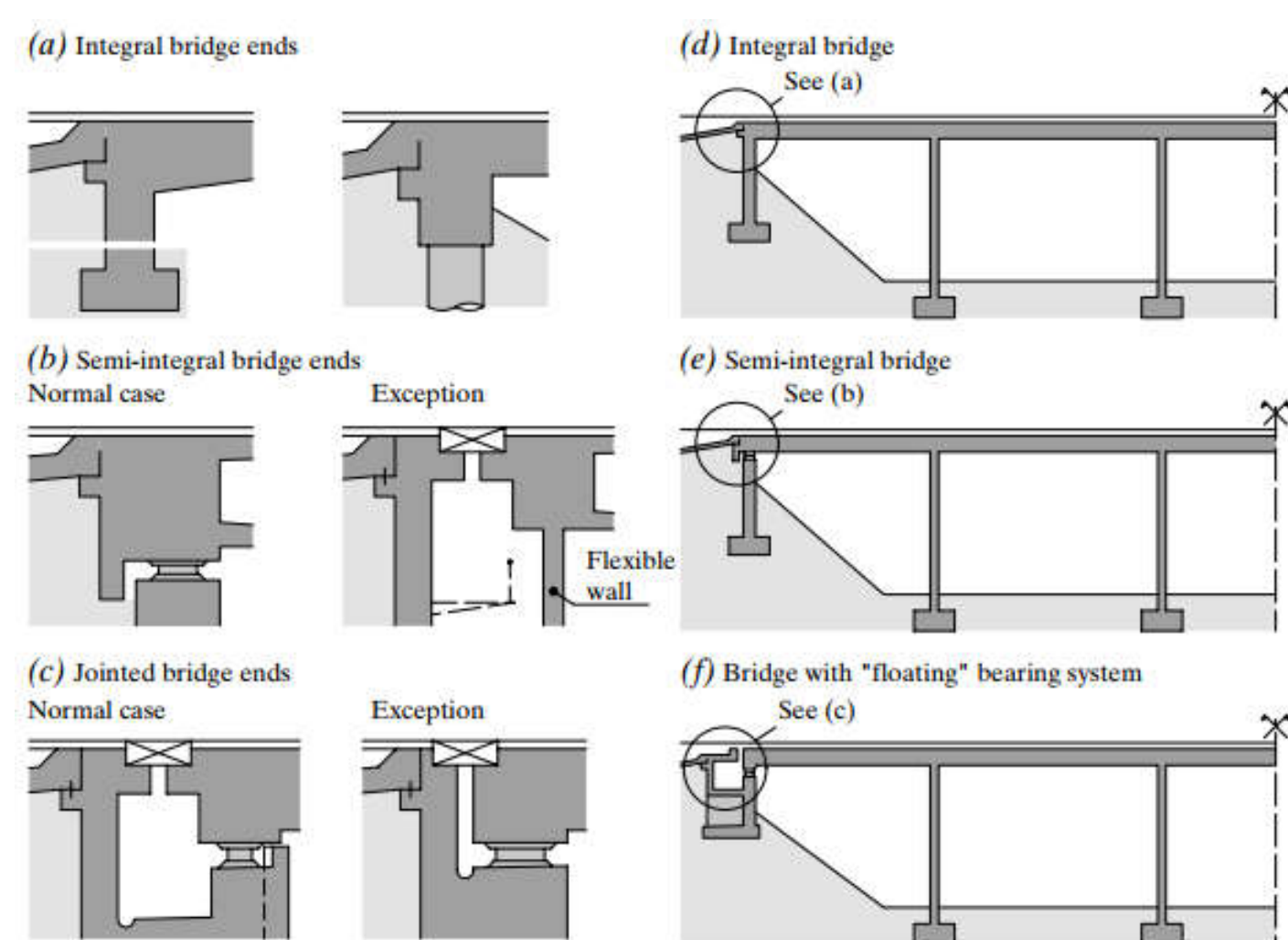


## Inngangur

Brúm án þensluraufa (samfelldum brúm) hefur fjölgað á Íslandi undanfarin ár, ekki síst vegna viðhaldsvandamála sem tengjast þensluraufum í eldri brúm. Samfelldar eða hlutasamfelldar brýr eru þó ekki lausar við vandamál vegna lengdabreytinga brúargólfsins heldur koma þau fram í niðurbroti jarðvegs og sigs við brúarendana í stað vandamála tengd þensluraufum [1]. Í þessu rannsóknarverkefni hafa verið dregnar saman erlendar rannsóknir á því hvað valdi og hvernig megi fyrirbyggja skemmdir vegyfirborðs við brúarenda samfelldra brúa, hvaða kröfur íslenskir og erlendir staðlar gera við hönnun samfelldra brúa, og gerður samanburður á vegyfirborði við nokkrar samfelldar brýr.

## Skilgreining brúarenda

Hefðbundnar brýr af ákveðinni lengd hafa þensluraufar við enda brúargólfsins og legur á milli endabita og endastöpla, sjá neðstu línu á mynd 1. Brúargólfinu er því frjálst að hreyfast, t.d. við hitabreytingar, en hins vegar er kostnaðarsamt að viðhalda þensluraufinni og að smíða rými bakvið endabitann til að sinna viðhaldinu. Í sumum tilfellum er þensluraufinni sleppt en lega notuð á milli endabita og endastöpla, þær brýr kallast hlutasamfelldar brýr (e. semi-integral bridges), sjá miðjulinuna á mynd 1. Í hlutasamfelldum brúm hreyfist yfirbyggingin, þ.e. brúargólf, endabitinn og siglattan sem ein heild en hreyfingin er slitin frá endastöplunum. Í samfelldum brúm er hins vegar bæði þensluraufum og legum sleppt, sjá efstu línuna á mynd 1. Endastöplarnir hreyfast þá með yfirbyggingunni sem veldur auknu álagi á aðlægar fyllingar burðarvirkisins.



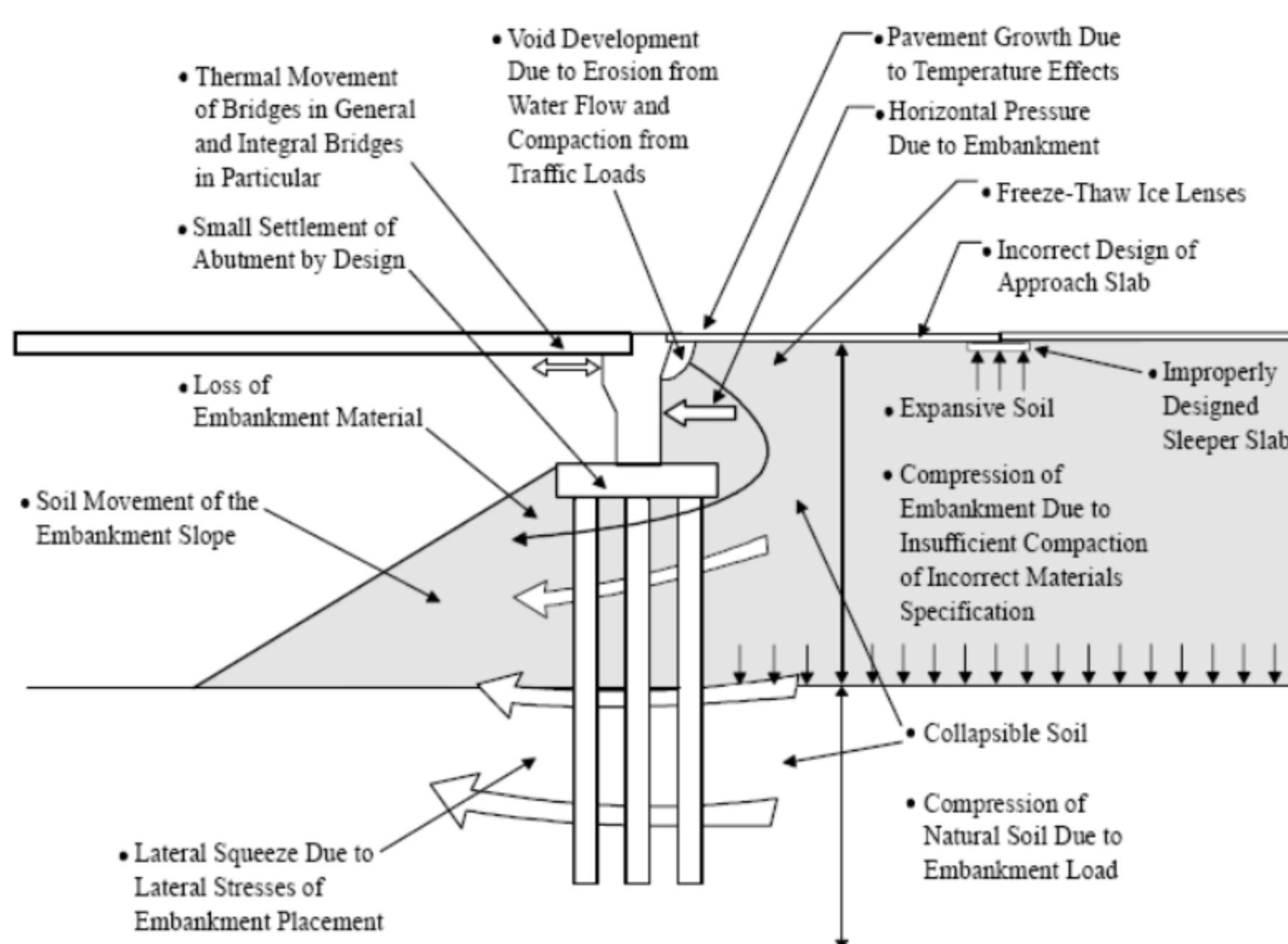
Mynd 1: Samanburður á endafrágangi brúa, efst er samfelld brú, í miðjunni er hlutasamfelld brú og neðst er brúarendi með þenslurauf [2]

Athuganir sem gerðar voru á 4 brúm með mismunandi endafrágang á höfuðborgarsvæðinu benda til að almennt sé ósamfellur að finna við 50-70 m brýr, nema við brú sem hefur endafrágang skv. því sem kynnt er hér til hægri. Þó verður að halda því til haga að sú brú (Fellsvegur) er yngst þeirra sem var til skoðunar. Ennig er ástand þensluraufa víða bágborið.

## Helstu orsakir skemmda í slitlagi

Helsta vandamálið við samfelldar og hlutasamfelldar brýr er dæld eða sprunga sem myndast í slitlagi aðlægs vegyfirborðs. Orsakir skemmda í slitlagi vega við samfelldar brýr geta verið margar og mismunandi eins og mynd 2 sýnir en þessar eru helstar:

- Láréttar hreyfingar brúargólfs
- Mismunasi á milli endastöpla og fyllingar
- Ófullnægjandi siglplötufrágangur
- Tæringar- og veðrunarvandamál
- Stigvaxandi jarðþrýstingur í fyllingu



Mynd 2: Orsakir skemmda á yfirborði slitlag við samfelldar brýr eru margvíslegar [3]

## Erlendar rannsóknir

Í niðurstöðum rannsókna á frágangi brúarenda við samfelldar / hlutasamfelldar brýr er almennt mælt með úrbótum sem skipta má í þrjá flokka; auknar gæðakröfur bakfyllingar, notkun frauðplasts við endastöpla og breytta hönnun og frágang siglattan. Flestar rannsóknir meta fleiri en einn flokk en rannsóknirnar benda til að eftirtalin atriði dragi úr skemmdum á vegyfirborði:

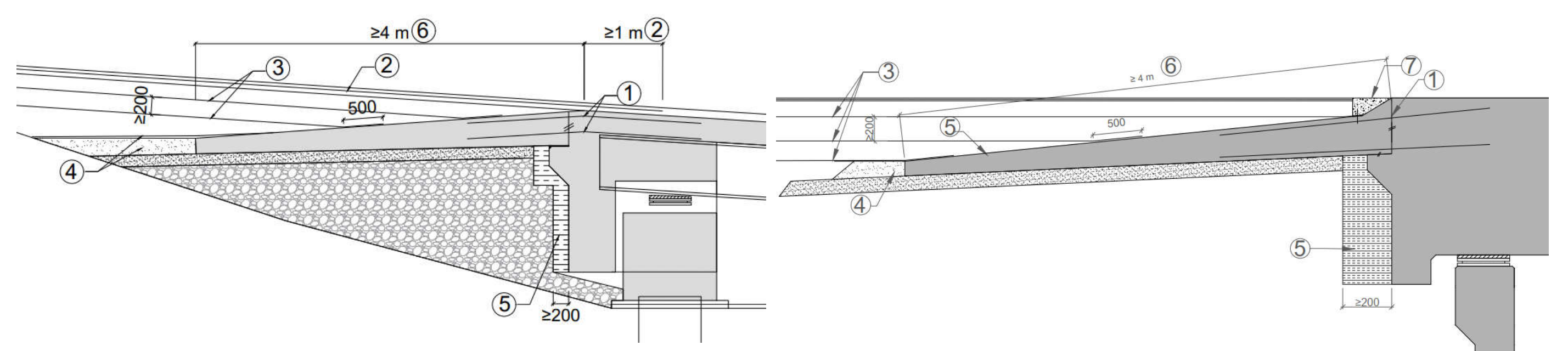
- Fyllingin á að vera vel þjöppuð og úr einleitu grófkorna efni til að minnka tímaháð sig.
- Jarðvegsstyrking fyllingar með jarðvegsdúkum eða notkun frauðplasts til að koma í veg fyrir að fyllingin sigi niður í holrúm sem myndast þegar brúargólf dregst saman við rýrnun.
- Notkun á teygjanlegu frauðplasti sem dempara við endabita og/eda við endaveggi til að minnka jarðþrýsting og dældarmyndun við yfirborð.
- Siglplata hönnuð til að brúa holrúm sem er um 1,5 m að lengd.
- Siglplata skáhallandi fyrir neðan yfirborð, og tengd við brúargólf með samfelldum járnnum sem ráða við vægisáraun eða með skáhallandi járnnum við endastöplinn sem leyfa plötunni að snúast.
- Tenging á milli siglplötunnar og brúarenda á að vera vatnspétt.

## Tillaga að breyttum brúarenda

Frágangur brúarenda á Íslandi er að mörgu leyti mjög frambærilegur, Vegagerðin setur ýmsar góðar kröfur eins og að nota siglplötur í samfelldar brýr, gæðakröfur eru gerðar til fyllingar og fyllingin skal vera þjöppuð í lögum við útlögn. Þrátt fyrir kröfur Vegagerðarinnar kom fram í rannsókn Gylfa og Helga að yfirborð vega við langar samfelldar brýr á Íslandi þyrftu tíðara viðhald heldur en aðrir veghlutar.

Byggt á erlendum rannsóknum, erlendum stöðlum og reynslu EFLU af frágangi brúarenda samfelldra brúa eru nokkrar úrbætur á frágangi brúarenda á Íslandi lagðar til:

1. Tengja siglplötuna efst í endabita brúargólfsins með ryðfríri járnun og leggja vatnsvarnarlag yfir þar sem malbikað er á brú. Tengingin tryggir að platan fylgi hreyfingum brúar og eykur „mýkt“ yfirgangins (stallar við brúarenda lækkar eða hverfur).
2. Leggja malbik í tveimur lögum yfir brúnna og nota styrktarnet á milli yfir yfirganginum, til að dreifa sprungum. Þetta á þó ekki eins vel við þar sem ekki er malbik á vegi.
3. Nota jarðvegsdúka til að styrkja fyllinguna ofan við siglplötu og draga úr jarðvegssigi.
4. Nota fyllingu úr rúnnaðu 4-8 mm efni við siglplötuenda og hástyrkleikadúk ofan á fyllinguna. Til þess að taka á móti hreyfingum siglplötunnar án þess að valda skemmdum í fyllingunni.
5. Nota mjúkt frauðplast bakvið endabita undir siglplötu. Plastið þjappast saman við þjöppun fyllingar og gefur eftir við rýrnun brúarinnar sem eykur stæðni fyllingar og minnkar sig.
6. Nota lengda siglplötu,  $\geq 4$  m, sem grennist út frá brúarendanum. Lengda siglplatan dreifir spennunum yfir stærra svæði.
7. Fyrir brýr með klæðingu er notaður elatískur pólýúretanmassi sem er tengdur við steypuna með ryðfríum teinum við yfirganginn inn á brúnna.

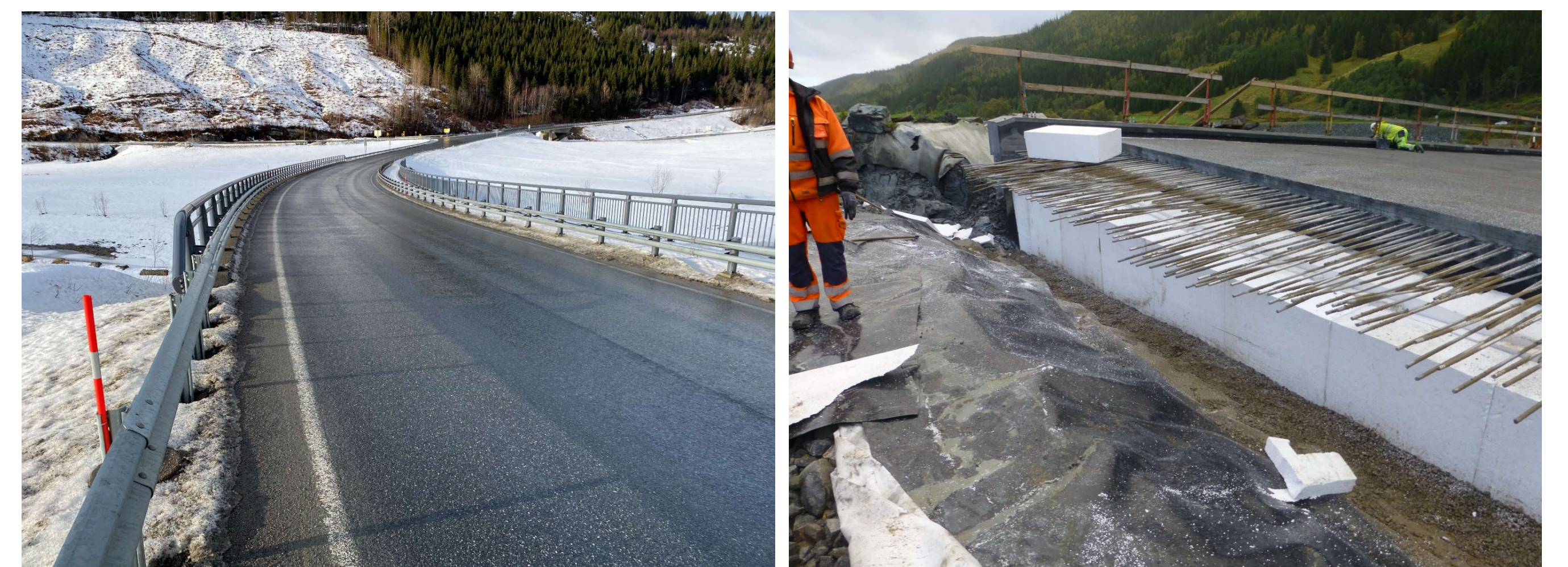


Mynd 3: Tillaga að úrbótum á frágangi brúarenda hlutasamfelldra brúa, til vinstri er brú með malbiki og hægri með klæðingu.

Til stendur að nota breytta brúarendann með klæðingu á brú yfir Hornafjarðarfjót og hafa Þorskafjörð til samanburðar.

## Reynsla frá Noregi

Skauðalbrúin í Noregi er 90 m löng samverkandi brú í þremur mislögum höfum og er staðsett í mið-Noregi. Brúin var hönnuð af EFLU samkvæmt upplaginu að ofan. Á mynd 4 má sjá ástand slitlagsins við brúarendana um 5 árum eftir að brúin var byggð.



Mynd 4: Skauðalbrú, myndir frá mars 2020 þegar brúin var um 5 ára gömul

## Brúarendar á Íslandi – eftirfylgni fyrri rannsóknar

Myndir hér til hliðar sýna ástand við enda brúa yfir Hvítá (270 m) og Múlavísl (160 m). Ástandið við Múlavísl er betra og viðhaldspörf þar ekki mikil, en við Hvítá hefur oft þurft að gera við endann. Þetta bendir til að efri mörk séu á lengd þeirra brúa sem þola að vera hlutasamfelldar áður en viðhald fer að verða verulegt. Því verður áhugavert að sjá samanburð við nýjan frágang sem stefnt er að því að nota á brú yfir Hornafjarðarfjót. Samanburður við myndir af Skauðalbrú að ofan sýnir einnig að akstursskilyrði við brýr sem hafa samfellt slitlag við aðliggjandi veg eru betri en á brúm með steypu gólfi og klæðingarslitlagi að brú.



Mynd 5: Brýr yfir Hvítá (til vinstri) og Múlavísl (til hægri) tekna þegar brýrnar eru 5 og 7 ára gamlar [4]

## Niðurstöður

Reynsla af breytta brúarendanum bendir til þess að viðhaldspörf á slitlagi við brúarenda sé í lágmarki og akstursskilyrði góð. Þó verður að hafa í huga að brýrnar sem hafa breytta endann eru ekki mjög langar (Fellsvegur 46 m og Skauðalbrú 90 m). EFLA vinnur áfram að innleiðingu breytta brúarendans við hönnun brúa og verkið hefur þegar vakið athygli í Noregi. Breytti brúarendinn verður m.a. notaður þar sem þensluraufa verður skipt út fyrir lengda siglplötu í yfirborði og við hönnun á 250 m langri göngu- og hjólabrú. Þörf er á frekari eftirfylgni verkefnisins til þess að sannreyna virkni endans, ekki síst fyrir lengri brýr, með það að markmiði að skilgreina hversu langar brýr sé hægt að byggja án þess að vandamál á milli samspils burðavirkis og jarðvegs verði of mikið.

Þessi rannsókn á þróun á endafrágangi brúa til að lágmarka viðhald vega við brúarenda er unnin fyrir styrk úr rannsóknasjóði Vegagerðarinnar.

Heimildir:

- [1] D. J. White, M. M. Mekawy, S. Srithran og M. T. Suleiman, „Underlying Causes for Settlement of Bridge Approach Pavement Systems“, *Performance of Constructed Facilities*, vol 21, no 4, 2007.
- [2] W. Kaufmann og M. Alvarez, „Swiss Federal Roads Office Guidelines for Integral Bridges“, *Structural Engineering International*, b. 21, nr. 2, pp 189-194, 2011.
- [3] J.-L. Briaud, R. W. James og S. B. Hoffman, Settlement of Bridge Approaches (The Bump at the End of the Bridge), Washington, D.C: Transportation Research Board, 1197.
- [4] G. Sigurðsson og H. S. Ólafsson, „Brúarlengd án þensluraufa“, Vegagerðin, 2016.