

Rannsóknarráðstefna Vegagerðarinnar 27.10.2017

Rannsóknarverkefni; **Yfirborð brúa**

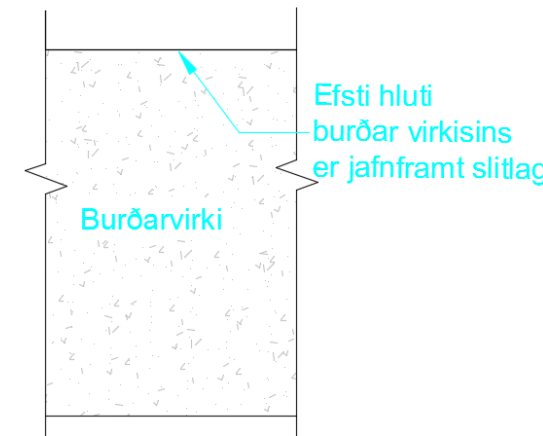
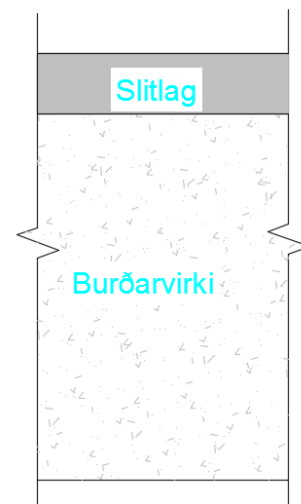


Verkefnið; Yfirborð brúa

- Efni í yfirborði brúa hér á landi:
 - algengast malbik á Höfuðborgarsvæðinu o.fl. þéttbýlum svæðum
 - steypa utan þéttbýlis og ekið á efsta hluta steypa burðarvirkisins á lausnum sem kalla mætti „**hefðbundnar**“ brúarlausnir Vega-gerðarinnar en á þessu eru ýmisskonar undantekningar
- Viðfangsefnið var að skoða hvort „**hefðbundna**“ aðferðin standist lengur skoðun:
 - viðhaldið er afar dýrt og tímafrekt sbr. Borgarfjarðar-, Blöndu- og Sogsbrýr
 - komið er að viðhaldi á hverju brúaryfirborðinu á fætur öðru, sem gerð voru með „**hefðbundnu**“ aðferðinni
 - steypumassar eru oft miklir og snúið að ná vel sléttu yfirborði í nýjum brúm
 - í ósléttu yfirborði leynast hættur ekki síst í vaxandi ferðamannastraumi
 - það felst hætta fyrir vegfarendur í langvinnum viðgerðum á annarri brúarakreininni
- Mögulegar lausnir:
 - **algenga lausnin**; malbik í einu eða tveimur lögum ásamt þéttlagi ofan á burðarvirkið háð umferð og umferðarpunga
 - sérstakt sjálfstætt steypt slitlag ofan á burðarvirkið

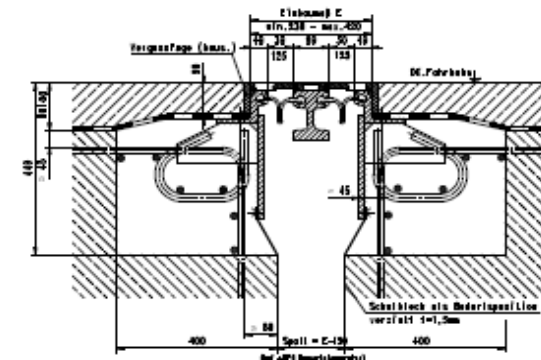
Höfuðborgarsvæðið o.fl.

"Hefðbundna aðferðin"

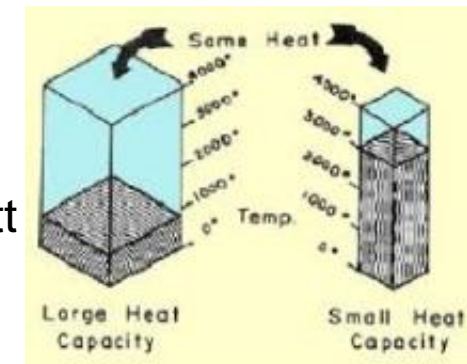


Kröfur til brúaryfirborðs

- Brú er hluti af vegi og yfirborðið þarf því a.m.k. að uppfylla sömu kröfur hvað varðar aksturseiginleika:
 - vera slétt og fellt, misfellingulítið og slitsterkt m.t.t. hagkvæms viðhalds og mörkin milli brúar og vegar þurfa ekki síður að vera slétt og felld
 - *hagkvæmt viðhald: árangursríkt, fljótlegt, slitsterk endurnýjun, veikir ekki burðarvirkið*
 - *koma fyrir þensluráufum við brúaenda, Norðmenn miða við 100 – 120 m hámarks-brúarlengd án þensluráufar*
 - þar sem umferðarhraði er mikill er æskilegt að sama efni sé í veg- og brúaryfirborði, en það gengur ekki upp þegar klæðning er á vegi:
 - *malbik á veg- og brúaryfirborði*
 - *klæðning á vegyfirborði og steypa eða malbik í brúaryfirborði*
- Varmarýmd vegkroppss hvoru megin brúar er almennt mun meiri en brúarinnar:
 - þannig myndast fyrr hálka á brú en vegi þegar frýs, sem kann að reynast skeinuhætt
 - hálka fer þá einnig fyrr af brúaryfirborðinu, þegar hlánar
- Vel heppnað yfirborð, ef menn taka vart eftir að hafa ekið yfir brú
- Hlutverk brúayfirborðsins er einnig að verja undirliggjandi burðarvirki



Þensluráuf



Varmarýmd

Brýr með malbikað slitlagsyfirborð

- Tvær þægilegar Elliðaárbrýr
 - sammerkt með þeim að maður veitir því varla athygli, að farið var um þær
 - slit í brúayfirborðinu eins og í veginum að öðru leyti



Elliðaárbrú í Víðidal (1993)

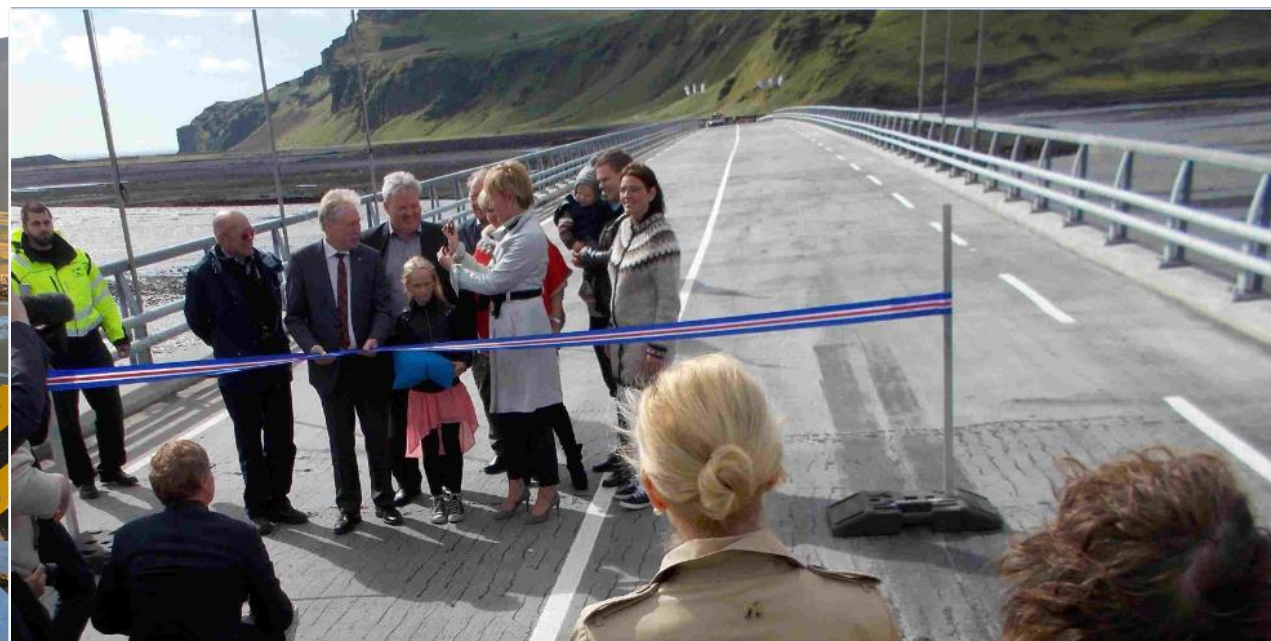


Elliðaárbrýr upp af Elliðavogi (1970 og 1996)

Brýr með „hefðbundnu“ aðferðinni



Dýrafjarðarbrú (1990)



Múlakvísl (2014)



Glísfjarðarbrú (1997)



Óseyrarbrú (1988)



Steypurannsókn 2017



Sprungur vegna steypuhita

Yfirborð brúa:
Helgi S. Ólafsson
Gylfi Sigurðsson

Brýr með sérstakt staðsteypt slitlag frá upphafi

- Brúin í Arnarneshæð yfir Hafnarfjarðarveg byggð 1990 er sérstök og sker sig úr ásamt brúnni í Bæjarhálsi
 - sérstakt staðsteypt 80 mm stáltrefjastyrkt slitlag, steypa S500 (C50/60), steypit í upphafi ofan á burðarvirkið án sérstakra ráðstafana, gallalaust að sjá og virðist hafa varið undirliggjandi burðarvirki mjög vel
 - 60 mm lag var fræst ofan af syðstu akreininni 2013 og endursteypt með slitsterkri steypu sömu gerðar og er í Borgarfjarðarbrú, einnig gallalaust að sjá
 - það tók aðeins um 1 klst að fræsa 220 m² af yfirborðinu og akreinin var komin aftur í notkun eftir 3 daga!
- Brúin á Bæjarhálsi (1994) er einnig með 80 mm staðsteyptu slitlagi, en líklega án trefja
 - **hvers vegna voru þessar vel heppnuðu aðferðir ekki endurteknar og þróaðar áfram, gleymdust þær?**



Arnarneshæð (1990)



Slitlag á 1 af 4 akreinum endurnýjað 2013



Varnarhlutverk brúaryfirborðsins fyrir burðarvirkið

- Í Evrópu og USA er litið þannig á að hlutverk yfirborðslags sé einnig að verja undirliggjandi burðarvirki og er hluti marglaga þéttingar:
 - þar hafa menn komið sér upp aðferðafræði til að velja gerð ídráttarröranna sbr. mynd hér fyrir neðan
 - áreitistigið er metið og hér á landi er það frá milli- upp í hátt- áreitisstig m.a. vegna loftborins salts
 - ef ekki er yfirborðslag sem er viðhaldið þurfa ídráttarrör helst að vera í flokki PL3 og ekki lakari en PL2:
 - PL2 og PL3 rörin eru úr polymer og eru m.a. þrýstiprófuð eftir niðurlögn og skynsamlegt að læra af reynslu annarra í því sambandi – fara lærdóms leið, sem lagt var til í öðru verkefni
 - einkenni PL3 - gerðarinnar er að þar er gert ráð fyrir vöktunarbúnaði
 - PL1 – gerðin sem hér er notuð (stál) er aðeins notuð **innan húss** í Sviss
- Marglaga þétting byggist m.a. á eftirfarandi:
 - yfirborðsvörn, þéttri steypu, polymer ídráttarrörum og graut í þeim, sem umlykja kaplana
 - marglagapéttingin er hugsuð þannig, að eitt varnarlagið taki við af öðru ef annað bilar eða bregst

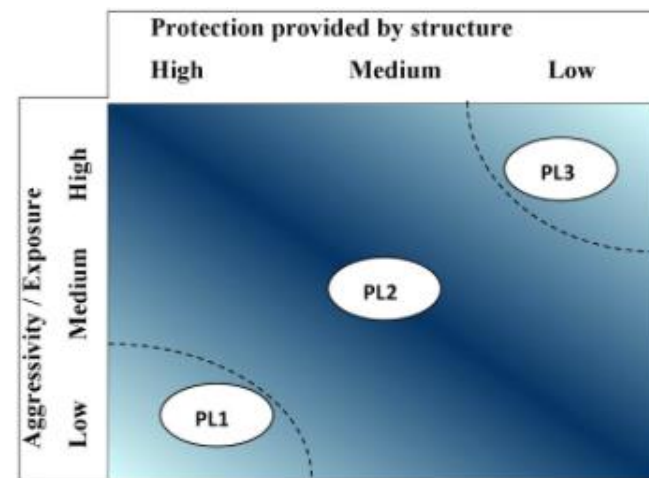


Figure 3.1: Protection Levels for post-tensioning tendons based on aggressivity/exposure versus protection provided by structure or member [fib 33 (2006)]

Hluti aðferðafræðinnar

Nokkrir kostir og gallar yfirborðsvarna

- Yfirborðið slitnar af völdum veðrunar, loftborins salts, vegsalts og umferðar, sem er eftir árstímum á negldum hjólbörðum
 - kostir þess að sleppa yfirborðsvörn eru einkum:
 - lægri stofnkostnaður
 - mannvirkið kemst fyrr í notkun
 - lengi framan af voru engir slitlagakostir mögulegir á yfirborð brúa og alls ekki úti á landi
 - lægri eiginþungi yfirbyggingar því yfirborðslög vigta
 - viðgerð „**hefðbundins**“ brúaryfirborðs er bæði tímafrek og kostnaðarsöm eins og komið verður nánar að síðar
 - með slitlögum fæst:
 - misfellingulítið yfirborð og þannig aukið umferðaröryggi
 - það er fljótlegt og auðvelt að fræsa það í burtu og endurnýja sbr. Arnarneshæð
 - viðhald verður mun kostnaðarminna eins og komið verður að síðar
 - undirliggjandi burðarvirki er varið (marglagavörn) sé slitlaginu viðhaldið
 - en í því felst þungi eins og sagði



Blöndubrú (1963)



Bæjarháls (1994) með 80 mm staðsteyptu slitlagi C80/95

Steypa sem stenst?



Blöndubrú (1963)



Óseyrarbrú (1988)



Sogsbrú (1983)



Köld steypuskil í
Krisuvíkurvegi
(2017)



Dýrafjarðarbrú (1990)



Kolgrafarfjarðarbrú (2004)



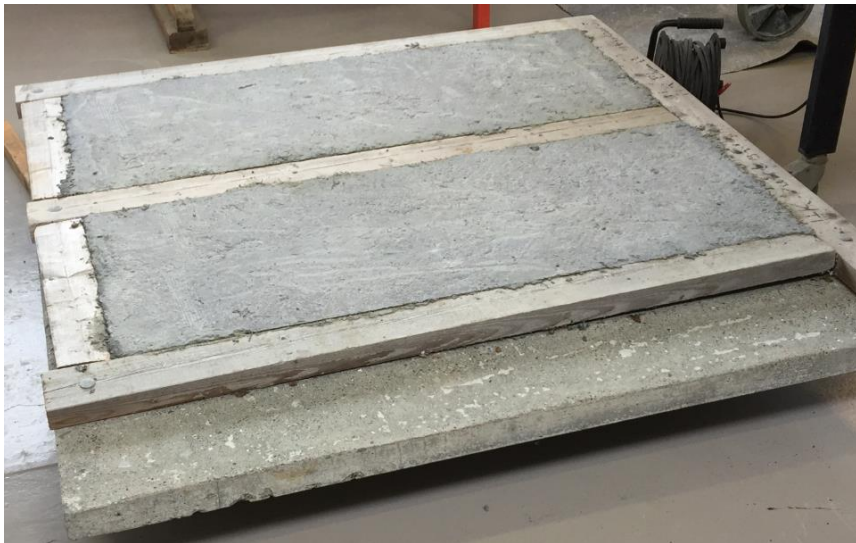
Sýni tekið úr stöpli hennar 2017

Er einhver glóra í sérstöku steypu slitlagi?

- 40 – 50 mm rannsóknarverkefni NMI
 - slitsterk, veðrunarþolin og rýrnunarlítill steypa, rýrnun ~ 1/3 af rýrnun venjulegrar steypu
 - rannsóknin hefur verið í gangi í meira en ár – engar sprungur
- Mislæga brúin á Arnarneshæð yfir Hafnarfjarðarveg byggð 1990 og nefnt hér fyrir framan að:
 - 80 mm þykkt slitlag var steyppt ofan á burðarvirkið í upphafi
 - 60 mm af syðstu akreininni voru fræstir burt á ~ 1 klst. 2013 og endurgerðir með 60 mm þykku slitsterku steypulagi – **brúin komin í notkun á ný eftir 3 daga!**
 - 27 ára reynsla er því af spenntri brú með ásteypulagi og auðvitað rýrnun, skriði og hitabreytingum!
- Mislæga brúin í Bæjarhálsi var byggð 1994 með 80 mm þykku staðsteypu slitlagi C80/95
- **Reynslan bendir til þess að spurningunni beri eindregið að svara játandi**

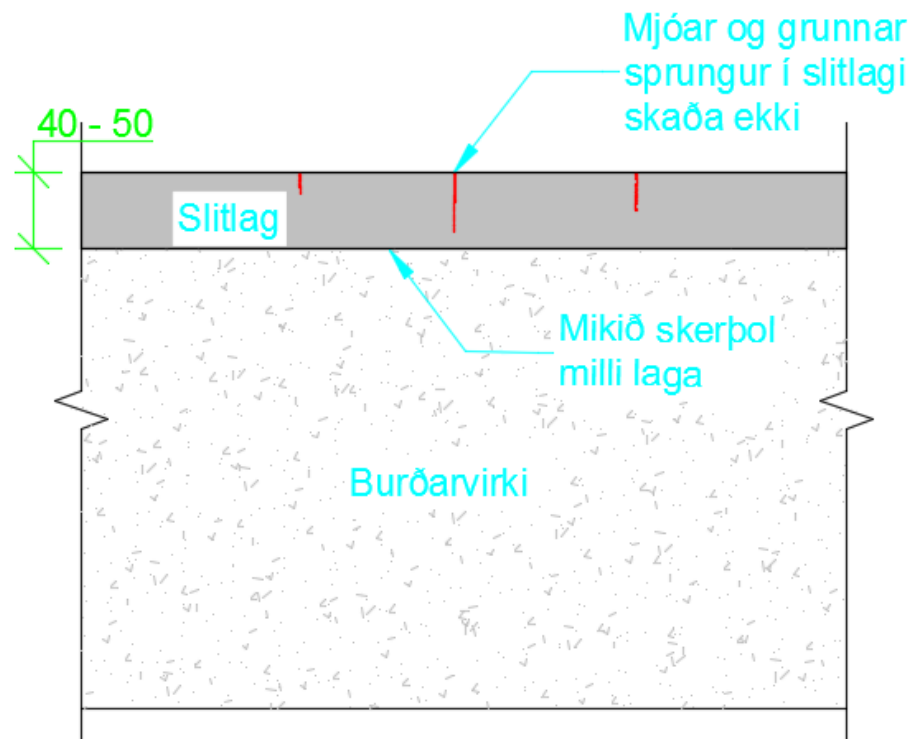
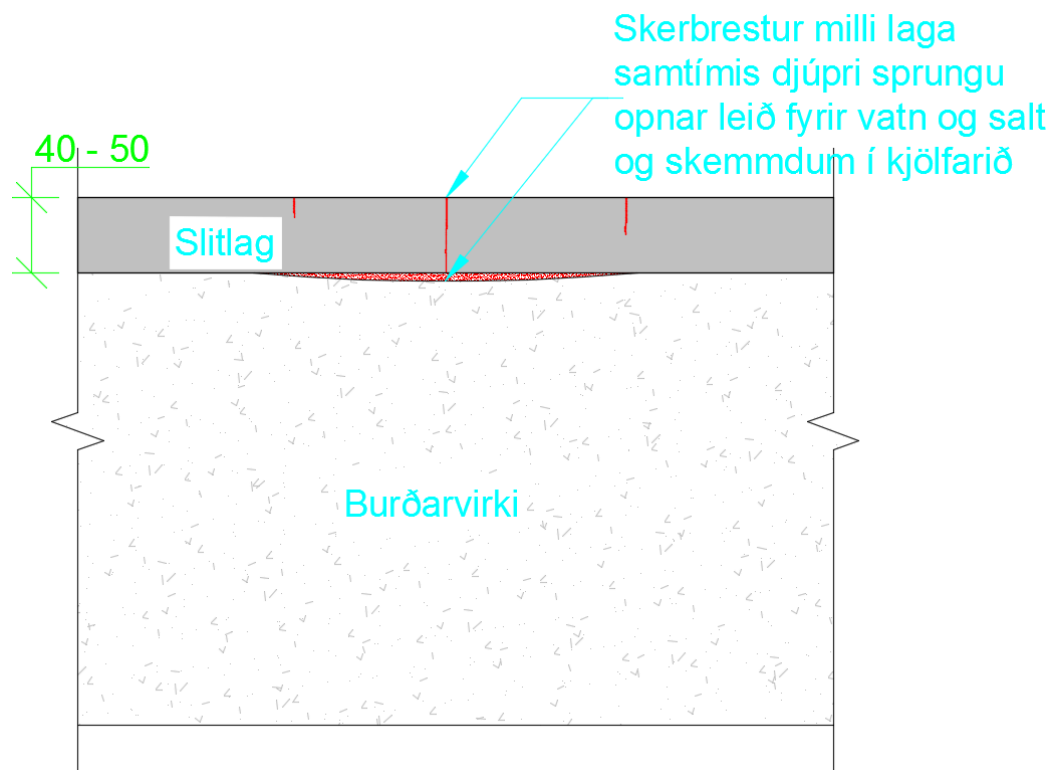


Arnarneshæð



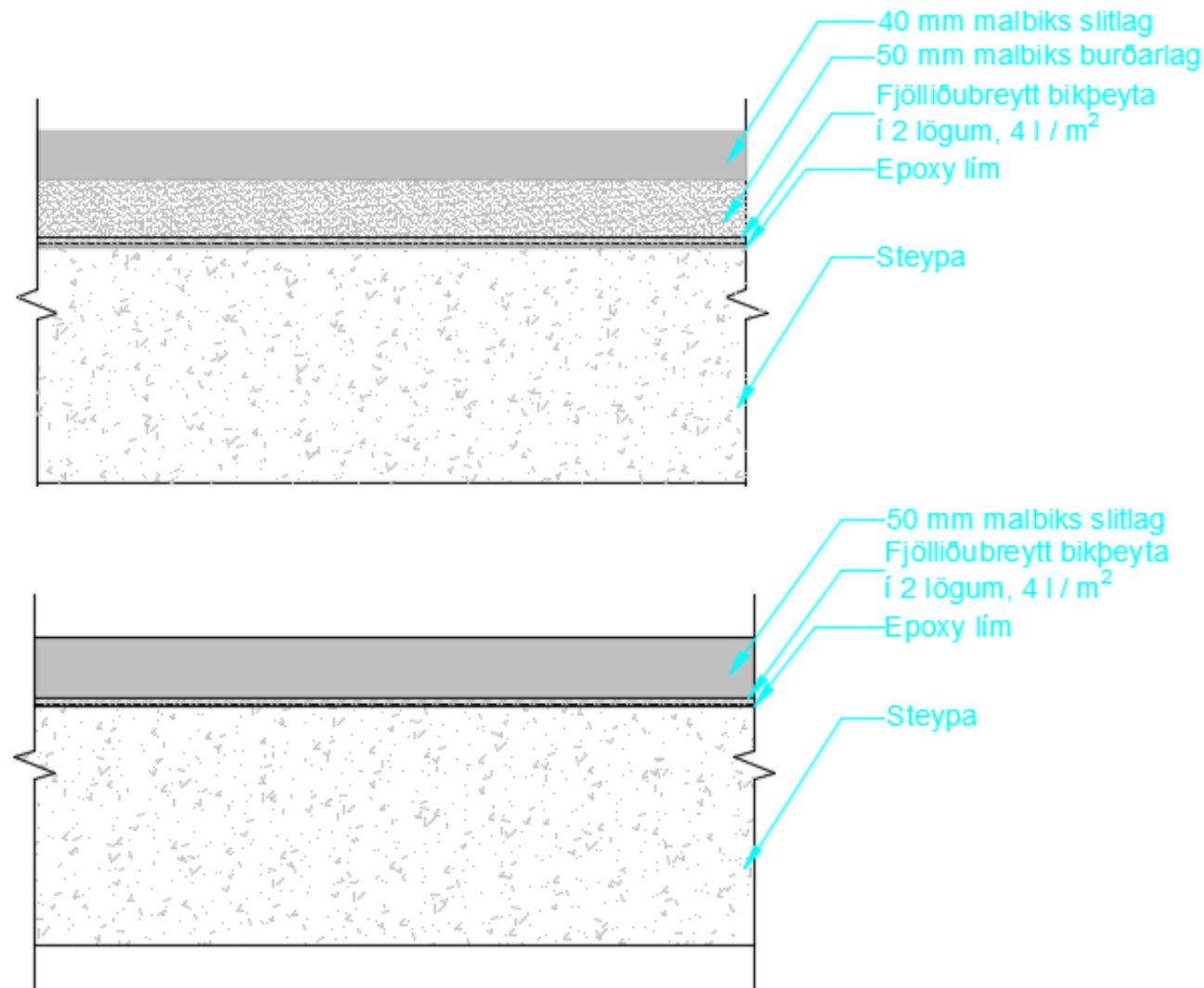
Hvað ef sprungur myndast í yfirborði steypis slitlags?

- Sprungur í slitlagi eru ekki skaðlegar nema los verði milli laga sbr. myndin til vinstri hér fyrir neðan
 - líklegast að fínar sprungur séu grunnar
 - rýrnunarlítill steypa og góð viðloðun milli laga eru mikilvægustu forsendurnar
 - steypa í yfirborði Arnarnesbrúar var ekki hugsuð sem sérstaklega rýrnunarlítill, en hefur eigi að síður dugað vel



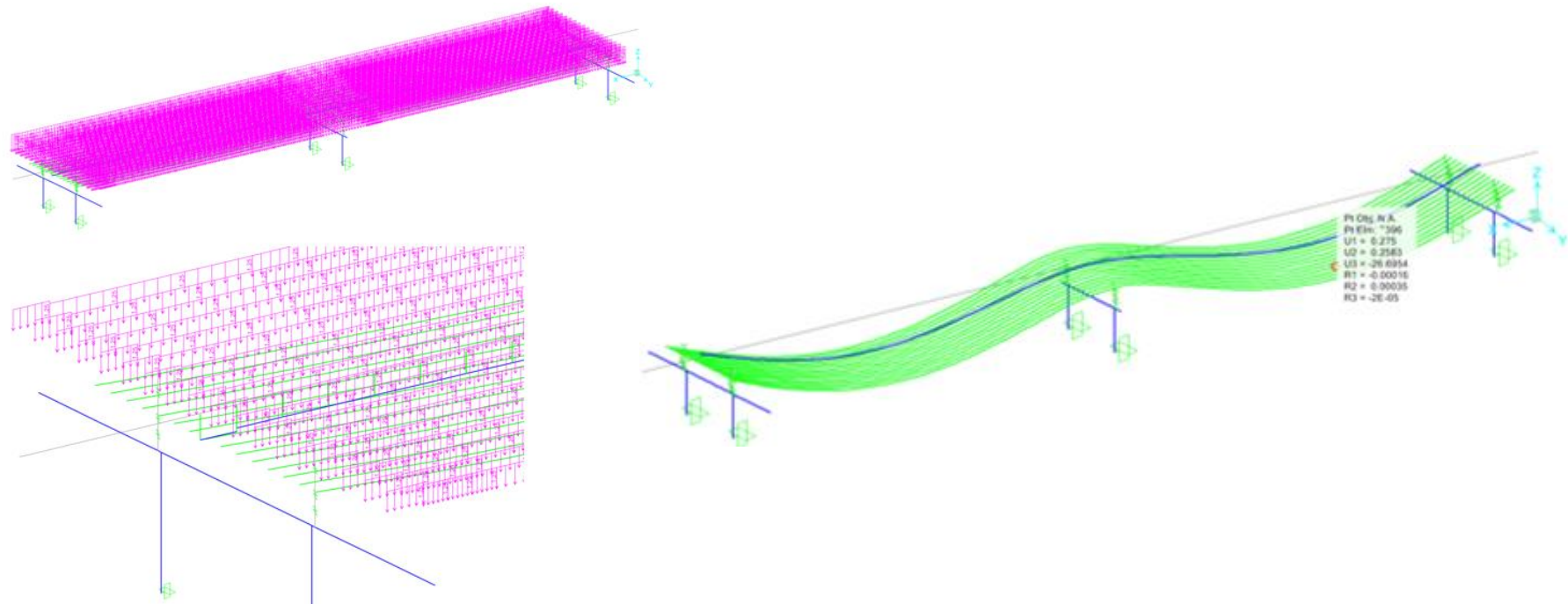
Stofn- og núvirtur kostnaður þriggja gerða slitlaga

- Þrjár slitlagakostir voru bornir saman og reiknað til núvirðis yfir 100 ára líftíma:
Slitlagagerðirnar:
 - 1 eða 2 malbikslög með þéttlagi á steypu
 - 50 mm slitsterkt steypulag
- aðrar forsendur:
 - staðsetningin var hugsuð í 200 km fjarlægð frá Reykjavík
 - núvirðing reiknuð miðuð við 3,5% vexti
 - ~ 30 mm malbiks fræstir burt á 10 ára fresti og endurgerðir
 - malbik og þéttlag endurnýjað á 40 ára fresti vegna þess að líftími þéttlaga er takmarkaður
 - ~ 40 mm steypa slitlagsins fræstir burt og endurnýjaðir á 40 ára fresti



Valda umrædd slitlög kostnaðaraukingu við gerð burðarvirkjanna?

- Þetta var skoðað með því að reikna tvær brýr í annars vegar tveim og hins vegar þremur höfum fyrir jafndreift álag $1,25 \text{ kN/m}^2$ yfir allan brúarflötinn, sem jafngildir $\sim 50 \text{ mm}$ þykkri steypu
 - niðurstaðan í ofangreindum tilvikum var að aukin eiginþungi af völdum 50 mm þykks steinsteypis lags leiddi ekki til aukins kostnaðar við gerð burðarvirkjanna
 - í öðrum tilvikum gæti orðið um óverulega kostnaðaraukingu að ræða t.d. bæta við kapli



Stofnkostnaður og núvirtur kostnaður 3 slitlagagerða

- Eins og áður kom fram eru forsendur m.a. 100 m löng og 10 m breið brú í 200 km fjarlægð frá Reykjavík, vextir 3,5 % eins og sagði

	2 malbikslög á vatns- og rakavarnarlagi Milljónir	1 malbikslag á vatns- og rakavarnarlagi Milljónir	50 mm slitsterk steypa Milljónir
Stofnkostnaður	~ 14,5	~ 13	~ 8,5
Núvirtur 100 ára líftímakostnaður	~ 27	~ 24	~ 11

Kostnaður vegnotenda

- Kostnaður lendir óhjákvæmilega einnig á vegnotendum þegar unnið er að viðgerðum, sem getur falist í að fara hjáleiðir, töfum vegna ljósastýringar o.s.frv.
- Erlendis munu vera dæmi um að tillit sé tekið til þessa og jafnvel kröfur um að svo sé gert í áætlangerð:
 - lægsti heildarkostnaðurinn er ekki endilega á sama tíma og lægsti verktakakostnaðurinn sbr. hjálagt línurit frá Texas Transportation Institute
- Í útreikningum hér á eftir var talið rétt að reyna að meta kostnað vegnotenda því viðgerðir standa yfir í langan tíma sbr. Sogs-, Blöndu- og sérstaklega Borgarfjarðarbrú

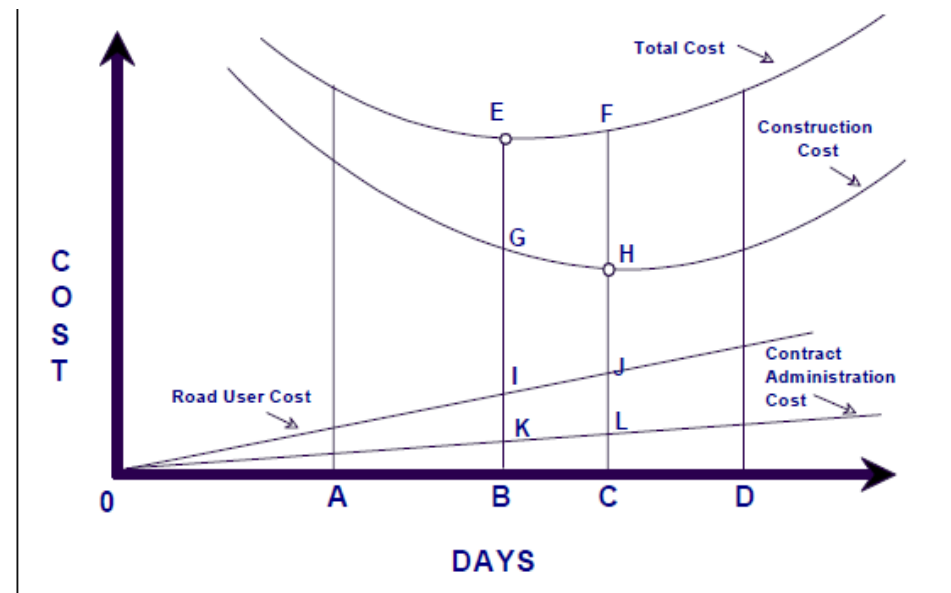


Figure A. Project Costs by Type, Related to Duration

Viðgerðarkostnaður 3 brúa í samanburði við slitlagakostnað án kostnaðar vegnotenda

	Brú á Blöndu Byggð 1964 Milljónir kr.	Brú á Sog við Prastalund Byggð 1983 Milljónir kr.	Brú á Borgarfjörð Byggð 1979 Milljónir kr.
Viðgerðarkostnaður Vegag. skv. bókhaldi	146 ⁽¹⁾	87	449 ⁽¹⁾
Viðgerðarkostnaður á verði byggingaárs miðað við 3,5% vexti	25 ⁽¹⁾	28	130 ⁽¹⁾
Umreiknað í 100 m brú á verði byggingaárs	~ 31 ⁽¹⁾	~ 33	~ 29 ⁽¹⁾

- ⁽¹⁾ viðgerð er ekki lokið, heildarviðgerðarkostnaður liggur ekki fyrir
- Í samanburði á tölum er mikilvægt að hafa verulegan gæðamun í huga slitlögum í hag

Stofnkostnaður slitlaga á 100 m brú

skv. útreikningum hér að framan:

2 malbikslög ~ 14,5 milljónir
1 malbikslag ~ 13 milljónir
50 mm slitlagssteypa ~ 8,5 milljónir

Núvirtur 100 ára kostnaður á 100 m brú

skv. útreikningum hér að framan:

2 malbikslög ~ 27 milljónir
1 malbikslag ~ 24 milljónir
50 mm slitlagssteypa ~ 11 milljónir

Kostnaður vegnotenda og viðgerðarkostnaður 3 brúa í samanburði við slitlagakostnað

- Kostnaður vegnotenda er reiknaður út frá áætluðum meðalbiðtíma hvers bíls, 1 mínúta, 1,33 farþegi í hverjum bíl og tímagjaldi 5.000 kr. / klst.

	Brú á Blöndu Byggð 1964 Milljónir kr.	Brú á Sog við Þrastalund Byggð 1983 Milljónir kr.	Brú á Borgarfjörð Byggð 1979 Milljónir kr.
Kostnaður vegnotenda á viðgerðartíma	31 ⁽¹⁾	34	179 ⁽¹⁾
Viðgerðarkostnaður Vegag. (skv. fyrri töflu) + kostnaður vegnotenda á viðgerðartíma	146 + 31 = 177 ⁽¹⁾ ~ 170 dagar það sem búið er	87 + 34 = 12 ~ 100 dagar	449 + 179 = 629 ⁽¹⁾ 2,5 mánuðir fyrir hver 2 höf
Viðgerðarkostnaður Vegag. + kostnaður vegnotenda á viðgerðartíma umreiknaður í 100 m brú á verði byggingaárs	37 ⁽¹⁾	46	41 ⁽¹⁾

- ⁽¹⁾ viðgerð er ekki lokið, heildarviðgerðarkostnaður liggur ekki fyrir
- Í samanburði á tölum er mikilvægt að hafa verulegan gæðamun í huga slitlögum í hag

Upphafskostnaður:

2 malbikslög ~ 14,5 milljónir
1 malbikslag ~ 13 milljónir
50 mm slitlagssteypa ~ 8,5 milljónir

Núvirtur 100 ára kostnaður:

2 malbikslög ~ 27 milljónir
1 malbikslag ~ 24 milljónir
50 mm slitlagssteypa ~ 11 milljónir

Samanburður á slitlagagerðum

- Malbiksslitlög á brýr eru algengur kostur út um allan heim. Spurningin er fremur um þykktir einstakra malbikslaga og ekki síst um uppbyggingu raka- og vatnsvarnarlaga
 - fjarlægð frá malbiksframleiðslu gæti reynst takmarkandi þáttur hér á landi, en það hefur ekki verið skoðað sérstaklega í verkefninu
- Í reynd liggur fyrir mjög jákvæð löng reynsla af staðsteyptu slitlagi á Arnarnes- og Bæjarhálsbrúnum, sem hefur staðist rýrnun, skrið og hitahreyfingar brúanna, en einnig hefur komið mjög jákvæð niðurstaða eftir ~ 1 ár út úr rannsókn NMI á 40 – 50 mm steypa slitlaginu
 - í verkefninu, sem hér er til umfjöllunar; **Yfirborð brúa** er eftirfarandi ályktun dregin:
„Af því sem fram hefur komið er sú ályktun dregin, að mjög góðar líkur séu á, að 40 – 50 mm staðsteypt rýrnunarlítið slitlag muni virka eins og til er ætlast, en um það er eigi að síður ekki talið rétt að fullyrða almennt því forsendur kunna að vera mismunandi“
- Gengið er út frá því að steypa í slitlög verði blönduð á staðnum úr forpökkuðum efnum í steypubíl (svo kölluð truckasteypa), þannig að aðflutningar verða tiltölulega einfaldir, þó flutningar verði langir. Reikna má með að slitlagasteypa muni reynast hagkvæmur kostur þegar fjarlægðir að brú aukast



Að lokum

- Í upphafi var þeirri spurningu varpað fram hvort brúargerð skv. „hefðbundnu“ aðferðinni stæðist ekki skoðun lengur og hér að framan er rökstutt að svo sé:
 - þannig hefur það líklega verið um skeið háð ýmsum þáttum m.a. malbiksverði
 - aðferðin stenst hvorki skoðun frá kostnaðarlegu né tæknilegu sjónarmiði, þegar horft er yfir 100 ára líftíma mannvirkja og mikilvægt er að hafa í huga að tæknilegir kostir eða eiginleikar eru ekki þeir sömu
 - í rauninni er verið að ýta kostnaði yfir á framtíðina með því að sleppa sérstöku slitlagi
 - **mikilvægustu tæknilegu þættirnir, sem hafa verið nefndir eru:**
 - *með sérstöku slitlagi fæst sléttara yfirborð og betri aksturseiginleikar og þar með aukið öryggi vegfarenda ekki síst vegna þess að varmarýmd vegkroppis er almennt meiri en brúar, þannig að hálf myndast fyrr á brúnni*
 - *með sérstöku slitlagi er komið fyrir varnarlagi í yfirborði brúar, sem verndar undirliggjandi burðarvirki, sérstaklega kapla og bendingu – sérstakt slitlag hefði þannig verndað Blöndubrú gegn frostniðurbroti hefði það verið raunhæft, þegar hún var byggð*
 - *sérstakt slitlag er hluti svokallaðrar marglaga þéttingar, sem felst í því, að þegar einn þáttur bílar tekur annar við og stuðlar að löngum líftíma burðarvirkja*
 - *við enda of langra brúa án þensluraufa myndast dældir, sem kunna að reynast varasamar sbr. mynd á fyrstu glærinni*
- Það liggur fyrir að Vegagerðin þarf að ráðast í að gera við yfirborð hveggar brúarinnar á fætur annarri, sem byggðar voru með „hefðbundnu“ aðferðinni, og því mögulega löngu tímabært að ígrunda hvort ekki sé rétt að víkja af þeirri braut og jafnframt að breyta einnig útfærslum á þeim brúm, sem eru í ferli núna, jafnvel þó þegar hafi verið boðið út





Þakka fyrir mig

Yfirborð brúa:
Helgi S. Ólafsson
Gylfi Sigurðsson

20

Rannsóknarráðstefna
Vegagerðarinnar 2017

FAGMENNNSKA
ÖRYGGI
FRAMSÝNI

