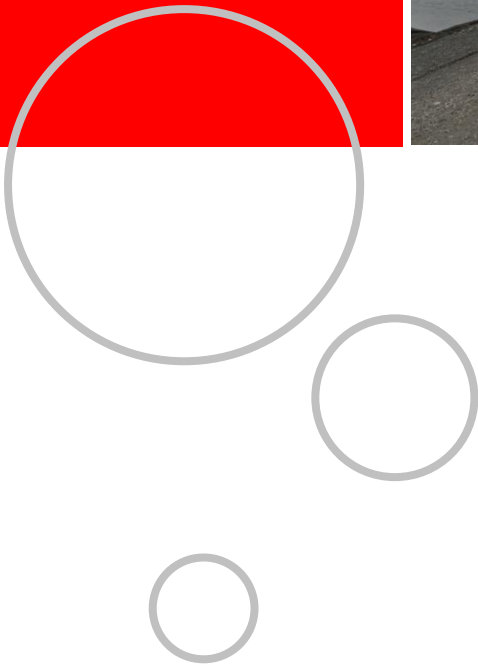


Vistferilsgreining fyrir brú

Rannsóknarverkefni

Vegagerðarinnar

September 2014



SKÝRSLA - UPPLÝSINGABLAÐ

Titill skýrslu Vistferilsgreining fyrir brú		Tegund skýrslu Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar	
Verkheiti Vistferilsgreining fyrir brú		Verkkaupi Vegagerðin	
Verkefnisstjóri - Efla Helga J. Bjarnadóttir		Verkefnisstjóri / fulltrúi verkkaupa Ingunn Loftsdóttir	
Höfundar og rýnendur Sigurður Thorlacius /EFLA Friðrik K. Gunnarsson /EFLA Baldvin Einarsson /EFLA Helga J. Bjarnadóttir /EFLA		Skýrslunúmer	Verknúmer 2970-172 Viðfangsnúmer Vegagerðarinnar 1800-448
Fjöldi síðna 37			
Útdráttur <p>Tilgangur þessa verkefnis er að meta umhverfisáhrif alls vistferils dæmigerðrar brúar á Íslandi og draga fram hvaða þættir í vistferli brúarinnar valda mestum umhverfisáhrifum. Greiningin er framkvæmd með aðferðafræði vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Assessment) í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og 14044. Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er 1 m² af nýtanlegu brúargólfi (brúargólfi milli bríka) sem endist í 100 ár. Hámarkshraði er 90 km/klst. og ÁDU er 371 bílar á dag. Kerfismörk greiningarinnar ná yfir öflun hráefna og orkugjafa, flutninga, byggingu, viðhald, rekstur og förgun brúarinnar og er líftími hennar skilgreindur sem 100 ár.</p> <p>Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar sýna að umhverfisáhrif brúarinnar eru helst í flokkunum gróðurhúsaáhrif, eyðing ólífrænna auðlinda og svifryk. Næsti flokkur þar á eftir er eituráhrif á fólk. Bygging brúarinnar veldur stærstum hluta umhverfisáhrifa og skipta þar steiptir hlutar með járnbindingu, rafstöð og vegrið mestu máli. Endurnýjun vegriða, kápusteypa og endurnýjun slitlags skipta einnig máli í viðhaldi brúarinnar. Ef stál sem fellur til í viðhaldi og við förgun brúarinnar er endurunnið þá dregur það úr umhverfisáhrifunum. Kolefnisspor brúarinnar er 2,97 tonn CO₂ ígildi á hvern m² nýtanlegs brúargólfs ef hagnaði af endurvinnslu er sleppt. Þá er það bygging brúarinnar sem veldur 81% af kolefnissporinu, viðhald og rekstur 18% og förgun 1%. Ef allt stál brúarinnar er endurunnið þá lækkar kolefnissporið um 13% niður í 2,58 tonn CO₂ ígildi / m².</p>			
Lykilorð Vistferilsgreining, LCA, brú, brúargerð, Vegagerðin, kolefnisspor			
Staða skýrslu <input type="checkbox"/> Í vinnslu <input type="checkbox"/> Drög til yfirlustrar <input checked="" type="checkbox"/> Lokið		Dreifing skýrslu og upplýsingablaðs <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Dreifing með leyfi verkkaupa <input type="checkbox"/> Trúnaðarmál	

Efnisyfirlit

Samantekt	v
1 Inngangur	1
2 Aðferðafræði vistferilsgreiningar	3
2.1 Umhverfisáhrif	4
3 Vistferilsgreining fyrir íslenska brú	6
3.1 Markmið og umfang	6
3.1.1 Markmið	6
3.1.2 Aðgerðareining	6
3.1.3 Kerfismörk	7
3.1.4 Mat á umhverfisáhrifum	8
3.1.5 Uppruni upplýsinga	8
3.1.6 Höfundar og rýni	9
3.2 Úrvinnsla gagna.....	10
3.2.1 Bygging brúar	10
3.2.2 Viðhald og rekstur brúar.....	16
3.2.3 Förgun brúar	18
3.3 Mat á umhverfisáhrifum	19
3.3.1 Helstu umhverfisáhrifaflokkar.....	19
3.3.2 Heildarumhverfisáhrif	20
3.3.3 Bygging brúar	22
3.3.4 Viðhald og rekstur brúar.....	23
3.3.5 Förgun brúar	25
3.3.6 Umhverfisáhrif eftir efnum	26
3.3.7 Kolefnisspor	27
4 Umræður og lokaorð	29
5 Heimildaskrá	32
6 Viðauki	33

Töfluskrá

Tafla 3.1: Helstu skrefin í vistferli brúarinnar, frá „vöggum til grafar“	8
Tafla 3.2. Notkun díselolíu við uppsetningu aðstöðu fyrir brúargerð á hvern m ²	10
Tafla 3.3. Flutningar á starfsfólki og tækjum á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.	10
Tafla 3.4. Efnis- og notkun díselolíu við jarðvinnu, gerð framhjálaups og vatnaveitingar á m ²	11
Tafla 3.5. Efnis- og notkun díselolíu við gerð staura á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.	11
Tafla 3.6. Efni í sökkla á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.	12
Tafla 3.7. Efni í stöpla á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.....	13
Tafla 3.8. Efni og notkun díselolíu fyrir grjótvörn og síulag á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.....	13
Tafla 3.9. Efni og notkun díselolíu fyrir fyllingarefni á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.....	14
Tafla 3.10. Efni í yfirbyggingu á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.	14
Tafla 3.11. Efni í sigplötur á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.....	15
Tafla 3.12. Efni í vegrið á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.	15
Tafla 3.13. Þéttlistar, niðurföll og lagnir á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.....	15
Tafla 3.14. Efni í vegmerkingu á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.....	16
Tafla 3.15. Olíunotkun rafstöðvar á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.	16
Tafla 3.16. Efnisnotkun og úrgangur viðhalds á slitlagi brúar í 100 ár á hvern m ²	16
Tafla 3.17. Efnisnotkun viðhalds á vegriði brúar í 100 ár á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs	17
Tafla 3.18. Efnisnotkun og úrgangur fyrir kápusteypu einu sinni á 100 ára líftíma brúar á m ²	17
Tafla 3.19. Efni í viðhald vegmerkingar í 100 ár á hvern m ² nýtanlegs brúargólfs.....	17
Tafla 3.20. Efni sem fellur til við förgun brúarinnar.	18
Tafla 3.21. Umhverfisáhrif fyrir byggingu, viðhald, rekstur og förgun brúar á m ²	21
Tafla 3.22: Skýring á verkþáttum við byggingu brúar	23
Tafla 3.23: Skýring á verkþáttum við rekstur og viðhald brúar.	24
Tafla 3.24: Skýring á þáttum í förgun brúar	25
Tafla 3.25: Skýring á eignum brúar í mynd 3.10.....	27
Tafla 4.1. Samanburður helstu stærða brúarinnar yfir Aurá og brúarinnar í Hillersvíka	30

Myndaskrá

Mynd 2.1. Fjórir þættir vistferilsgreiningar samkvæmt ISO stöðlunum ISO 14040 og ISO 14044.	3
Mynd 3.1. Kennisnið brúar yfir Aurá.	6
Mynd 3.2: Grunnmynd brúar yfir Aurá.	7
Mynd 3.3: Helstu þættir í vistferli brúar.	7
Mynd 3.4: Staðsetning brúarinnar yfir Aurá	9
Mynd 3.5. Þáttur mismunandi flokka umhverfisáhrifa í heildaráhrifum út frá ReCiPe 1.08.....	19
Mynd 3.6. Hlutdeild byggingar, viðhalds, reksturs og förgunar brúar í umhverfisáhrifum brúar	20
Mynd 3.7. Hlutdeild mismunandi byggingarþátta í umhverfisáhrifum byggingu brúar.	22
Mynd 3.8. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum viðhalds og reksturs brúar í 100 ár	24
Mynd 3.9. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum förgunar brúar.	25
Mynd 3.10. Hlutdeild mismunandi efna í umhverfisáhrifum vistferils brúar	26
Mynd 3.11. Kolefnisspor brúar sýnt eftir mismunandi þáttum í vistferli hennar.	28
Mynd 6.1. Umhverfisáhrif frá byggingu, viðhaldi, rekstri og förgun brúar.	33
Mynd 6.2. Hlutdeild mismunandi byggingarþátta í umhverfisáhrifum byggingu brúar (ILCD)	34
Mynd 6.3. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum viðhalds og reksturs brúar (ILCD)	35
Mynd 6.4. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum förgunar brúar (ILCD).....	36
Mynd 6.5. Hlutdeild mismunandi efna í umhverfisáhrifum vistferils brúar (ILCD)	37

Samantekt

Markmið verkefnisins er að meta umhverfisáhrif brúar í íslenska þjóðvegakerfinu utan við höfuðborgarsvæðið með aðferðafræði vistferilsgreiningar (e. LCA). Það er gert svo hægt sé að birta upplýsingar um umhverfisáhrif brúargerðar sem tekur mið af íslenskum aðstæðum og draga úr neikvæðum umhverfisáhrifum brúa á Íslandi. Greiningin er gerð í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga. Farið var eftir tilmælum ILCD í mati á umhverfisáhrifum að undanskyldu því að notuð var ReCiPe 1.08 aðferðinni til að auðkenna mikilvægustu flokka umhverfisáhrifa.

Greiningin er gerð fyrir steypa, tvíbreiða plötubrú yfir Aurá við Lómagnúp í Skaftárhreppi og aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er 1 m² af nýtanlegu brúargólfi (brúargólfi milli bríka) sem endist í 100 ár. Kerfismörk greiningarinnar ná yfir allan vistferil brúarinnar, það er yfir öflun hráefna og orkugjafa, flutninga, byggingu, viðhald, rekstur og förgun hennar. Hámarkshraði er 90 km/klst. og ÁDU er 371 bílar á sólarhring.

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar sýna að umhverfisáhrif brúarinnar eru helst í flokkunum gróðurhúsaáhrif, eyðing ólífrænna auðlinda og svifryk. Næsti flokkur þar á eftir er eituráhrif á fólk. Bygging brúarinnar veldur stærstum hluta umhverfisáhrifa og skipta þar steypfir hlutar með járnbandingu, rafstöð og vegrið mestu máli. Endurnýjun vegriða, kápusteypa og endurnýjun slitlags skipta mestu máli í viðhaldi og rekstri brúarinnar. Förgun brúarinnar eftir 100 ára líftíma hennar veldur ekki miklum umhverfisáhrifum í heildarvistferlinum nema svifryki við niðurrif hennar. Ef stál brúarinnar er endurunnið og hagnaðurinn af endurvinnslunni tekinn með, þá dregur það úr gróðurhúsaáhrifum og eyðingu ólífrænna auðlinda af völdum brúarinnar. Þar sem bygging brúarinnar olli mestum umhverfisáhrifum og má draga þá ályktun að það sé mikilvægt að stuðla að því að bæði líftími og notkunartími brúa sé sem lengstur til að þær nýtist sem best.

Kolefnisspor brúarinnar er 2,97 tonn CO₂ ígildi á hvern m² nýtanlegs brúargólfs ef hagnaði af endurvinnslu er sleppt. Þá er það bygging brúarinnar sem veldur 81% af kolefnissporinu, viðhald og rekstur 18% og förgun 1%. Ef allt stál brúarinnar er endurunnið bæði í viðhaldi og við förgun hennar þá lækkar kolefnissporið um 13% niður í 2,58 tonn CO₂ ígildi / m². Með endurvinnslu þá lækka einnig áhrifin í flokknum eyðing ólífrænna auðlinda um 16% úr 0,045 kg Sb ígildi / m² í 0,038 kg Sb ígildi / m². Það borgar sig því að endurvinna stál bæði í viðhaldi og við förgun brúarinnar. Hagnaður af endurvinnslu (mulningi) steypu og nýtingu hennar sem fylling í annarri framkvæmd kemur óbeint inn í greininguna þar sem ekki þarf að urða steypuna. Því er mælt er með því að við niðurrif brúa sé efnið flokkað í steypu, stál og annað svo hægt sé að endurvinna stálið og steypuna. Vegna þess hve lítið magn plasts er í brúnni hefur förgun þess lítil áhrif á niðurstöðurnar.

Í greininguna voru teknir með þættir sem ekki eru alltaf teknir með í vistferilsgreiningum fyrir brýr. Þar má nefna uppsetningu aðstöðu og vinnubúða, flutning starfsfólks og tækja, timburmót sem tengja má brúargerðinni og keyrslu rafstöðvar. Díselrafstöðin veldur 14% gróðurhúsaáhrifa og 33% áhrifa í flokknum svifryk og því er mælt með að í brúargerð sé reynt að tengjast rafmagni beint frekar en að nota díselrafstöð. Áhrif móta, uppsetningu vinnubúða og flutnings starfsfólks og tækja eru minni. Í niðurstöðum greiningarinnar eru áhrif landflutninga talsverð en sjóflutninga mun minni. Í landflutningum skiptir flutningur steypu mestu máli og því ætti að nota steypu sem er framléidd eins nálægt verkstað og kostur er.

Þessi greining er fyrsta heildstæða mat á umhverfisáhrifum brúa á Íslandi með aðferðafræði vistferilsgreiningar og fyrsta skrefið í að geta tekið þátt í norrænu samstarfi á þessu sviði.

1 Inngangur

Brúargerð krefst mikils magns af auðlindum og vistferill (lífsferill) brúar hefur ýmis umhverfisáhrif í för með sér. Brýr á Íslandi eru mismunandi að stærð og gerð og fer það allt eftir hlutverki þeirra og umferðapunga á viðkomandi stað. Hönnun þeirra er mismunandi og þær eru mislangt frá þéttbýli. Því getur verið nokkuð flókið að meta heildarumhverfisáhrif brúa á Íslandi.

Tilgangur þessa verkefnis er að meta umhverfisáhrif af öllum vistferli dæmigerðrar brúar á Íslandi og draga fram hvar í vistferli hennar megi rekja helstu umhverfisáhrifin. Verkefnið er unnið fyrir Rannsóknasjóð Vegagerðarinnar og markmiðið er að gera grein fyrir umhverfisáhrifum íslenskra brúa svo að Vegagerðin geti nýtt niðurstöðurnar við byggingu, viðhald, rekstur og förgun brúa. Í greiningunni er notuð aðferðarfræði vistferilsgreiningar (e. *Life Cycle Assessment, LCA*) sem hentar vel til að meta umhverfisáhrif flókinna kerfa. Greiningin er gerð í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga.

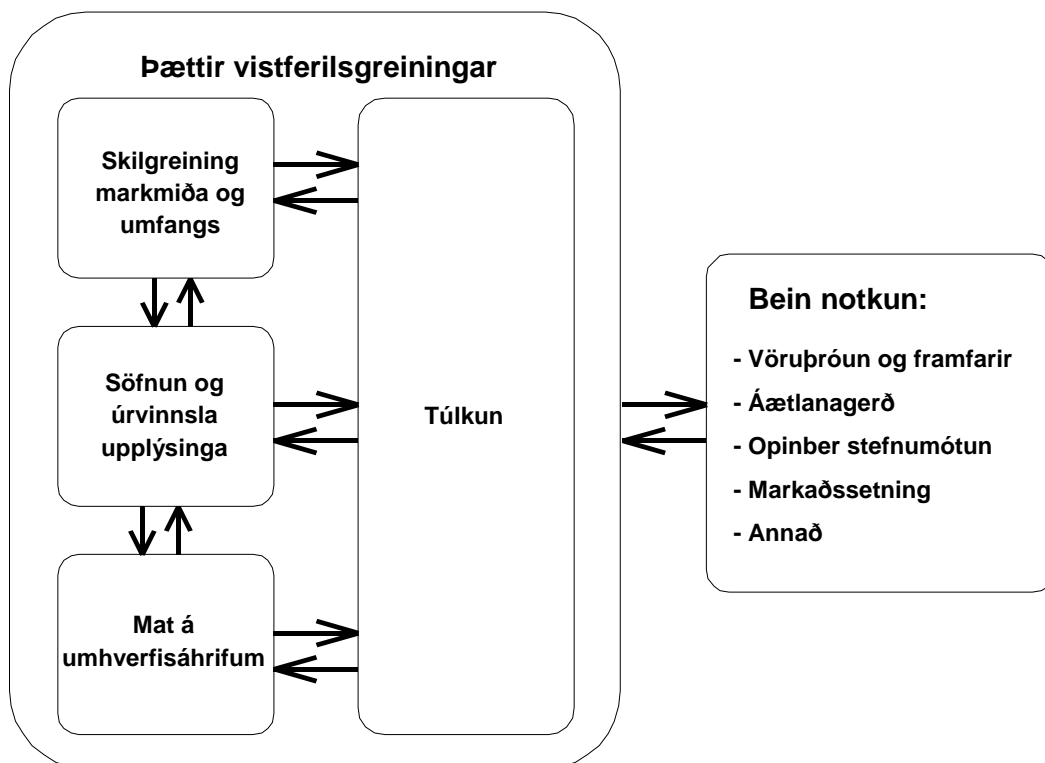
Ákveðið var að byggja greininguna á dæmigerðri steyptri brú í íslenska þjóðvegakerfinu og var tvíbreið brú yfir Aurá við Lómagnúp í Skaftárhreppi valin fyrir greininguna. Hún var byggð árið 2013 og tók við af rúmlega fjörutíu ára gamalli einbreiðri brú. Fyrir liggja útboðsgögn framkvæmdarinnar og upplýsingar úr skráningarkerfi Vegagerðarinnar. Einnig nýttist reynsla og mat starfsmanna Vegagerðarinnar og EFLU verkfræðistofu á ýmsum þáttum tengdum viðhaldi, rekstri og förgun brúarinnar. Kerfismörk greiningarinnar ná yfir allan vistferil brúarinnar, það er öflun hráefna og orkugjafa, flutningur, bygging, viðhald og rekstur í 100 ár sem og förgun brúarinnar.

2 Aðferðafræði vistferilsgreiningar

Vistferilsgreining er aðferðafræði sem notuð er til að meta umhverfisáhrif vöru (hér er einnig átt við þjónustu) yfir allan vistferil hennar (frá vöggju til grafar). Umhverfisáhrif vörunnar eru því metin allt frá vinnslu hráefna úr jörðu til fullunninna hráefna, framleiðslu vörunnar, notkun hennar og að endingu förgun hennar.

Aðferðafræðin er stöðluð og er alþjóðlegu stöðlunum ISO 14040 og ISO 14044 fylgt við gerð vistferilsgreininga. Vistferilsgreining samanstendur af fjórum samhangandi þáttum (mynd 2.1):

1. Skilgreining markmiða og umfangs
2. Söfnun og úrvinnsla upplýsinga
3. Mat á umhverfisáhrifum
4. Túlkun niðurstaðna



Mynd 2.1. Fjórir þættir vistferilsgreiningar samkvæmt ISO stöðlunum ISO 14040 og ISO 14044.

Fyrsti þáttur vistferilsgreiningar, *skilgreining markmiða og umfangs* (e. *goal and scope definition*), felur í sér skilgreiningu á markmiði greiningarinnar og lýsingu á þeim þáttum sem teknir eru með í greininguna og hvað er haft utan kerfismarkanna. Metið er hverjir séu væntanlegir notendur niðurstaðna greiningarinnar. Einnig er skilgreint hvaða umhverfisáhrif skulu metin og túlkuð, sem og svokölluð aðgerðareining (e. *functional unit*). Aðgerðareiningin er sú eining sem umhverfisáhrifin eru metin fyrir og allt ílag og frágangur er reiknað fyrir, aðgerðareiningin er einnig skilgreind til að auðvelda samanburð við niðurstöður vistferilsgreininga sem gerðar eru fyrir sambærilega vöru, það er vöru sem hefur sama eða svipaðan tilgang. Dæmi um aðgerðareiningu er t.d. 1 kg af stáli eða 1 km af vegi.

Í öðrum þætti vistferilsgreiningar, *söfnun og úrvinnsla upplýsinga* (e. *Life Cycle Inventory Analysis*) er safnað upplýsingum um notkun hráefna, orku, hjálparefni og aðrar auðlindir sem notuð eru við framleiðslu, notkun og förgun vörunnar sem og magn úrgangs og losun efna í jarðveg, andrúmsloft og vatnsviðtaka. Upplýsingarnar eru settar í samhengi við aðgerðareiningu vistferilsgreiningarinnar.

Útkoma þessa hluta greiningarinnar er heildarsamantekt á notkun auðlinda og losun mengandi efna yfir vistferil vörunnar.

Upplýsingarnar úr öðrum þætti (Söfnun og úrvinnsla upplýsinga) er síðan grunnur fyrir þriðja þátt greiningarinnar, *mat á umhverfisáhrifum* (e. *Life Cycle Impact Assessment*). Þar er notkun auðlinda og losun mengandi efna safnað saman í umhverfisáhrifaflokka (e. *Classification*) og umreiknað í eina einingu fyrir hvern flokk (e. *Characterization*), til dæmis er gróðurhúsaáhrifum metans lýst sem kg af CO₂-ígildum. Síðan er valfrjálst hvort haldið er áfram og staðlað (e. *Normalization*) og vigtað (e. *Weighing*) niðurstöðurnar. Stöðlun fer þannig fram að niðurstöðurnar í hverjum flokki eru deildar með viðmiðunargildi, til dæmis með árlegum meðalumhverfisáhrifum sem Evrópubúi veldur. Vigtnun er framkvæmd svo hægt sé að bera mismunandi flokka saman og er þá hverjum flokki gefið vægi.

Niðurstöður úr þáttum 2 og 3 eru teknar saman, greindar og túlkaðar á síðasta stigi vistferilsgreiningar í samræmi við það markmið og umfang sem skilgreint hefur verið fyrir greininguna í fyrsta þætti.

2.1 Umhverfisáhrif

Við mat á umhverfisáhrifum er notast við viðurkenndar aðferðir til að meta áhrif í hverjum umhverfisáhrifaflokki. Valið er að notast við þær aðferðir sem sameiginleg rannsóknarmiðstöð Evrópu um vistferilsgreiningar mælir með að notaðar séu við mat fyrir hverja tegund umhverfisáhrifa (JRC-IES, 2011). Þar er mælt með að umhverfisáhrif séu metin fyrir eftirfarandi flokka:

- Gróðurhúsaáhrif
- Eyðing ósonlagsins
- Svifryk
- Myndunar ósons við yfirborð jarðar
- Súrt regn
- Næringarefnaauðgun
- Visteiturhrif (eituráhrif á vistkerfi)
- Eituráhrif á fólk
- Auðlindanotkun
- Geislun

Hér að neðan er farið yfir þá flokka umhverfisáhrifa sem vistferilgreiningin nær yfir og hver flokkur útskýrður í stuttu máli.

Gróðurhúsaáhrif; Gróðurhúsaáhrif valda breytingu á meðalhita jarðarinnar sem rekja má til losunar gróðurhúsalofttegunda af manna völdum, t.d. koltvísýrings (CO₂), metans (CH₄), og brennisteinshexaflúoríðs (SF₆). Það er nú samhljóða álit alþjóðasamfélagsins að aukin losun þessara lofttegunda hafi merkjanleg áhrif á loftslag jarðarinnar. Búist er við að hækkun meðalhita jarðar muni m.a. hafa í för með sér miklar breytingar á loftslagi, valda eyðimerkurmyndun (e. *desertification*), hækkun á yfirborði sjávar og aukningu í útbreiðslu sjúkdóma (IPCC, 2007).

Eyðing ósonlagsins; Eyðing ósons í heiðhvolfinu eða eyðing „ósonlagsins“ stafar af völdum klór- og brómsambanda sem berast upp í heiðhvolfið. Þau efnasambönd sem helst valda eyðingunni eru klórflúorkolefni (CFCs), halónar og vetnisklórflúorkolefni (HCFCs). Eyðing ósonlagsins dregur úr getu þess til að draga úr útfjólubláum (UV) geislum í gufuhvolfi jarðar sem veldur aukinni geislun krabbameinsvaldandi UVB geisla á yfirborði jarðar (PRé, 2008).

Svifryk; Svifryk í andrúmslofti má rekja til náttúrulegra uppspretta sem og frá athöfnum mannsins. Svifryk af manna völdum má helst rekja til eldsneytisbruna, umferðar og iðnaðar. Aukinn styrkur ryks í andrúmslofti getur leitt til kólnandi veðurfars, en gróft ryk veldur einnig sjónmengun og óþægindum en fínasta rykið dregur úr skyggni. Áhrif svifryks á heilsu fólks er háð stærð agnanna, en fínar agnir eru mun hættulegri en þær grófu þar sem agnir minni en 10µm eiga greiða leið niður í lungu og geta safnast þar fyrir. Áhrifin fara þó eftir því hversu lengi og hve oft einstaklingur andar að sér menguðu lofti (Umhverfisstofnun, 2013)

Myndun ósons við yfirborð jarðar; Í andrúmslofti sem inniheldur köfnunarefnisoxíð og rokgjörn, lífræn efnasambönd (VOCs) getur óson myndast með aðstoð sólarljóss. Þrátt fyrir að óson sé mjög mikilvægt í efri lofthjúpum er aukinn styrkur ósons í andrúmsloftinu óæskilegur og getur m.a. valdið uppskerubresti sem og aukið tíðni asma og annarra lungnasjúkdóma (JRC-IES, 2011).

Súrt regn; Súrt regn myndast þegar regn hvarfast við mengandi lofttegundir í andrúmsloftinu. Þær lofttegundir sem helst valda myndun súrs regns eru ammoníak (NH_3), köfnunarefnisoxíð (NO_x) og brennisteinstvíoxíð (SO_2). Þar sem súrt regn fellur til jarðar, oft talsverða vegalengd frá uppsprettu mengunarinnar, veldur það oft og tíðum verulegum skemmdum á vistkerfum. Skaðinn er mismunandi eftir gerð vistkerfa, en súrt regn getur valdið miklum skaða í skóglendi, á dýralífi, vötnum og mannvirkjum (JRC-IES, 2011).

Næringarefnaauðgun; Nítröt og fosföt eru nauðsynleg öllu lífi, hins vegar getur of hár styrkur næringarefna, t.d. í vatni valdið óhóflegum þörungavexti sem leiðir af sér lækkaðan styrk súrefnis í vatninu. Næringarefnaauðgun getur valdið miklum skaða í vatnavistkerfum með aukinni dánartíðni vatnalífvera og lífverur sem þarfnast lágs styrks næringarefna geta eyðst. Losun ammoníaks, nítrata, nitroxíða og fosfórs í andrúmsloft og vötn geta valdið næringarefnaauðgun (JRC-IES, 2011).

Visteiturhrif; Losun ýmissa efna, þar á meðal þungmálma, geta haft neikvæð áhrif á vistkerfi. Álag á vistkerfi geta átt sér stað þegar styrkur mengandi efna verður hærri en náttúrlegur styrkur efnanna og hefur þannig áhrif á lífverur.

Eituráhrif á fólk; Losun ýmissa efna, t.d. PAH efna, geta haft áhrif á heilsu manna. Eituráhrif á fólk geta annars vegar verið krabbameinsvaldandi eða valdið öðrum eituráhrifum. Gerður er greinarmunur á þessu tvennu í vistferilsgreiningunni.

Auðlindanotkun; Hér er átt við notkun auðlinda, t.d. vatns, íblöndunar- og fylliefna, málmgrýtis og steinefna, og jarðefnaeldsneytis. Hér er um notkun á óendurnýjanlegum auðlindum að ræða sem því verða ekki til taks fyrir komandi kynslóðir. Eingöngu er hér átt við eyðingu auðlindanna, en ekki þau umhverfisáhrif sem tengja má við vinnslu og notkun þeirra (PRé, 2008).

Geilsun; Losun geislavirkra efna sem hafa áhrif á heilsu manna. Þar sem engin kjarnorka er notuð á Íslandi verða áhrif í þessum flokki alfarið erlendis.

3 Vistferilsgreining fyrir íslenska brú

3.1 Markmið og umfang

3.1.1 Markmið

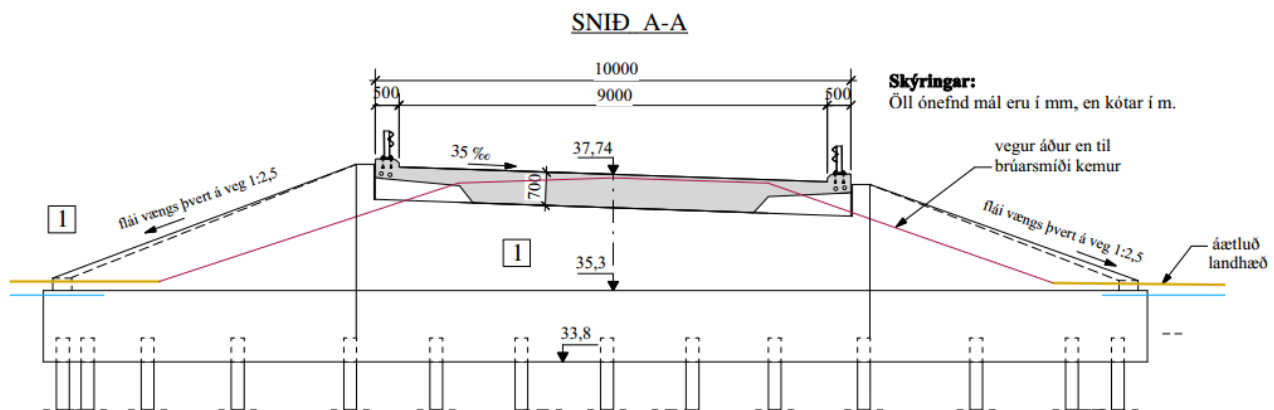
Markmið verkefnisins er að meta umhverfisáhrif yfir allt vistferli brúar í íslenska þjóðvegakerfinu utan við höfuðborgarsvæðið frá byggingu til niðurrifs með aðferðafræði vistferilsgreiningar. Það er gert svo hægt sé að birta upplýsingar um umhverfisáhrif brúargerðar sem tekur mið af íslenskum aðstæðum og svo það sé hægt að draga úr neikvæðum umhverfisáhrifum brúa á Íslandi. Vistferilsgreiningin er unnin í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga. Greiningin er gerð fyrir dæmigerða steypa plötubrú í íslenska þjóðvegakerfinu.

Fyrirhuguð notkun greiningarinnar er að gera Vegagerðinni kleift að geta lagt fram upplýsingar um umhverfisáhrif brúa á Íslandi og svarað spurningum eins og hvaða þáttur veldur mestum umhverfisáhrifum; bygging brúarinnar, viðhald hennar eða niðurrif.

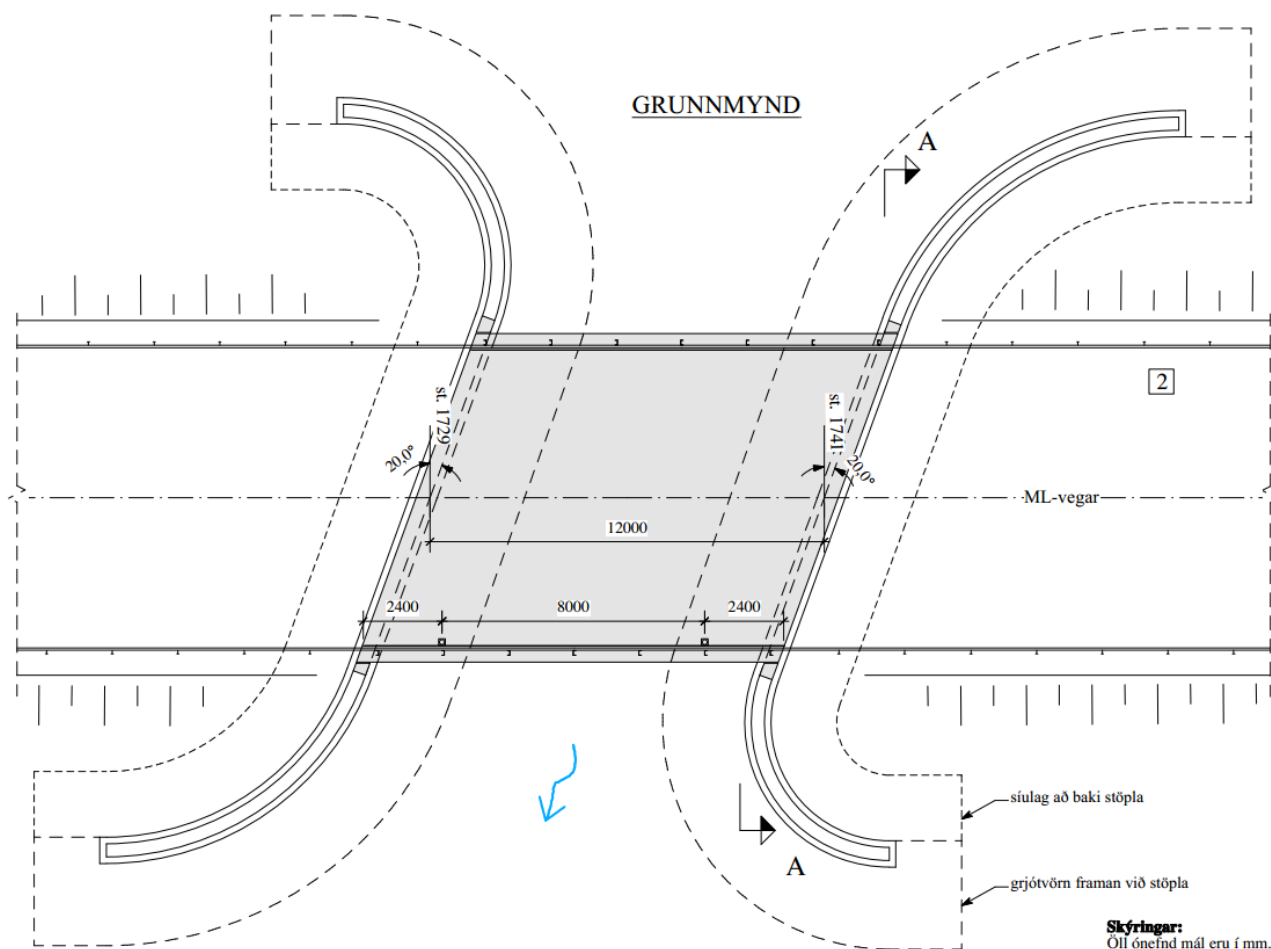
3.1.2 Aðgerðareining

Aðgerðareining (*e. functional unit*) vistferilsgreiningarinnar er 1 m² af nýtanlegu brúargólfi (brúargólfi milli bríka) sem endist í 100 ár. Sú aðgerðareining leyfir samanburð milli brúa af mismunandi stærð og hentar betur en til dæmis lengd brúar sem leyfir ekki samanburð brúa með mismunandi margar akbrautir. Aðgerðareiningin hefur þó þá takmörkun að hún lýsir ekki nákvæmlega umfangi undirbyggingarinnar (staurar, sökklar og stöplar). Aðgerðareiningin gerir ráð fyrir 100 ára líftíma sem er algengur líftími í vistferilsgreiningum fyrir brýr (Dequidt, 2012; Hammervold o.fl., 2013).

Kennisnið brúarinnar má sjá á mynd 3.1 og grunnmynd hennar á mynd 3.2. Um er að ræða brú með tveimur akbrautum. Brúin er 12 m löng steyptr plötubrú í einu 12 m löngu hafi með tveimur 4,5 m breiðum akbrautum og 0,5 m breiðum bríkum sitt hvoru megin. Heildarbreidd brúarinnar er 10 metrar. Nýtanlegur flötur til aksturs yfir ána er brúargólfið milli bríka sem samsvarar 108 m². Brúin er í beinni línu í planlegu og hefur 3,5% þverhalla. Brúin er grunduð í lausu efni á steypum 7-8 m löngum staurum. Rofvörn er við stöpla úr 40-700 kg grjóti (grjótflokkur G3a) og síulag aftan við þá. Slegin voru upp mót fyrir steypu sökkla, stöpla og yfirbyggingu brúarinnar. Fyrir yfirbyggingu voru notaðir verkpallar og undir þá voru steyptr 12 renningar. Á báðum endum brúarinnar var siglplata steyptr á staðnum. Á bríkum brúarinnar eru stoðir festar við innsteyptr festingar og halda þær uppi samtals 24 m löngu W-bitu vegriði. Á hverjum enda er vegriðið framlengt um 4 m út á veginn, samtals 16 m. Hámarksúmfærðarhraði er 90 km/klst og SDU (sumardagsúmfærð) 744, ÁDU (ársdagsúmfærð) 371 og VDU (vetrardagsúmfærð) 121 bílar á sólarhring.



Mynd 3.1. Kennisnið brúar yfir Aurá.



Mynd 3.2: Grunnmynd brúar yfir Aurá.

3.1.3 Kerfismörk

Kerfismörk greiningarinnar ná yfir allan líftíma brúarinnar, sem er skilgreindur sem 100 ár. Vistferilsgreiningin felur því í sér öflun hráefna og orkugjafa, flutninga, byggingu brúarinnar, viðhald hennar og rekstur í 100 ár sem og förgun hennar að líftíma liðnum. Notkun orku og efna á líftímanum fellur innan vistferilsgreiningarinnar og einnig uppsetning aðstöðu og vinnubúða, framleiðsla vinnuvéla, smurólía á vinnuvélar og flutningur byggingarefnis, tækja og starfsfólks á vinnutíma. Þau timburmót sem tengja má við brúargerðina eru tekin með í greininguna. Utan kerfismarka falla þættir sem staðsettir eru á aðkomuveginum utan brúarinnar eins og til dæmis vegstikur og skilti. Þó er tekið með vegriðið sem nær aðeins út á veginn því það tilheyrir brúnni. Stærstur hluti af öflun efna og orkugjafa fer fram á heimsvísu. En öflun jarðefna, bygging, notkun, viðhald og förgun fer fram á Íslandi. Á byggingartíma var ekki notað rafmagn úr raforkukerfinu, heldur var díselrafstöð notuð. Á mynd 3.3 má sjá helstu þætti í vistferli brúarinnar.



Mynd 3.3: Helstu þættir í vistferli brúar.

Tafla 3.1 sýnir helstu þætti sem tekið er tillit til í vistferilsgreiningunni fyrir byggingu, viðhald, rekstur og förgun brúarinnar.

Tafla 3.1: Helstu skrefin í vistferli brúarinnar, frá „vöggum til grafar“.

Skref í vistferlinum	Lýsing
Vinnsla og framleiðsla hráefna	Vinnsla og framleiðsla hráefna, svo sem eldsneytis, stáls, steypu, plasts, jarðefna o.s.frv. Hér er um að ræða hráefni fyrir bæði byggingu sem og rekstur og viðhald brúarinnar.
Flutningar	Flutningar hráefna frá framleiðanda til framkvæmdastaðar.
Bygging brúar	Vinna við brúargerð.
Viðhald og rekstur brúar	Viðhald (kápusteypa, endurnýjun vegriðs, slitlags og vegmerkinga) og rekstur (snjómokstur, söltun) á 100 ára líftíma brúarinnar
Förgun brúar	Vinna við niðurbrot brúar, förgun plasts og endurvinnsla stáls og steypu.

3.1.4 Mat á umhverfisáhrifum

Við mat á umhverfisáhrifum verður lögð til grundvallar aðferðin sem sameiginleg rannsóknarmiðstöð Evrópu um vistferilsgreiningar setur fram í ILCD (e. *International Reference Life Cycle Data System*). Stöðlun umhverfisáhrifa (e. *Normalization*) og vigtun umhverfisáhrifaflokka (e. *Weighing*) eru ekki hluti af aðferðinni í ILCD en í þessari greiningu verður þetta gert til að meta hvaða umhverfisáhrifaflokkar skipta máli og eiga við brýr. Til þess verður notuð ReCiPe 1.08 aðferðin. Niðurstöður verða birtar fyrir þá flokka sem innihalda meira en 1% af heildarumhverfisáhrifunum út frá ReCiPe aðferðinni.

3.1.5 Uppruni upplýsinga

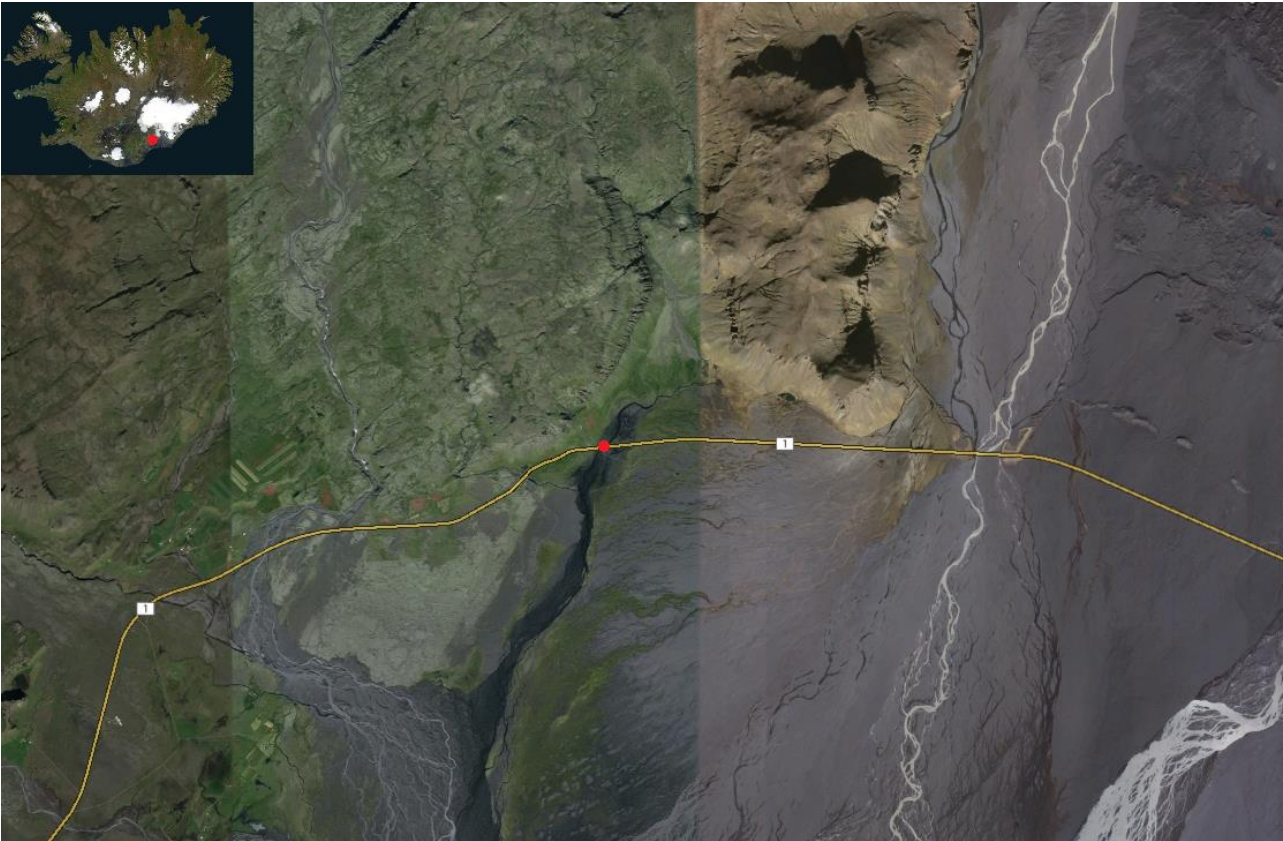
Til að nálgast upplýsingar um byggingu hefðbundinnar brúar í íslenska þjóðvegakerfinu var ákveðið að fá raungögn frá nýlegri framkvæmd og valin var steipt, tvíbreið plötubrú yfir Aurá við Lómagnúp í Skaftárhreppi. Brúin er á þjóðvegi 1 og má sjá staðsetningu hennar á mynd 3.4. Brúin var byggð árið 2013.

Upplýsingar um framkvæmdina voru ýmist fengnar úr útboðsgögnum verksins eða úr skráningarkerfi Vegagerðarinnar. Í útboðsgögnum eru útboðslýsing (Vegagerðin, 2013a) og uppdættir (Vegagerðin, 2013b) með efnisskrá. Upplýsingar um framleiðslu hráefna koma úr sérhæfðum gagnagrunni fyrir vistferilsgreiningar, Ecoinvent 2.2. Gögn fyrir nokkur ferli (e. *Processes*) koma úr Professional Database frá PE International. Hugbúnaðurinn GaBi 6 var notaður við gerð vistferilsgreiningarinnar.

Þörf á viðhaldi brúarinnar var áætluð í samvinnu við starfsfólk Vegagerðarinnar og sérfræðinga EFLU verkfræðistofu. Gert er ráð fyrir að slitlag brúarinnar þurfi að brjóta upp á 25-30 ára fresti og steypa aftur ásamt steypustyrktarjárn. Endurnýja þarf því sem samsvarar öllum vegriðunum að meðaltali á 30 ára fresti. Steypa þarf kápu utan á sökkla, stöpla og yfirbyggingu einu sinni á líftíma brúarinnar, þegar brúin er orðin 50 ára gömul. Vegmerkingu þarf að endurnýja árlega. Því er áætlað að á 100 ára líftíma sé viðhald eftirfarandi:

- Slitlag endurnýjað þrisvar sinnum. Þá eru efstu 8 cm brotnir af og steiptir aftur með 12 kg/m² af steypustyrktarjárn.
- Að meðaltali sé allt vegrið brúarinnar endurnýjað þrisvar.
- Að það sé steipt kápa utan á sökkla, stöpla, bríkur og yfirbyggingu fyrir utan neðri flöt yfirbyggingarinnar. Þá eru 8 cm brotnir af og steiptir aftur.
- Vegmerking sé endurnýjuð árlega, það er lögð 99 sinnum á 100 ára líftíma.

Nánari upplýsingar um uppruna gagna má sjá í töflum í kafla 3.2.



Mynd 3.4: Staðsetning brúarinnar yfir Aurá (Google, 2014).

3.1.6 Höfundar og rýni

Sigurður Thorlacius (EFLA) er aðalhöfundur skýrslunnar og sá um upplýsingaöflun, uppsetningu líkans, framsetningu niðurstaðna og skýrslugerð. Baldvin Einarsson (EFLA), Friðrik Klingbeil Gunnarsson (EFLA) og Helga Jóhanna Bjarnadóttir (EFLA) áttu ríkan þátt í að móta líkanið. Baldvin E. lagði til þekkingu í öllu því sem viðkemur brúm, hjálpaði til við að fylla í eyður þar sem gögn vantaði og sá um rýni á líkaninu. Friðrik rýndi skýrsluna en sá einnig um að hefja upplýsingaöflunina og gerð skýrslunnar. Helga lagði til þekkingu á því sem viðkemur vistferilsgreiningu og sá um að leysa þau álitamál sem komu upp í þeim efnum. Hún og Friðrik rýndu GaBi líkanið og skýrsluna. Ingunn Loftsdóttir (Vegagerðin) lagði til megnið af þeim upplýsingum sem greiningin er byggð á. Baldvin E., Ingunn og Magnús Arason (EFLA) hjálpuðu til við að meta viðhaldspörf brúarinnar. Baldvin Jónbjarnarson (EFLA) tók þátt í að meta olíunotkun tækja.

3.2 Úrvinnsla gagna

3.2.1 Bygging brúar

Upplýsingar um byggingu brúarinnar voru fengnar úr útboðsgögnum og skráningarkerfi Vegagerðarinnar. Upplýsingar um innflutning voru yfirleitt fengnar frá því fyrirtæki sem varan var keypt af. Þar sem ekki voru gögn til staðar var fengið álit og mat hjá starfsfólki Vegagerðarinnar og hjá sérfræðingum EFLU verkfræðistofu. Hér að neðan er að finna upplýsingar um magn efna sem þarf til að byggja brúna, sýnd á hvern m² af nýtanlegu brúargólfi (brúargólfi milli bríka).

Aðstaða fyrir brúargerð

Tafla 3.2 sýnir olíunotkun við uppsetningu aðstöðunnar fyrir brúargerð. Hún er reiknuð út frá keyrslutímum véla sem skráðar eru á þann verkþátt í skráningarkerfi Vegagerðarinnar og metinni eldsneytisnotkun þeirra.

Tafla 3.2. Notkun díselolíu við uppsetningu aðstöðu fyrir brúargerð á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Uppsetning aðstöðu (dísel)	19,5 L	Reiknað út frá keyrslutímum krana (9 klst.), beltagröfu (3 klst.), hjólaskóflu (5 klst.), vörubíls (1.038 km) og skotbómulyftara (165 klst.) í verkinu.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar

Flutningur tækja og starfsfólks

Tafla 3.3 sýnir flutninga á starfsfólki og tækjum. Við flutning tækja var gert ráð fyrir stærstu gerð af vörubíll (hámarksþyngd varnings 32 t) og að hann væri hlaðinn upp að 80% hámarksþyngdar. Aðeins eru teknir þeir flutningar tækja sem skráðir voru í skráningarkerfi Vegagerðarinnar.

Tafla 3.3. Flutningar á starfsfólki og tækjum á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Flutningur starfsfólks	117,3 km	Akstur Mitsubishi pallbíls (5.823 km), Ford Transit bíls (5.057 km) og starfsmannabíls (1.788 km).	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Flutningur tækja	16,6 km	Út frá flutningi Fundex F14 niðurrekstrarkrana (700 km) og annarra tækja (398 km).	

Jarðvinna, framhjálaup og vatnaveitingar

Tafla 3.4 sýnir efni í framhjálaup og olíunotkun við jarðvinnu og vatnaveitingar. Gert er ráð fyrir að efni í burðarlag framhjálaups hafi verið sprengt og mulið. Magn í efra burðarlag var metið út frá hámarksþyngd vörubíls af stærstu gerð og var það flutt úr námu í 26 km fjarlægð. Efni í neðra burðarlag var aflað á verkstað. Magn sprengiefnis er áætlað 500 g á hvern rúmmeter af sprengdu efni (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2010). Gert er ráð fyrir innflutningi sprengiefnis frá Noregi (2.110 km), að því skipað upp í Reykjavík og flutt þaðan á verkstað (290 km). Olíunotkunin er metin út frá keyrslutímum og eldsneytisnotkun véla. Gert er ráð fyrir að vél sem sér um mulning jarðefna noti rafmagn úr rafstöð.

Tafla 3.4. Efnis- og notkun díselolíu við jarðvinnu, gerð framhjállaups og vatnaveitingar á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Páttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Framhjállaup og vatnaveitingar (dísel)	7,6 L	Reiknað út frá keyrslutímum jarðýtu (10 klst.), beltagröfu (11 klst.) og traktorsgröfu (4,5 klst.).	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Sprengiefni	4,6 kg	Sprengiefni fyrir öflun efnis í burðarlög framhjállaups. Gert er ráð fyrir innflutningi frá Noregi, uppskipun í Reykjavík og að það þurfi 500 g fyrir hvern m ³ af efni.	Ásbjörn Jóhannesson o.fl. (2010)
Möl í neðra burðarlag framhjállaups	7,07 m ³	Efni aflað á verkstað og malað.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar, Vegagerðin
Möl í efra burðarlag framhjállaups	2,07 m ³	14 hlöss af efni malað og sótt í námu í 26 km fjarlægð. Magn metið út frá fullum vörubíll sem tekur 32 t.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar, Vegagerðin
Gröftur gryfju fyrir sökkla (dísel)	12 L	Reiknað út frá keyrslutímum jarðýtu (6,5 klst.) og beltagröfu (50 klst.).	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar

Staurar

Niðurrekstrarstaurarnir voru steypdir í Vík í Mýrdal með steypu frá steypustöðinni þar og fluttir þaðan á verkstað (100 km). Tafla 3.5 sýnir steypustyrktarjárn og annað stál sem þurfti í staurana og notkun díselolíu við niðurrekstur þeirra. Notuð var C50/C60 steypa í staurana en ekki voru til gögn um þann styrkleikaflokk steypu og var því miðað við C40 steypu en það er sá styrkleikaflokkur sem Alverk '95 kveður á um fyrir niðurrekstrarstaura brúa. Gert er ráð fyrir að það þurfi að brjóta að meðaltali 1 m af hverjum staur og að steypubrotin sem gangi af séu mulin og þau nýtt sem fylling í nálægri framkvæmd. Steypustyrktarjárnið var keypt af Húsasmiðjunni sem flutti það inn frá Póllandi (2.820 km) og af Bindir & Stál sem flutti það inn frá Hollandi (2.190 km). Því er skipað upp í Reykjavík og flutt þaðan á verkstað (290 km). Gert er ráð fyrir að stálið í toppgjarðirnar sé líka flutt inn frá Póllandi. Vegagerðin kaupir bergskó frá Leimet, framleiðanda í Finnlandi (3.340 km). Gert er ráð fyrir uppskipun í Reykjavík og flutningi þaðan á verkstað (290 km).

Tafla 3.5. Efnis- og notkun díselolíu við gerð staura á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Páttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Steypustyrktarjárn	45,0 kg	Kambstál flutt inn frá Póllandi og Hollandi, skipað upp í Reykjavík.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar, Húsasmiðjan, Bindir & Stál
Bergskór (stál)	5,8 kg	Keyptir af Leimet í Finnlandi, fluttir þaðan inn og skipaðir upp í Reykjavík.	Uppdrættir, Leimet
Toppgjarðir (stál)	0,7 kg	Gert ráð fyrir að þær séu fluttar inn frá Póllandi og skipað upp í Reykjavík	Uppdrættir
Steypa	0,16 m ³	C50/C60 steypa blönduð í Vík í Mýrdal, miðað var við eiginleika C40 steypu.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Niðurrekstur staura	5,4 L	Staurar eru gerðir í Vík og fluttir þaðan á verkstað. Reknir niður með Fundex F14 niðurrekstrarkrana (19,3 klst.).	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Mulningur steypuúrgangs	0,02 m ³	Gert er ráð fyrir að 1 m sé brotinn að meðaltali af hverjum staur. Gert er ráð fyrir að úrgangurinn sé mulinn og nýttur sem fylling í nálægri framkvæmd.	EFLA

Sökkla

Tafla 3.6 sýnir það efni sem þurfti í sökkla brúarinnar. Magn mótatimburs var metið og gert ráð fyrir að afföllin séu 1/3. Þar sem að mótatimbur nýtist í fleiri en eina framkvæmd er hér miðað við að aðeins afföllin tilheyri þessari tilteknu framkvæmd og er því aðeins reiknað með umhverfisáhrifum þeirra en ekki allra mótanna sem voru notuð. Timbrið var keypt af Húsasmiðjunni sem flutti það inn frá Austurríki. Gert er ráð fyrir að það sé flutt til Hollands (1.120 km), lestað í skip og flutt til Reykjavíkur (2.190 km) og þaðan á verkstað (290 km). Gert er ráð fyrir að afföllin séu urðuð á næsta urðunarstað vestan við brúna en hann er á Stjórnarsandi, austan við Kirkjubæjarklaustur (Umhverfisstofnun, 2013). Steypan er blönduð á Selfossi og flutt þaðan á verkstað (230 km). Steypustyrktarjárn er keypt af Byko sem flutti það inn frá Hvíta-Rússlandi. Það er flutt til Litháen (490 km), lestað í skip og flutt til Reykjavíkur (2.360 km) og þaðan á verkstað (290 km). Notuð var KWB steypuþekja með vaxi frá Kemis ehf. til að koma í veg fyrir að steypan þorni upp fyrsta mánuðinn. Þar sem að þyngd steypuþekjunnar er lítil var gert ráð fyrir að áhrif flutninga hennar væru hverfandi.

Tafla 3.6. Efni í sökkla á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Mótaflötur sökkla	1,8 m ²	Keypt af Húsasmiðjunni og flutt inn frá Austurríki, lestað í Hollandi og skipað upp í Reykjavík. Gert er ráð fyrir 1/3 afföllum sem tilheyra framkvæmdinni og að það timbur sé urðuð nálægt Kirkjubæjarklaustri.	Efnisskrá
Afföll mótatimburs	0,03 m ³	Kambstál keypt af Byko, framleitt í Hvíta Rússlandi, lestað í Litháen og skipað upp í Reykjavík.	EFLA
Steypustyrktarjárn	34,3 kg	C35/45 steypa blönduð í Steypustöðinni á Selfossi og flutt þaðan á verkstað.	Efnisskrá, Byko
Steypa	0,72 m ³	KWB steypuþekja með vaxi keypt frá Kemis ehf.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Steypuþekja	0,129 kg	50-100% steypuþekju	Vegagerðin
<i>Solid saturated hydrocarbons</i>	0,085 kg	< 1.25% steypuþekju	Kemis
<i>N-C166-22-alkyltrimethylenediamine</i>	0,001 kg		

Stöplar

Tafla 3.7 sýnir það efni sem þurfti í stöpla brúarinnar. Gögn um mótatimbur, steypustyrktarjárn, steypu og steypuþekju voru með sama hætti og fyrir sökklá.

Tafla 3.7. Efni í stöpla á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Mótaflötur sökklá	1,5 m ²	Keypt af Húsasmiðjunni og flutt inn frá Austurríki, lestað í Hollandi og skipað upp í Reykjavík. Gert er ráð fyrir 1/3 afföllum sem tilheyra framkvæmdinni og að það timbur sé urðað nálægt Kirkjubæjarklaustri.	Efnisskrá
Afföll mótatimburs	0,02 m ³		EFLA
Steypustyrktarjárn	22,3 kg	Kambstál keypt af Byko, framleitt í Hvíta Rússlandi, lestað í Litháen og skipað upp í Reykjavík.	Efnisskrá, Byko
Steypa	0,38 m ³	C35/45 steypa blönduð í Steypustöðinni á Selfossi og flutt þaðan á verkstað.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Steypuþekja	0,112 kg	KWB steypuþekja með vaxi keypt frá Kemis ehf.	Vegagerðin
<i>Solid saturated hydrocarbons</i>	0,074 kg	50-100% steypuþekju.	Kemis
<i>N-C166-22-alkyltrimethylenediamine</i>	0,001 kg	< 1.25% steypuþekju.	

Grjótvörn og síulag

Tafla 3.8 sýnir efni í grjótvörn og síulag og olíunotkun við öflun og útlögn þess. Það er flutt 3 km úr námu við Krossá. Gert er ráð fyrir að við öflun efnisins þyrfti að sprengja en ekki að mylja efnið. Magn sprengiefnis er áætlað 500 g á hvern rúmmetra af sprengdu efni (Ásbjörn Jóhannesson o.fl., 2010). Olíunotkunin er metin út frá keyrslu beltagrafu og eyðslu hennar.

Tafla 3.8. Efni og notkun díselolíu fyrir grjótvörn og síulag á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Sprengiefni	0,9 kg	Sprengiefni fyrir öflun efnis í grjótvörn og síulag. Gert er ráð fyrir innflutningi frá Noregi, uppskipun í Reykjavík og að það þurfi 500 g fyrir hvern m ³ af efni.	Ásbjörn Jóhannesson o.fl. (2010)
Öflun og útlögn (dísel)	1,5 L	Beltagrafa (7 klst.).	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Grjótvörn	1,20 m ³	Flutt 3 km frá námu við Krossá.	Útboðslýsing, Vegagerðin
Síulag	0,65 m ³	Flutt 3 km frá námu við Krossá.	

Fyllingarefni

Tafla 3.9 sýnir fyllingarefni og olíunotkun við öflun og útlögn þess. Það er flutt 3 km úr námu við Krossá. Gert er ráð fyrir að ekki þyrfti að sprengja né mylja við öflun efnisins. Olíunotkunin er metin út frá keyrslutímum tækja og eyðslu þeirra.

Tafla 3.9. Efni og notkun díselolíu fyrir fyllingarefni á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Páttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Öflun og útlögn (dísel)	1,0 L	Jarðýta (2,5 klst.) og valtari (2 klst.).	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar
Fyllingarefni	4,63 m ³	Flutt 3 km úr námu við Krossá.	Útboðslýsing, Vegagerðin

Yfirbygging

Tafla 3.10 sýnir það efni sem þurfti í yfirbyggingu brúarinnar. Steypan var að mestu blönduð á Selfossi (230 km) en einnig á verkstað. Steypa þurfti renninga undir verkpalla sem héldu uppi mótunum og er gert ráð þeir séu muldir niður eftir notkun og notaðir sem fylling í nálægri framkvæmd. Gögn um mótatímur, steypustyrktarjárn og steypuþekju voru með sama hætti og fyrir sökkla og stöpla.

Tafla 3.10. Efni í yfirbyggingu á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Páttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Mótaflötur sökkla	1,6 m ²	Keypt af Húsasmiðjunni og flutt inn frá Austurríki, lestað í Hollandi og skipað upp í Reykjavík. Gert er ráð fyrir 1/3 afföllum sem tilheyra framkvæmdinni og að það timbur sé urðað nálægt Kirkjubæjarklaustri.	Efnisskrá
Afföll mótatímurs	0,02 m ³		EFLA
Steypustyrktarjárn	86,8 kg	Kambstál keypt af Byko, framleitt í Hvíta Rússlandi, lestað í Litháen og skipað upp í Reykjavík.	Efnisskrá, Byko
Steypa	0,82 m ³	C35/45 steypa blönduð bæði í Steypustöðinni á Selfossi og á verkstað fyrir yfirbyggingu og undirstöður verkpalla.	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar, Uppdrættir
Mulningur steypuúrgangs	0,07 m ³	Gert er ráð fyrir að steypar undirstöður verkpalla séu muldar og nýttar sem fylling í nálægri framkvæmd.	EFLA
Steypuþekja	0,118 kg	KWB steypuþekja með vaxi keypt frá Kemis ehf.	Vegagerðin
<i>Solid saturated hydrocarbons</i>	0,078 kg	50-100% steypuþekju.	Kemis
<i>N-C166-22-alkyltrimethylenediamine</i>	0,001 kg	< 1.25% steypuþekju.	

Sigplötur

Tafla 3.11 sýnir það efni sem þurfti í sigplötur sem voru steypar á staðnum. Gögn um steypustyrktarjárn og steypu voru með sama hætti og fyrir sökkla.

Tafla 3.11. Efni í sigplötur á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Steypustyrktarjárn	5,4 kg	Kambstál keypt af Byko, framleitt í Hvíta Rússlandi, lestað í Litháen og skipað upp í Reykjavík.	Efnisskrá
Steypa	0,06 m ³	C35/45 steypa blönduð í Steypustöðinni á Selfossi og flutt þaðan á verkstað.	

Vegrið

Tafla 3.12 sýnir það efni sem þurfti í vegrið brúarinnar. Vegriðin voru keypt af Ísmar sem flytur þau inn frá Þýskalandi. Gert er ráð fyrir að þau séu flutt til Hollands (710 km), lestuð í skip og flutt til Reykjavíkur (2.190 km) og þaðan á verkstað (290 km). Efnið í vegriðin er sinkhúðað.

Tafla 3.12. Efni í vegrið á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Stoðir (stál)	3,5 kg	Keypt af Ísmar, flutt inn frá Þýskalandi og skipað upp í Reykjavík.	Efnisskrá, EFLA, Vegagerðin
W-vegriðsbítur (stál)	4,7 kg		
Plötur, teinar og boltar (stál)	1,3 kg	Magn metið út frá uppdráttum. Flutt inn frá Þýskalandi og skipað upp í Reykjavík.	Uppdrættir
Sinkhúðun	0,5 m ²	Sinkhúðun stoða, vegriðsbíta, platna, teina og bolta	

Þéttlistar, niðurföll og lagnir

Tafla 3.13 sýnir efni í þéttlista, niðurföll og lagnir brúar. Þéttlistar eru keyptir af Kvörnum ehf. sem flytur þau inn frá Danmörku (2.320 km), gert er ráð fyrir uppskipun í Reykjavík. Stútar og ristar niðurfalla eru keypt af Málmsteypu Þorgríms Jónssonar, sem býr þau til úr endurunnu stáli. Gert er ráð fyrir að plaströr fyrir niðurföll og lagnir séu flutt inn frá Þýskalandi (2.290 km) og skipað sé upp í Reykjavík. Allt efnið er síðan flutt frá Reykjavík á verkstað (290 km). Miðað er við að plaströr séu úr polyvinylchloride (PVC) plasti.

Tafla 3.13. Þéttlistar, niðurföll og lagnir á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Þéttlistar (gúmmí)	0,07 kg	Keyptir af Kvörnum ehf., fluttir inn frá Danmörku og skipaðir upp í Reykjavík.	Efnisskrá, Vegagerðin
Stútar og ristar fyrir niðurföll (stál)	0,19 kg	Keypt af Málmsteypu Þorgríms Jónssonar.	
Rör fyrir niðurföll (plast)	0,02 kg	Gert ráð fyrir að sé flutt inn frá Þýskalandi og skipað upp í Reykjavík.	Efnisskrá, EFLA
Lagnir (plast)	0,28 kg		

Vegmerking

Í töflu 3.14 má sjá þau efni sem þarf í vegmerkingu brúarinnar en upplýsingum fyrir hana var safnað í vistferilsgreiningu á veg (Gyða M. Ingólfssdóttir, 2013). Gert er ráð fyrir að til yfirborðsmerkinga sé notast við sprautumassa frá Cleanosol (45S30N). Upplýsingar um notkun sprautumassa komu frá Vegagerðinni og er gert ráð fyrir að þykkt veglínu sé 1,5 mm og heildarnotkun massa 0,33 kg/m. Sprautumassinn er framleiddur í Svíþjóð, fluttur þaðan til Reykjavíkur (2.600 km) og síðan á verkstað (290 km). Í samræmi við upplýsingar frá framleiðendum glerperla sem samþykktir eru í handbók Vegagerðarinnar um yfirborðsmerkingar, er gert ráð fyrir að glerperlur séu framleiddar úr endurunnu gleri (Vegagerðin og Gatnamálastofa, 2006). Glerperlur sem Vegagerðin notar við vegmerkingar eru Potters Europe Drop-on Glass Beads 850-125. Notkun á perlum er fengin frá Vegagerðinni sem 0,035 kg/m. Gert er ráð fyrir að þær séu framleiddar í Þýskalandi, fluttar með skipi frá Rotterdam til Reykjavíkur (2.200 km) og fluttar þaðan á verkstað (290 km).

Tafla 3.14. Efni í vegmerkingu á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Sprautumassi	0,037 kg	0,333 kg/m (m.v. 1,5 mm þykka línu).	Vistferilsgreining fyrir veg
Perlur	0,004 kg	0,035 kg/m.	

Rafstöð

Tafla 3.15 sýnir olíunotkun rafstöðvar á byggingartíma brúarinnar. Hún er af gerð Wilson 110 og er 72 kW. Hún var keyrð að meðaltali á 10-15 kW og er því miðað er því við 17% keyrslu. Gögn um olíunotkun hennar voru fengin úr tækniblaði fyrir 72 kW FG Wilson P110E rafstöð (FG Wilson, á.d.). Hún var notuð til að keyra ljós og annað í vinnubúðunum og til að keyra tæki eins og dælur við vatnaveitingu, bori og loftpressur.

Tafla 3.15. Olíunotkun rafstöðvar á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Rafstöð (dísel)	137,1 L	Reiknað út frá keyrslutíma 72 kW FG Wilson P110E rafstöðvar (1.898 klst.).	Skráningarkerfi Vegagerðarinnar

3.2.2 Viðhald og rekstur brúar

Viðhald slitlags

Gert er ráð fyrir að efstu 8 cm slitlagsins séu brotnir og steypdir aftur með steypustyrktarjárn á 25-30 ára fresti, það er þrisvar sinnum á 100 ára líftíma brúarinnar. Miðað er við að steypan sé flutt frá Vík (100 km) og að steypuúrgangurinn sé mulinn og nýttur sem fylling í nálægri framkvæmd. Gert er ráð fyrir að steypustyrktarjárnið komi frá Hvíta Rússlandi, sé flutt til og lestað í Litháen (490 km), flutt þaðan til Reykjavíkur (2.360 km) og síðan á verkstað (290 km). Tafla 3.16 sýnir efnisþörfina í viðhald slitlagsins og úrgang.

Tafla 3.16. Efnisnotkun og úrgangur viðhalds á slitlagi brúar í 100 ár á hvern m² nýtanlegs brúargólfs. Gert er ráð fyrir að endurnýja þurfi slitlagið þrisvar sinnum á líftíma hennar.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Steypustyrktarjárn	36,0 kg	Gert ráð fyrir 12 kg/m ² .	EFLA
Steypa	0,24 m ³	Gert ráð fyrir að 8 cm séu brotnir af og steypdir aftur með steypustyrktarjárn þrisvar sinnum á 100 ára líftíma.	
Fræsing og mulningur steypuúrgangs	0,24 m ³	Gert er ráð fyrir að steypan sé fræst upp, mulin og nýtt sem fylling í nálægri framkvæmd.	

Viðhald vegriðs

Gert er ráð fyrir að meðaltali sé búið að skipta út öllu vegriðinu á 30 ára fresti, það er þrisvar sinnum á 100 ára líftíma brúarinnar. Gert er ráð fyrir að vegriðin séu flutt inn frá Þýskalandi og séu þá flutt til Hollands (710 km), lestuð í skip og flutt til Reykjavíkur (2.190 km) og þaðan á verkstað (290 km). Efnið í vegriðin er sinkhúðað. Tafla 3.17 sýnir efnisþörfina í viðhaldið vegriðanna.

Tafla 3.17. Efnisnotkun viðhalds á vegriði brúar í 100 ár á hvern m² nýtanlegs brúargólfs. Gert ráð fyrir það sé endurnýjað allt þrisvar sinnum á líftíma hennar.

Páttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Stoðir (stál)	10,5 kg	Keypt af Ísmar, flutt inn frá Þýskalandi og skipað upp í Reykjavík.	EFLA, Vegagerðin
W-vegriðsbítur (stál)	14,2 kg		
Plötur, teinar og boltar (stál)	4,0 kg	Magn metið út frá uppdráttum. Flutt inn frá Þýskalandi og skipað upp í Reykjavík.	
Sinkhúðun	1,4 kg	Sinkhúðun stoða, vegriðsbíta, platna, teina og bolta	

Kápusteypa

Gert er ráð fyrir að það sé steipt kápa utan á sökkla, stöpla, bríkur og yfirbyggingu (fyrir utan neðri flöt yfirbyggingar) þegar brúin er orðin 50 ára gömul, það er einu sinni á líftíma brúarinnar. Þá eru efstu 8 cm brotnir af og steiptir aftur. Gert er ráð fyrir að steypa sé flutt frá Vík (100 km) og að steypuúrgangurinn sé mulinn og nýttur sem fylling í nálægri framkvæmd. Tafla 3.18 sýnir efni og úrgang við kápusteypingu brúarinnar.

Tafla 3.18. Efnisnotkun og úrgangur þegar kápa er steipt utan á sökkla, stöpla, bríkur og yfirbyggingu brúar einu sinni á 100 ára líftíma brúar á hvern m² nýtanlegs brúargólfs.

Páttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Steypa	0,36 m ³	Gert ráð fyrir að 8 cm séu brotnir og steiptir aftur einu sinni á 100 árum. Þá er steipt utan á sökkla, stöpla, bríkur og yfirbyggingu fyrir utan neðri flöt yfirbyggingarinnar.	EFLA, Vegagerðin
Mulningur steypuúrgangs	0,36 m ³	Gert er ráð fyrir að steypa sé mulin og nýtt sem fylling í nálægri framkvæmd.	EFLA

Viðhald vegmerkingar

Gert er ráð fyrir að endurnýja þurfi vegmerkingu á hverju ári, það er 98 sinnum á líftíma brúar. Um er að ræða sömu vegmerkingu og tilgreind er í töflu 3.14 í byggingu brúar. Tafla 3.19 sýnir efnisþörfina í viðhald vegmerkingar í 100 ár.

Tafla 3.19. Efni í viðhald vegmerkingar í 100 ár á hvern m² nýtanlegs brúargólfs. Gert er ráð fyrir að hún sé endurnýjuð 98 sinnum á líftíma brúarinnar.

Páttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Sprautumassi	3,63 kg	0,333 kg/m (m.v. 1,5 mm þykka línu). Gert ráð fyrir endurnýjun á hverju ári (98 sinnum á líftíma brúar).	Vistferilsgreining fyrir veg
Perlur	0,38 kg	0,035 kg/m. Gert ráð fyrir endurnýjun á hverju ári (98 sinnum á líftíma brúar).	

3.2.3 Förgun brúar

Gert er ráð fyrir að við förgun brúarinnar sé hún brotin niður með svipuðum hætti og fyrir byggingar í mið-Evrópu í dag þar sem brúin er brotin niður með markvissum hætti og flokkuð í steypu, stál og plast. Tafla 3.20 sýnir magn efnis í brú sem fellur til við niðurrif brúar. Gert er ráð fyrir að steypa sé mulin niður og nýtt sem fylling í nálægri framkvæmd. Þá er miðað við að umhverfisáhrif og/eða hagnaður við endurvinnslu steypunnar og flutninga hennar tilheyri þeirri framkvæmd. Þar sem ekki er vitað endurvinnsluhlutfall stáls úr brúm á Íslandi í framtíðinni er miðað við 100% endurvinnslu, til að sýna það sem fræðilega er hægt að ná. Í dag eru flestir málmar sendir til endurvinnslu á Spáni og í Bretlandi (Sorpa, 2011). Því er gert ráð fyrir að stálið sé flutt til starfsstöðvar Sorpu í Reykjavík (290 km) og þaðan til endurvinnslu erlendis, helmingur í Bretlandi (2.280 km) og helmingur á Spáni (2.700 km). Í niðurstöðunum er tekinn saman hagnaðurinn af því að endurvinna stálið og flutningurinn til endurvinnslu. Það er síðan sýnt sem sér þáttur í niðurstöðunum til að ekki liggi vafi á því hve mikið hagnaðurinn hefur áhrif á niðurstöðurnar. Líklegt þykir að plastið verði endurunnið í framtíðinni en ekki eru til gögn um endurvinnslu plasts á Íslandi og magnið er tiltölulega lítið svo miðað er við að plastið sé brennt í brennsluofni. Miðað er við brennslu í brennslustöð á Suðvesturlandi.

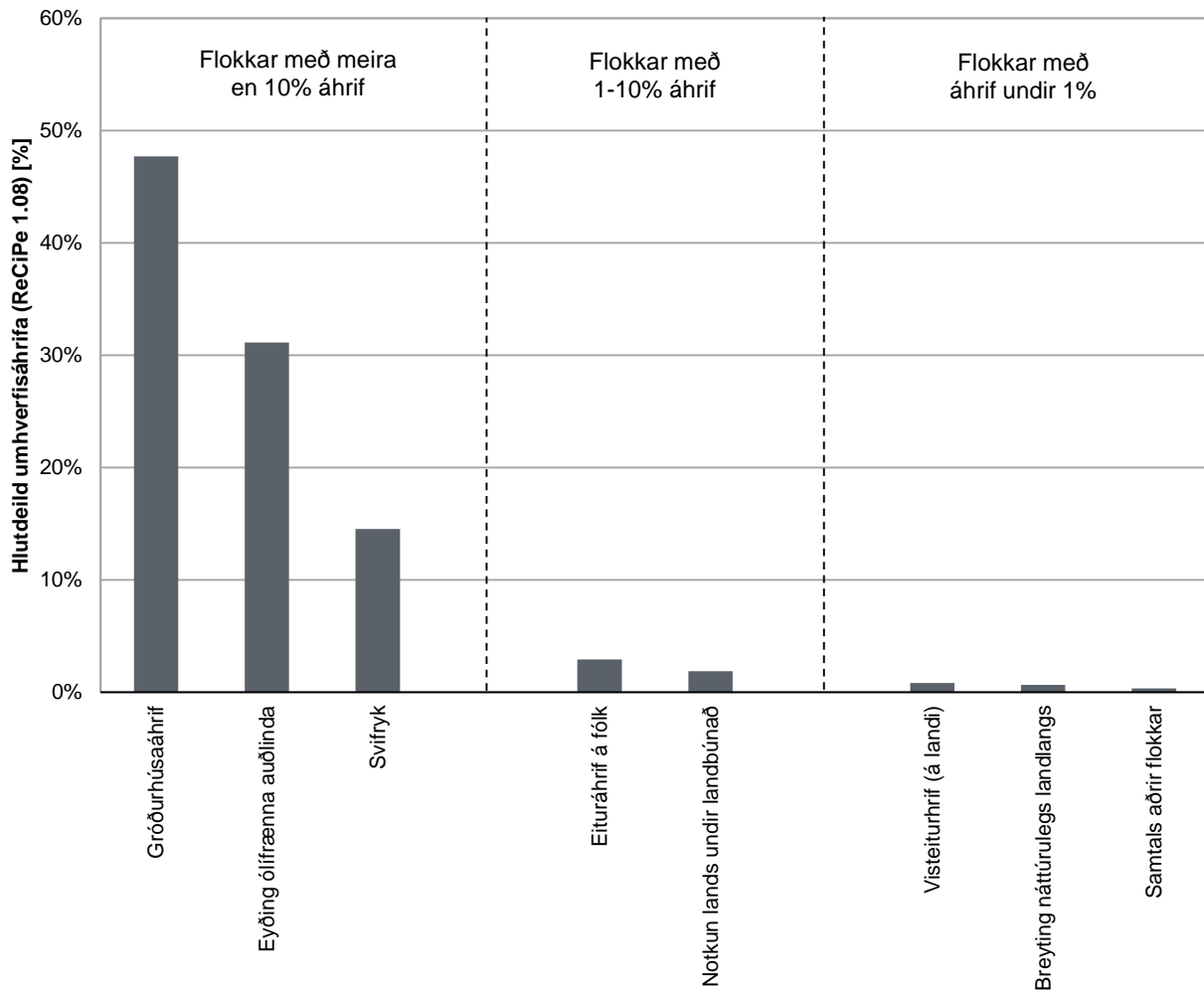
Tafla 3.20. Efni sem fellur til við förgun brúarinnar.

Þáttur	Magn/m ²	Athugasemd	Uppruni gagna
Steypa	2,05 m ³	Gert er ráð fyrir að steypa sé mulin og nýtt sem fylling í nálægri framkvæmd.	EFLA
Steypustyrktarjám	229,8 kg	Gert er ráð fyrir að stálið sé flutt til endurvinnslu erlendis, helmingur í Bretlandi og helmingur á Spáni.	Sorpa
Annað stál	16,3 kg		
PVC plaströr	0,30 kg	Gert er ráð fyrir að plastið sé brennt í brennsluofni á Suðvesturlandi.	EFLA
Gúmmí	0,07 kg		

3.3 Mat á umhverfisáhrifum

3.3.1 Helstu umhverfisáhrifaflokkar

Niðurstöðurnar í mati á umhverfisáhrifum eru í mismunandi flokkum sem ekki er auðvelt að bera saman. En til að auðkenna hvaða umhverfisflokkar skipta mestu máli í tilfalli brúar þá voru niðurstöðurnar staðlaðar og vigtaðar með ReCiPe 1.08 aðferðinni. Þær voru staðlaðar með tölum fyrir árleg áhrif íbúa í Evrópu út frá sjálfgefnu mati „hierarchist“. Síðan tekur við vigtun en hana er ekki hægt að framkvæma án þess að mannleg viðhorf séu tekin inn. Hér er miðað við meðaltalsviðhorf ReCiPe aðferðarinnar en eftir það er hægt að bera saman stærðargráðu mismunandi flokka sem sýnt er á mynd 3.5. Út frá henni sést að fyrir þessa tilteknu brú eru það flokkarnir gróðurhúsaáhrif, eyðing ólífrænna auðlinda og svifryk sem valda hlutfallslega mestum umhverfisáhrifum. Minni áhrif eru í flokkunum eituráhrif á fólk og notkun lands undir landbúnað en áhrif í öðrum flokkum eru hverfandi. Eins og fram hefur komið þá er aðferðin í ILCD lögð til grundvallar í greiningunni og ReCiPe aðferðin er hér aðeins notuð til að auðkenna mikilvægustu umhverfisáhrifaflokkana. Í ILCD er ekki tekinn með flokkurinn notkun lands undir landbúnað og því verða niðurstöður sýndar fyrir fjóra flokka: Gróðurhúsaáhrif, eyðing ólífrænna auðlinda, svifryk og eituráhrif á fólk.



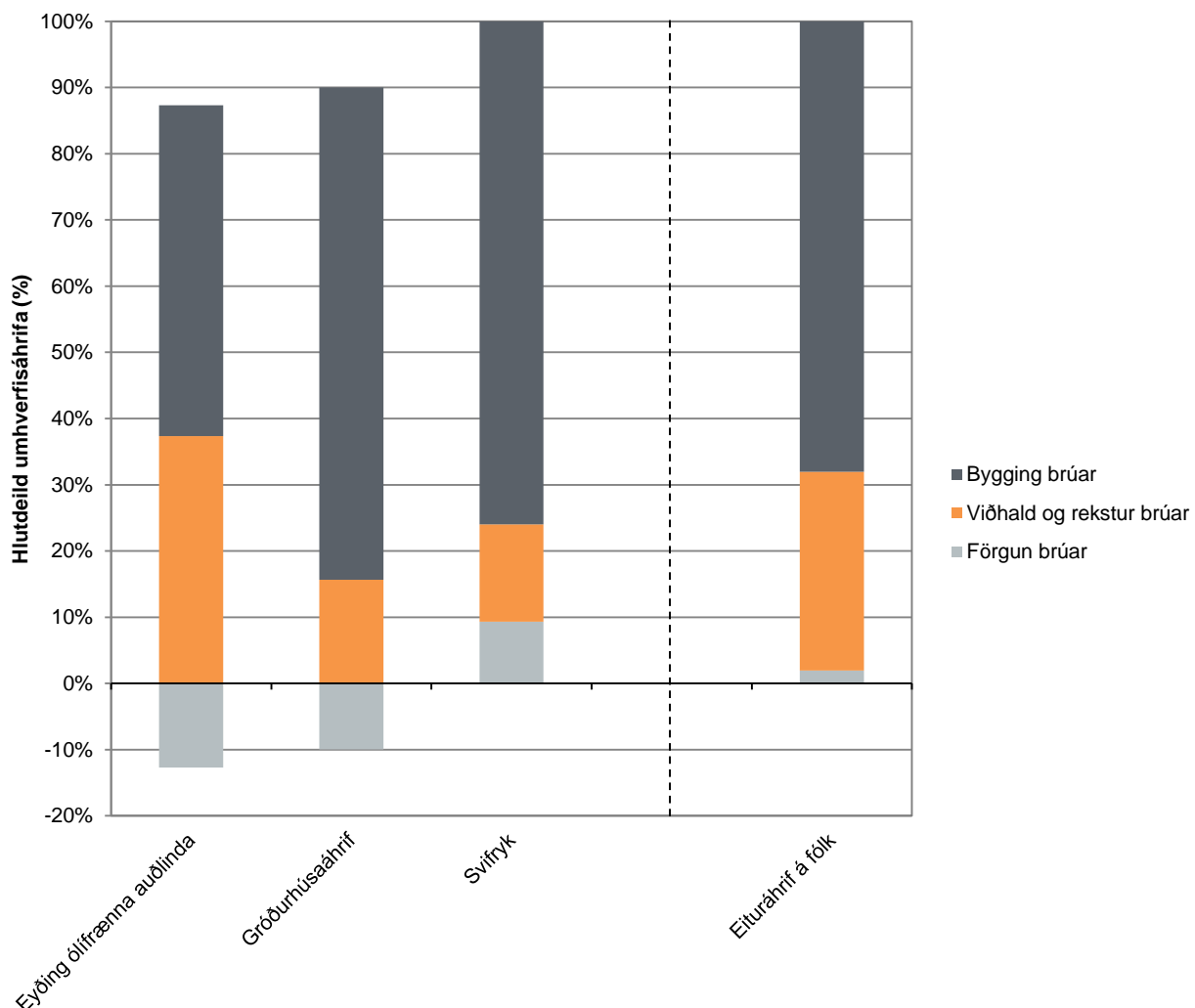
Mynd 3.5. Þáttur mismunandi flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum brúar út frá ReCiPe 1.08 aðferðinni.

3.3.2 Heildarumhverfisáhrif

Heildarumhverfisáhrif brúar yfir allan vistferil hennar má sjá á mynd 3.6. Aðeins eru sýnd umhverfisáhrifin fyrir þá flokka sem skipta mestu máli fyrir brúna en áhrif í öðrum flokkum má finna í viðauka (mynd 6.1). Í flokkunum gróðurhúsaáhrif, svifryk og eituráhrif á fólk veldur bygging brúarinnar mestum umhverfisáhrifum. Í flokknum eyðing ólífrænna auðlinda skiptast umhverfisáhrifin nokkuð jafnt milli byggingar brúarinnar og viðhalds og reksturs hennar á 100 ára líftíma hennar.

Fyrir flokkana eyðing ólífrænna auðlinda og gróðurhúsaáhrif má sjá að förgun brúarinnar dregur úr heildarumhverfisáhrifum vegna endurvinnslu stáls. Tafla 3.21 sýnir tölulegar niðurstöður fyrir alla flokka umhverfisáhrifa.

Myndir 3.6, 3.7, 3.8, 3.9 og 3.10 sýna umhverfisáhrif og hagnað (af endurvinnslu) fyrir mismunandi flokkum umhverfisáhrifa. Hagnaður vegna endurvinnslu minnkar heildar umhverfisáhrifin og er hann sýndur fyrir neðan 0% ásinn (lárétta ásinn) með neikvæðri prósentu. Hver stöpull er síðan þannig byggður upp að hann sýni summu umhverfisáhrifa og hagnaðar af endurvinnslu (án formerkis) sem 100%. Þannig er hver stöpull jafn langur, sama þótt hluti af honum sýni neikvæða prósentu.



Mynd 3.6. Hlutdeild byggingar, viðhalds, reksturs og förgunar brúar í umhverfisáhrifum brúar. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Yfir 90% áhrifa eru í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda, gróðurhúsaáhrif og svifryk. Um 3% áhrifa eru í flokknum eituráhrif á fólk en áhrif í öðrum flokkum eru hverfandi og þeir því aðeins sýndir í viðauka (mynd 6.1).

Tafla 3.21. Umhverfisáhrif fyrir byggingu, viðhald, rekstur og förgun brúar reiknað fyrir 1 m² af nýtanlegu brúargólfi (brúargólfi milli bríka). Gildin eru námunduð að þremur markverðum tölustöfum en það sýnir ekki nákvæmni þeirra.

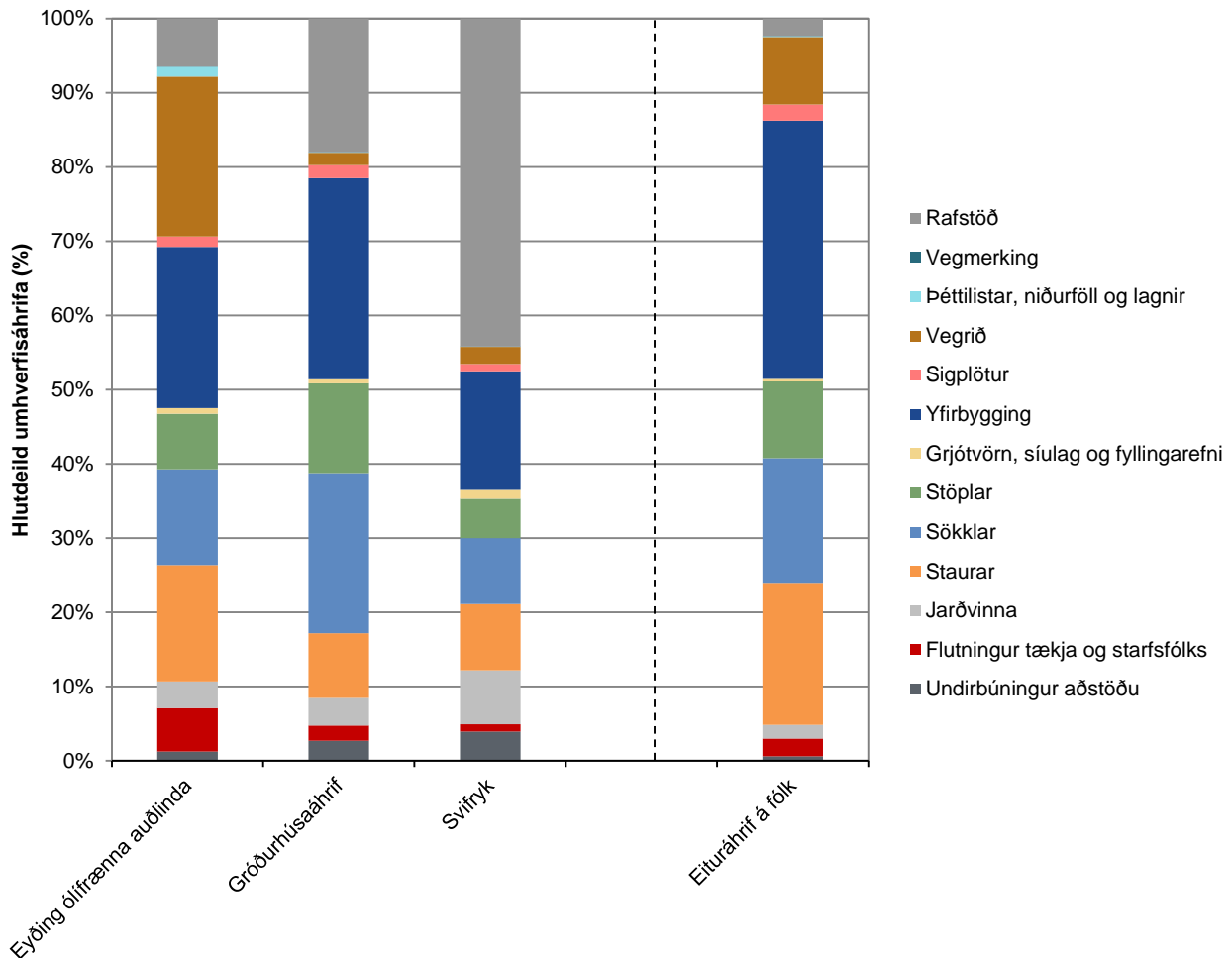
Umhverfisáhrifaflokkur	Eining	Bygging brúar		Viðhald og rekstur brúar			Förgun brúar			Samtals			
				án endurvinnslu*	með endurvinnslu		án endurvinnslu*	með endurvinnslu	án endurvinnslu	endurvinnsla**	með endurvinnslu		
Eituráhrif á fólk (ekki krabbameinsvaldandi)	[CTUh]	4,96E-04	66%	2,49E-04	33%	2,52E-04	1,93E-06	0,3%	2,22E-05	7,47E-04	2,27E-05	3%	7,70E-04
Eituráhrif á fólk (krabbameinsvaldandi)	[CTUh]	3,50E-04	74%	1,21E-04	26%	1,21E-04	1,03E-06	0,2%	1,91E-06	4,71E-04	9,83E-07	0,2%	4,72E-04
Eyðing ólífrænna auðlinda	[kg Sb ígildi]	0,0254	56%	0,0197	44%	0,0190	0,000171	0,4%	-0,00645	0,0453	-0,00739	-16%	0,0379
Eyðing ósonlagsins	[kg CFC-11 ígildi]	1,36E-04	85%	1,98E-05	12%	2,15E-05	4,17E-06	3%	1,86E-05	1,60E-04	1,62E-05	10%	1,76E-04
Ferskvatnsneysla	[kg]	228	63%	130	36%	132	1,98	1%	15,7	361	15,3	4%	376
Geislun	[kg U ₂₃₅ ígildi]	72.400	66%	36.400	33%	36.500	711	1%	2.010	109.000	1.450	1%	111.000
Gróðurhúsaáhrif (án lífræns CO ₂)	[kg CO ₂ ígildi]	2.390	81%	546	18%	504	34,2	1%	-321	2.970	-397	-13%	2.580
Gróðurhúsaáhrif (með lífrænum CO ₂)	[kg CO ₂ ígildi]	2.420	81%	548	18%	507	34,2	1%	-320	3.010	-395	-13%	2.610
Myndun ósons við yfirborð jarðar	[kg NMVOC]	18,7	89%	1,96	9%	1,90	0,461	2%	-0,0359	21,1	-0,555	-3%	20,6
Næringarefnaauðgun (á landi)	[mól N ígildi]	73,8	89%	7,25	9%	7,15	1,68	2%	0,813	82,8	-0,968	-1%	81,8
Næringarefnaauðgun (í ferskvatni)	[kg P ígildi]	0,265	66%	0,133	33%	0,134	0,00180	0,4%	0,00418	0,400	0,00266	1%	0,403
Næringarefnaauðgun (í sjó)	[kg N ígildi]	0,726	85%	0,111	13%	0,116	0,0159	2%	0,0557	0,853	0,0445	5%	0,897
Súrt regn	[mól H ⁺ ígildi]	16,8	86%	2,34	12%	2,27	0,357	2%	-0,248	19,5	-0,676	-3%	18,9
Svifryk	[kg PM _{2,5} ígildi]	2,25	75%	0,442	15%	0,437	0,321	11%	0,276	3,02	-0,0504	-2%	2,97
Visteiturhrif	[CTUe]	6.810	67%	3.400	33%	3.410	28,4	0,3%	104	10.200	84,0	1%	10.300

* Prósentá sýnir áhrif þáttar sem hlutfall af heildaráhrifum án endurvinnslu.

** Prósentá sýnir lækkun eða aukningu vegna endurvinnslu, þ.e. hagnað eða áhrif endurvinnslu sem hlutfall af heildaráhrifum án endurvinnslu.

3.3.3 Bygging brúar

Umhverfisáhrif mismunandi byggingarpáttanna má sjá á mynd 3.7 fyrir þá flokka umhverfisáhrifa sem skipta mestu máli fyrir brúna. Þar sést að steypir hlutar (staurar, sökklar, stöplar, yfirbygging og sigplötur) valda samtals mestum umhverfisáhrifum í flestum flokkum. Brennsla díselolíu í rafstöð veldur þó mestum umhverfisáhrifum í flokknum svifryk og talsverðum gróðurhúsaáhrifum. Grjótvörn, síulag, fyllingarefni, þéttlistar, niðurföll, lagnir og vegmerking valda litlum eða hverfandi áhrifum í öllum sýndum flokkum. Útlistun umhverfisáhrifa í fleiri umhverfisáhrifaflokkum má sjá á mynd 6.2 í viðauka.



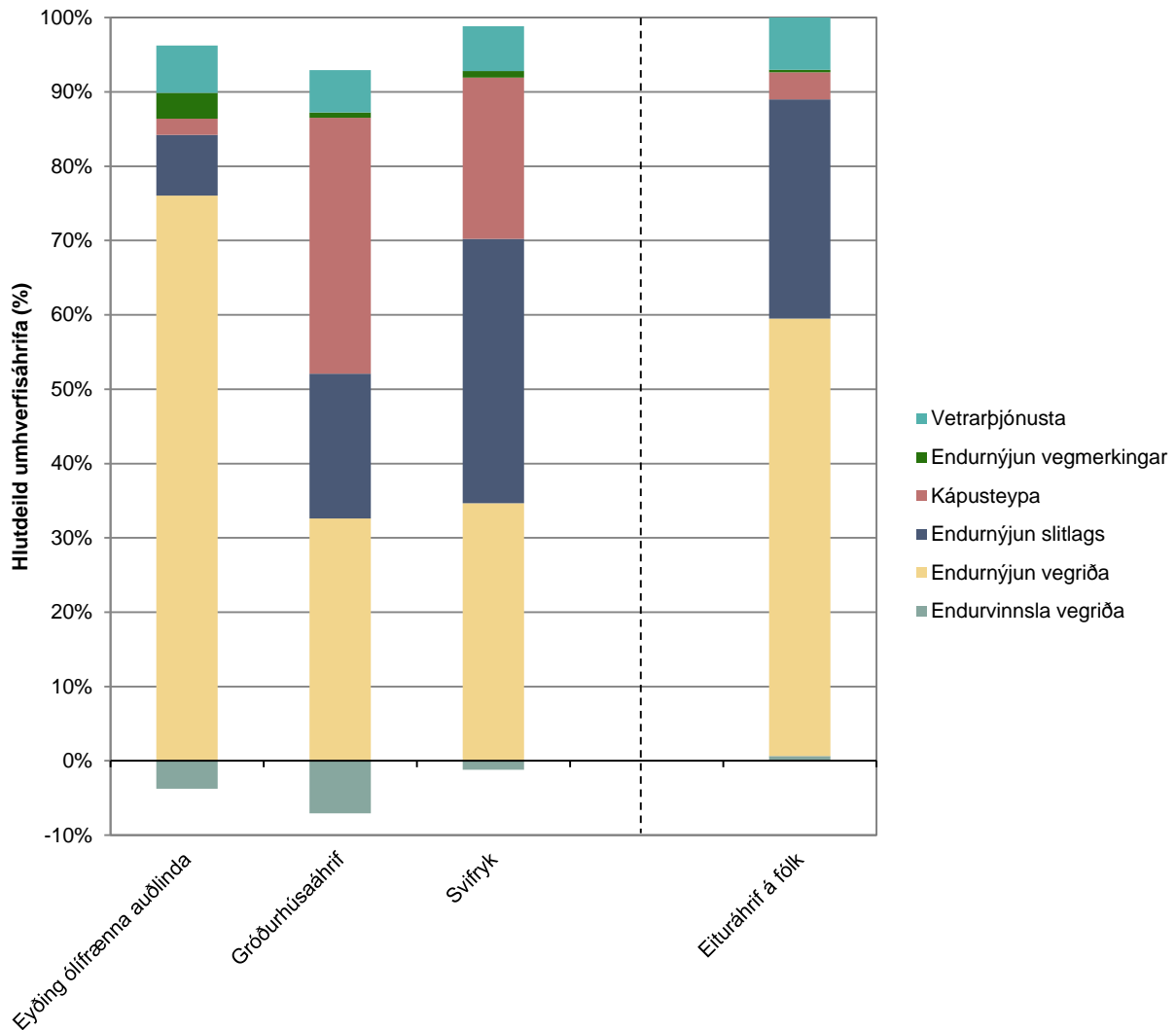
Mynd 3.7. Hlutdeild mismunandi byggingarpáttanna í umhverfisáhrifum byggingu brúar. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Yfir 90% áhrifa eru í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda, gróðurhúsaáhrif og svifryk. Um 3% áhrifa eru í flokknum eituráhrif á fólk en áhrif í öðrum flokkum eru hverfandi og þeir því aðeins sýndir í viðauka (mynd 6.2).

Tafla 3.22: Skýring á verkþáttum við byggingu brúar

Undirbúningur aðstöðu	Notkun tækja við uppsetningu á vinnubúðum, verkfæraskúr og þess háttar
Flutningur tækja og starfsfólks	Flutningur tækja og ferðir starfsfólk sem skráð eru á verkið
Jarðvinna	Öflun efnis í framhjálaup, flutningur á vinnustað og útlögn. Notkun tækja við vatnaveitingu, gróft gryfju fyrir sökklá og aðra jarðvinnu.
Staurar	Framleiðsla og flutningur steypustyrktarjárns og steypu í járnalögn og steypuvinnu við gerð staura og niðurrekstur þeirra.
Sökkklar	Framleiðsla og flutningar timburs, steypustyrktarjárns, steypu og steypupekju í mót, járnalögn og steypuvinnu við gerð sökklá.
Stöplar	Framleiðsla og flutningar timburs, steypustyrktarjárns, steypu og steypupekju í mót, járnalögn og steypuvinnu við gerð stöpla.
Grjótvörn, síulag og fyllingarefni	Öflun, flutningur og útlögn efnis í grjótvörn, síulag og fyllingu að steypum mannvirkjum.
Yfirbygging	Framleiðsla og flutningar timburs, steypustyrktarjárns, steypu og steypupekju í mót, járnalögn og steypuvinnu við gerð yfirbyggingar.
Sigplötur	Framleiðsla og flutningar steypustyrktarjárns og steypu í járnalögn og steypuvinnu við gerð sigplatna.
Vegrið	Framleiðsla, sinkhúðun og flutningur vegriðsbita, stoða og annars stáls í vegriðum. Framleiðsla og flutningur steypu í steypuvinnu við uppsetningu vegriða
Þéttilistar, niðurföll og lagnir	Framleiðsla og flutningar plasts í niðurföll og lagnir, gúmmí í þéttilista og stáls í ristar og stúta niðurfalla.
Vegmerking	Framleiðsla sprautumassa og glerperla í 1,5 mm þykka veglínu
Rafstöð	17% keyrsla á 72 kW Wilson 110 díselrafstöð fyrir vinnubúðir og til að keyra rafmagnsknúin tæki og dælur

3.3.4 Viðhald og rekstur brúar

Á mynd 3.8 má sjá hver hlutdeild mismunandi þátta er í umhverfisáhrifum viðhalds og reksturs brúarinnar á 100 ára líftíma hennar. Áhrifin eru sýnd í þeim flokkum sem skipta mestu máli fyrir brúna. Endurnýjun vegriða veldur mestum áhrifum í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og eituráhrif á fólk. Endurnýjun slitlags veldur talsverðum áhrifum í öllum sýndum flokknum nema eyðingu ólífrænna auðlinda. Kárusteypan veldur talsverðum áhrifum í flokkunum gróðurhúsaáhrif og svifryk. Vetrarþjónusta og endurnýjun vegmerkingarinnar valda litlum áhrifum. Umhverfisáhrif fyrir fleiri flokka má sjá í viðauka (mynd 6.3).



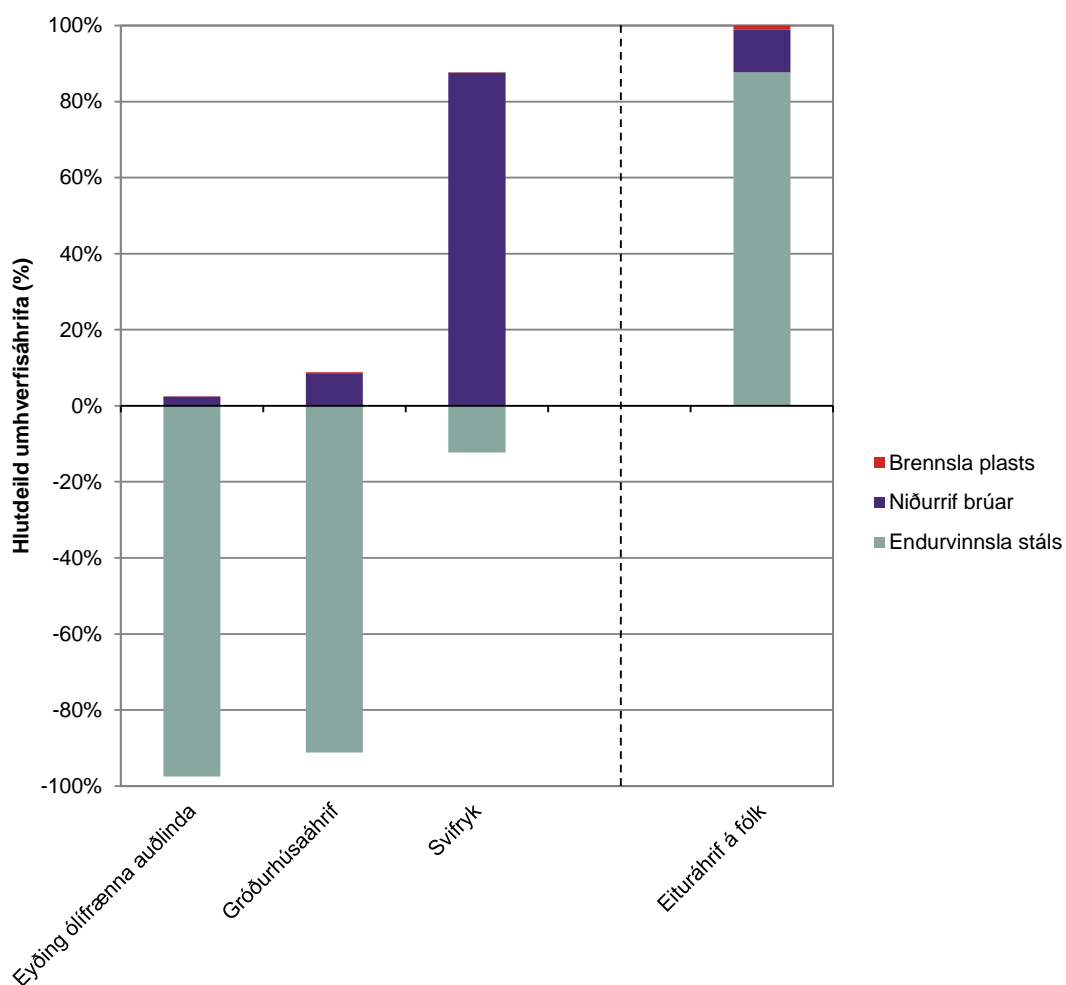
Mynd 3.8. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum viðhalds og reksturs brúar á 100 árum. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Yfir 90% áhrifa eru í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda, gróðurhúsaáhrif og svífryk. Um 3% áhrifa eru í flokknum eituráhrif á fólk en áhrif í öðrum flokkum eru hverfandi og þeir því aðeins sýndir í viðauka (mynd 6.3).

Tafla 3.23: Skýring á verkþáttum við rekstur og viðhald brúar.

Endurvinnsla vegriða	Hagnaður af endurvinnslu alls þess stáls sem fellur til í viðhaldi vegriða og flutningur þess erlendis.
Viðhald slitlags	Endurnýjun slitlags þrisvar sinnum á 100 ára líftíma brúar þar sem efstu 8 cm eru brotnir upp og steptir aftur með steypustyrktarjárni.
Viðhald vegriða	Endurnýjun vegriða þar sem að meðaltali er allt vegrið brúarinnar endurnýjað á þrjátíu ára fresti, það er þrisvar sinnum á líftíma brúarinnar.
Kápusteypa	Kápa stept einu sinni á líftíma brúar. Þá eru ystu 8 cm brotnir af og steptir aftur á sökklum, stöplum, brikum og yfirbyggingu fyrir utan neðri flöt yfirbyggingarinnar.
Viðhald vegmerkingar	Endurnýjun vegmerkingar á hverju ári, það er 98 sinnum á líftíma brúarinnar.
Vetrarþjónusta	Söltun og snjómokstur

3.3.5 Förgun brúar

Við förgun brúar var gert ráð fyrir 100% endurvinnslu stáls til að sýna hver hagnaðurinn væri ef þannig væri staðið að endurvinnslunni. Mynd 3.9 sýnir að hagnaðurinn af endurvinnslunni er mestur í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og gróðurhúsaáhrif. Endurvinnslan veldur meiri neikvæðum umhverfisáhrifum í flokknum eituráhrif á fólk en aðrir þættir í förgun brúarinnar en þau áhrif eru þó lítil í samanburði við heildaráhrif vistferils brúarinnar. Niðurrif brúarinnar veldur mestum umhverfisáhrifum í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda, gróðurhúsaáhrif og svifryk. Brennsla plasts hefur hverfandi áhrif enda er magnið lítið. Hér miðast hlutföllin aðeins við förgun brúarinnar en ekki aðra þætti í líftíma hennar. Eins og fram hefur komið þá er gert ráð fyrir að steypa sé endurunnin og notuð sem fylling í annarri framkvæmd. Þá er miðað við að hagnaður og/eða umhverfisáhrif endurvinnslu steypunnar tilheyri þeirri framkvæmd en ekki þessari. Umhverfisáhrif fyrir fleiri flokka má sjá í viðauka (mynd 6.4).



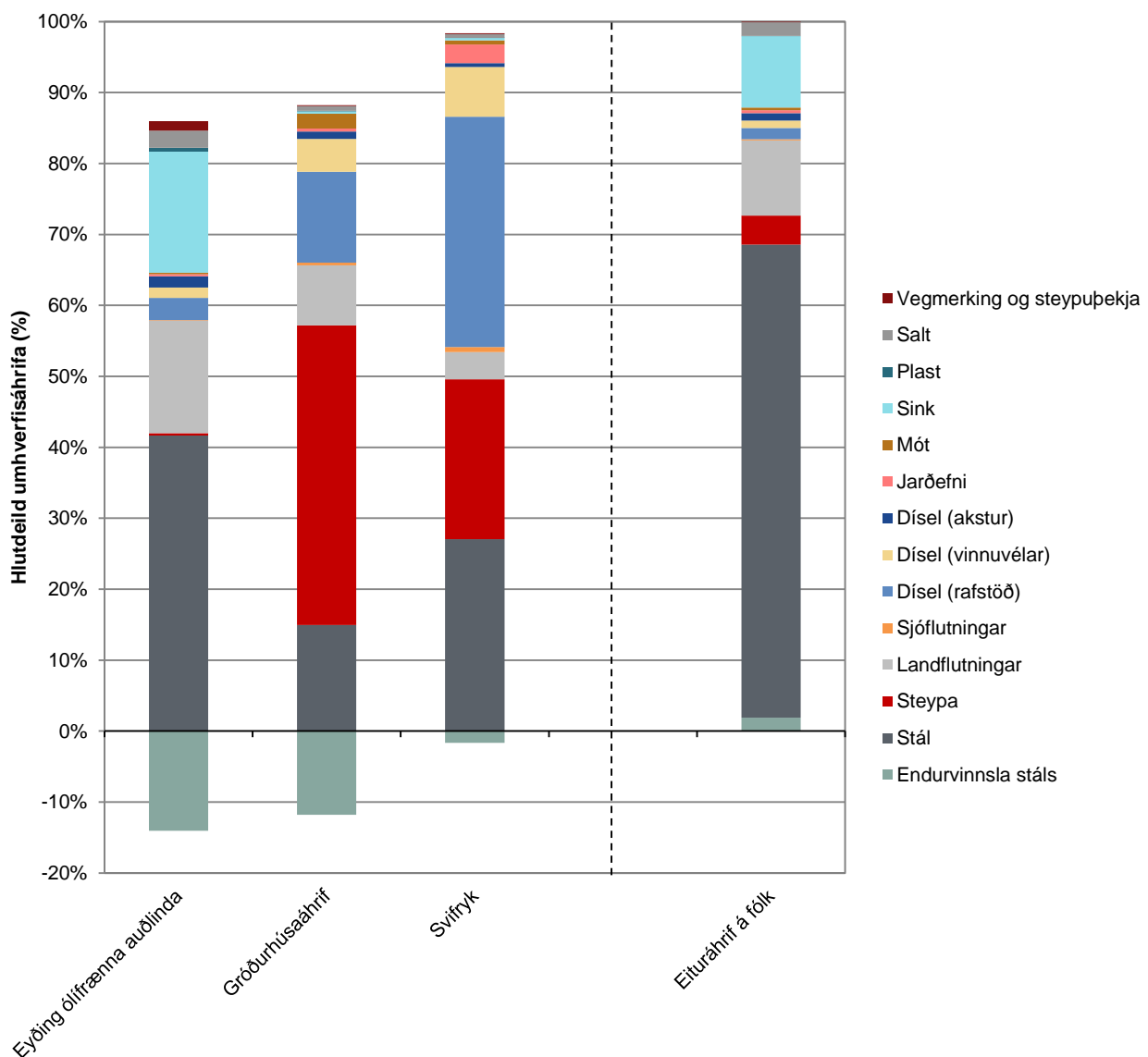
Mynd 3.9. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum förgunar brúar. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Yfir 90% áhrifa eru í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda, gróðurhúsaáhrif og svifryk. Um 3% áhrifa eru í flokknum eituráhrif á fólk en áhrif í öðrum flokkum eru hverfandi og þeir því aðeins sýndir í viðauka (mynd 6.4).

Tafla 3.24: Skýring á þáttum í förgun brúar

Endurvinnsla stáls	Hagnaður af endurvinnslu stáls ef allt stál í brúnni er endurunnið, það er sú hámarks endurvinnsla sem hægt er að ná.
Niðurrif brúar	Orkunotkun og svifryksmengun við niðurrif brúar
Brennsla plasts	Flutningur og brennsla plasts

3.3.6 Umhverfisáhrif eftir efnum

Hlutdeild mismunandi byggingarefna í umhverfisáhrifum brúarinnar má sjá á mynd 3.10 og í töflu 3.25 er útskýring á þáttum hennar. Út frá myndinni má sjá að byggingarefnin sem valda mestum umhverfisáhrifum er stálið, steypan og díselolían sem er brennd í rafstöð eða við landflutninga. Sink veldur einnig talsverðum áhrifum í ákveðnum flokkum. Stálið veldur mestum áhrifum í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og eituráhrif á fólk. Steypa veldur mestum gróðurhúsaáhrifum og einnig talsverðum áhrifum í flokknum svifryk. Keyrsla rafstöðvar veldur mestum áhrifum í flokkunum svifryk og einnig talsverðum gróðurhúsaáhrifum. Sinkhúðun veldur talsverðum áhrifum í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og eituráhrif á fólk. Sjóflutningar valda litlum áhrifum en landflutningar talsverðum áhrifum í flestum flokkum. Vinnuvélar valda áhrifum helst í flokkunum svifryk og gróðurhúsaáhrif. Salt, jarðefni, vegmerking, steypupekja, ferðir starfsfólks og flutningar tækja valda hlutfallslega litlum áhrifum í öllum flokkum. Endurvinnsla stáls dregur mest úr umhverfisáhrifum í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og gróðurhúsaáhrif en einnig í flokknum svifryk.



Mynd 3.10. Hlutdeild mismunandi efna í umhverfisáhrifum byggingu, viðhalds, reksturs og förgunar brúar. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Yfir 90% áhrifa eru í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda, gróðurhúsaáhrif og svifryk. Um 3% áhrifa eru í flokknum eituráhrif á fólk en áhrif í öðrum flokkum eru hverfandi og þeir aðeins sýndir í viðauka (mynd 6.5).

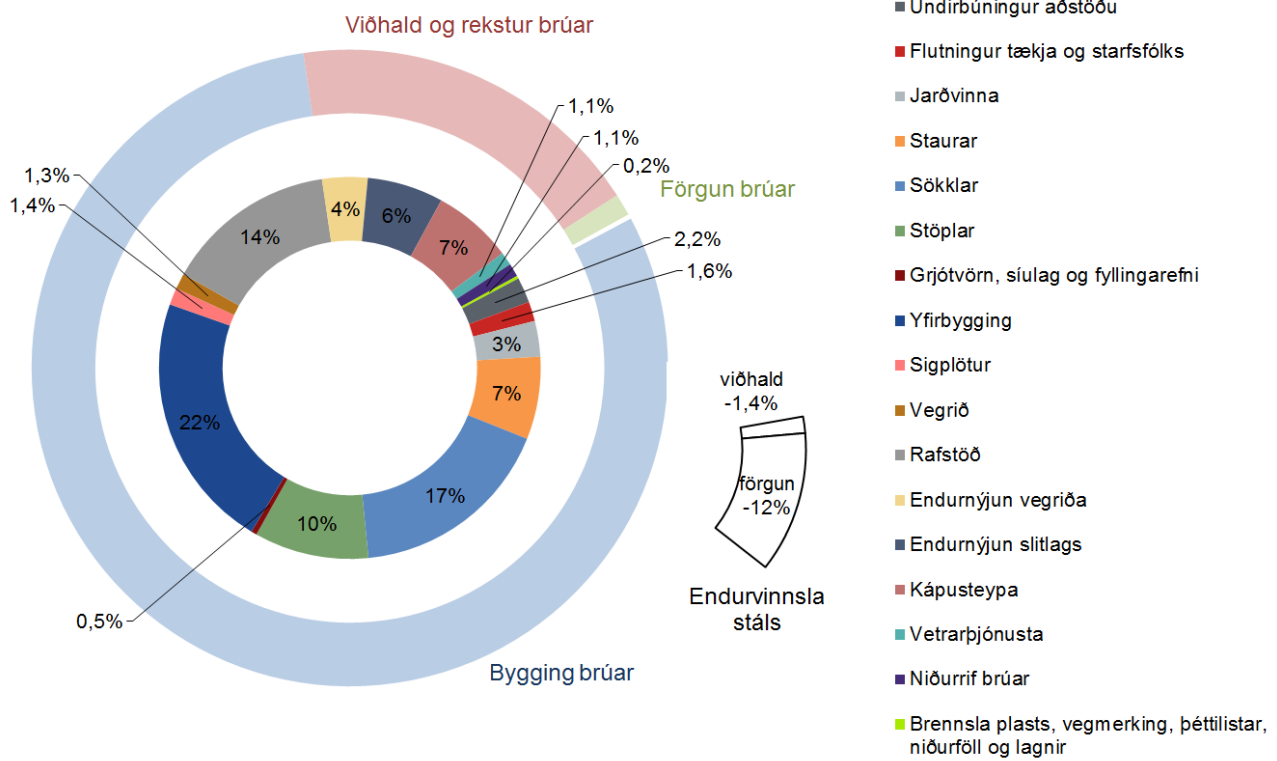
Tafla 3.25: Skýring á efnum brúar í mynd 3.10.

Vegmerking og steypuþekja	Sprautumassi og glerperlur í veglínu og steypuþekja til að koma í veg fyrir að steypan þorni of hratt.
Salt	Salt í söltun brúarinnar yfir vetrartímann.
Plast	PVC plast í lagnir og í rör fyrir niðurföll. Gúmmí í þéttilista milli yfirbyggingar og stöpla.
Sink	Sink í sinkhúðun stáls sem þarf í vegrið
Mót	Gert er ráð fyrir að þriðjungur þeirra timburmóta sem notuð eru við steypuvinnu falli af á framkvæmdatíma og tilheyri brúargerðinni.
Jarðefni	Notkun sprengiefnis við öflun jarðefna. Vél sem sér um mulning jarðefna.
Dísel (akstur)	Brennsla díselolíu við akstur starfsfólks og snjóruðning.
Dísel (vinnuvélar)	Brennsla díselolíu við keyrslu vinnuvéla (jarðýta, beltagrafa, niðurrekstrarkrani, krani, valtari, veghefill, skotbómulyftari, steypudæla).
Dísel (rafstöð)	Brennsla díselolíu í rafstöð til að framleiða rafmagn fyrir dælur, vinnubúðir og önnur tæki.
Sjóflutningar	Notkun díselolíu í sjóflutningum efna
Landflutningar	Notkun díselolíu í landflutningum efna
Steypa	Steypa í steyptan hluta brúarinnar
Stál	Steypustyrktarjárn og annað stál sem þarf í brúna (bergskór, vegrið, o.fl.)
Endurvinnsla stáls	Hagnaðurinn sem vinnst af því að endurvinna allt stál í brúnni, bæði það sem fellur til við endurnýjun vegriða og við förgun brúarinnar.

3.3.7 Kolefnisspor

Kolefnisspor fyrir brúna er skilgreint sem heildarlosun gróðurhúsalofttegunda af manna völdum fyrir allt vistferli brúarinnar. Gerður er greinamunur á gróðurhúsalofttegundum sem stafa frá jarðefnaeldsneyti og þeim sem eiga uppruna sinn í lífrænum massa, eins og til dæmis þær lofttegundir sem losna við brennslu timburs. Hér eru ekki tekin með þau gróðurhúsaáhrif sem eiga uppruna sinn í lífrænum uppsprettum (e. biogenic) því það kolefni var upprunalega tekið úr lofthjúpnum og bundið í lífmassanum, til dæmis þegar tré vex. Kolefnisspor byggingar, viðhalds, reksturs og förgunar brúar er 2,58 tonn CO₂ ígildi á hvern m² nýtanlegs brúargólfs þegar tekinn er með hagnaðurinn af endurvinnslu stáls en 2,97 tonn CO₂ ígildi á hvern m² þegar honum er sleppt. Á mynd 3.11 má sjá skiptingu kolefnisspors brúarinnar eftir þáttum í vistferli hennar og síðan nánari skiptingu eftir verkþáttum. Þeir þættir sem ollu minnstum gróðurhúsaáhrifum eru teknir saman.

Ef tekinn er til hliðar hagnaðurinn af endurvinnslu stáls þá er kolefnisspor byggingar brúarinnar 2,39 tonn CO₂ ígildi / m² sem samsvarar 81% af heild. Þar valda steypdir hlutar með járnþvingu mestum áhrifum, það eru yfirbygging, stöplar, sökklar, staurar og sigplötur. Rafstöðin veldur líka talsverðum gróðurhúsaáhrifum. Kolefnisspor viðhalds og reksturs brúarinnar er 0,55 tonn CO₂ ígildi / m² sem svarar til 18% af heild. Þar veldur endurnýjun steyptra hluta (kápusteypa og slitlag) mestum gróðurhúsaáhrifum en einnig endurnýjun vegriða. Ef stálið sem fellur til við endurnýjun vegriða fer til endurvinnslu minnkar kolefnissporið um 0,04 tonn CO₂ ígildi / m², það er um 1.4%. Förgun brúarinnar (án hagnaðs endurvinnslu) hefur kolefnissporið 0,03 tonn CO₂ ígildi / m² sem er 1% af heild og kemur helst frá niðurrifi brúarinnar. Sömuleiðis, ef stálið sem fellur til við förgun brúarinnar fer til endurvinnslu þá minnkar kolefnissporið um 0,36 tonn CO₂ ígildi / m², það er um 12%.



Mynd 3.11. Kolefnisspor brúar sýnt eftir mismunandi þáttum í vistferli hennar. Þættir sem eru minni en 0,5% eru teknir saman (brennsla plasts, vegmerking, þéttlistar, niðurföll og lagnir). Hagnaðurinn á því að endurvinnsla stálið er sýndur til hliðar og miðast stærð hans við innri hringinn.

4 Umræður og lokaorð

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar sýna að umhverfisáhrif brúarinnar eru helst í fjórum flokkum umhverfisáhrifa: Gróðurhúsaáhrif, eyðing ólífrænna auðlinda, svifryk og eituráhrif á fólk. Niðurstöðurnar sýna að bygging brúarinnar veldur stærstum hluta umhverfisáhrifa á líftíma hennar og skipta þar steypfir hlutar með járnbandingu, rafstöð og vegrið mestu máli. Á eftir byggingu brúarinnar kemur viðhald og rekstur hennar en áhrif þess hluta vistferilsins eru álíka mikil og byggingar brúarinnar í einum flokki umhverfisáhrifa (eyðing ólífrænna auðlinda) af þeim fjórum helstu í vistferli brúarinnar. Endurnýjun vegriða á stærstan þátt í umhverfisáhrifum viðhalds og reksturs brúarinnar í fjórum helstu flokkunum en kápusteypa og endurnýjun slitlags eiga einnig stóran þátt í tveimur flokkum. Förgun brúarinnar eftir 100 ára líftíma hennar veldur ekki miklum umhverfisáhrifum í heildarvistferli brúarinnar nema í flokknum svifryk, vegna þess svifryks sem losnar þegar brúin er rifin niður. Ef allt stál brúarinnar er endurunnið og hagnaðurinn af endurvinnslunni tekinn með, þá dregur það úr gróðurhúsaáhrifum og eyðingu ólífrænna auðlinda af völdum brúarinnar.

Kolefnisspor steyptrar tveggja akgreina plötubrúar sem endist í 100 ár er 2,97 tonn CO₂ ígildi á hvern m² nýtanlegs brúargólfs ef hagnaði af endurvinnslu er sleppt. Þá er það bygging brúarinnar sem veldur 81% af kolefnissporinu, viðhald og rekstur 18% og förgun 1%. Ef allt stál brúarinnar er endurunnið bæði í viðhaldi og við förgun hennar þá lækkar kolefnissporið um 13% niður í 2,58 tonn CO₂ ígildi / m².

Nýlega var gerð rannsókn á stöðu þekkingar í vistferilsgreiningum fyrir brýr (Dequidt, 2012). Þar var aðallega verið að skoða mun stærri brýr og kom fram að kolefnisspor steyptra brúa væri á bilinu 0,1-3,4 tonn CO₂ ígildi / m² og meðaltalið 1,6 tonn CO₂ ígildi / m². Fyrir steyptra brýr með stálbitum er meðaltalið 2,5 tonn CO₂ ígildi / m². Það ber að hafa í huga að í flestum af þessum greiningum var aðeins yfirbyggingin tekin til greina en mótum og undirbyggingu (staurum, sökklum og stöplum) sleppt (Dequidt, 2012). Erfitt er að bera eina vistferilsgreiningu saman við aðrar því þær eru oft framkvæmdar í öðrum tilgangi, hafa önnur kerfismörk og taka aðra þætti inn í greininguna.

Í töflu 4.1 má sjá samanburð á niðurstöðunum fyrir íslensku brúna yfir Aurá og fyrir brú í Hillersvika í Noregi sem var fjallað um í nýlegri vistferilsgreiningu (Hammervold o.fl., 2013). Kolefnisspor norsku brúarinnar er 0,6 kg CO₂ ígildi á hvern m² nýtanlegs brúargólfs sem er talsvert lægra en kolefnisspor íslensku brúarinnar og geta verið margar ástæður fyrir því. Forsendur í norsku greiningunni geta verið aðrar, til dæmis var þar gert ráð fyrir margfalt minni þörf á endurnýjun vegriða en í vistferli brúarinnar yfir Aurá. Í íslensku greiningunni er miðað við endurnýjun fyrir dæmigerða brú á Íslandi og var það metið sameiginlega af sérfræðingum EFLU og Vegagerðarinnar. Norska brúin er lengri og aðeins breiðari og eykur það efnismagnið en á móti kemur að þá deilast heildaráhrif brúarinnar með stærra flatarmáli nýtanlegs brúargólfs. Fyrir lengri brýr getur verið að svipuð undirbygging (staurar, sökklar, stöplar) dugi fyrir lengri yfirbyggingu og þá er kolefnissporið á hvern m² lægra. Í Hillersvika brúnni olli yfirbygging 70% af kolefnissporinu og undirbyggingin 15% en í brúnni yfir Aurá olli yfirbyggingin 35% af kolefnissporinu og undirbyggingin 35% (Hammervold o.fl., 2013). Það gæti verið hluti af ástæðunni fyrir því að steypa er tvöfalt meiri þegar flatarmálið er fjórfalt meira eins og sést í töflu 4.1. Brú er ekki einsleitt fyrirbæri og því er ekki línulegt samband milli umhverfisáhrifa og flatarmáls hennar milli bríka. Ef flatarmálið er aukið þá aukast umhverfisáhrifin ekki eins eftir því hvort brúin er lengd eða breikkuð. Samt sem áður er 1 m² af nýtanlegu brúargólfi í 100 ár heppilegasta aðgerðareiningin sem hefur verið notuð í vistferilsgreiningum fyrir brýr fram að þessu. Notkun díselolíu í norsku greiningunni er mun lægri en í íslensku greiningunni eins og sést í töflu 4.1. Ekki er skýrt í norsku greiningunni hvaða forsendur liggja að baki og því er ekki vitað hvað þessu veldur. Þetta gæti einfaldlega verið út af öðrum kerfismörkum og að ekki séu teknir inn sömu þættir í báðar greiningar.

Tafla 4.1. Samanburður helstu stærða brúarinnar yfir Aurá og brúarinnar í Hillersvika (Hammerfold o.fl., 2013).

Brú	Lengd [m]	Breidd milli bríka [m]	Flatarmál milli bríka [m ²]	Steypa [m ³]	Stál [t]	Dísel (annað) [L/m ²]	Kolefnisspor [kg CO ₂ ígildi] [m ²]
Aurá	12	9	108	221	27	184	2,6 (3,0*)
Hillersvika	39,3	10,6	417	413	110	2,5	0,60

*Án hagnaðs endurvinnslu

Í vistferilsgreiningum fyrir brýr eru ekki alltaf tekin með áhrifin af þáttum eins og framleiðsla móta, keyrsla rafstöðvar, flutningur starfsfólks og tækja eða uppsetning vinnubúða og aðstöðu en það var gert hér til að geta séð hversu stór þáttur þeirra er í vistferli brúar. Niðurstöður greiningarinnar sýna að flutningur tækja og starfsfólks, mót og uppsetning aðstöðu valda hvert um sig minna en 4% áhrifa í sýndum flokkum. Rafstöðin veldur hinsvegar talsverðum áhrifum, 14% gróðurhúsaáhrifa og 33% áhrifa í flokknum svifryk. Eins og fram hefur komið þá er þetta 72 kW rafstöð keyrð á 10-15 kW í tæpar 1.900 klst. Hún var notuð til að framleiða rafmagn fyrir vinnubúðirnar og fyrir tæki eins og dælur við vatnaveitingu, bori og loftpressur. Hægt væri að lækka áhrif hennar með því að hafa hana á lægri keyrslu eða nota hana í styttri tíma. Líklega væri þó betra að fá rafmagn beint úr raforkukerfinu. Nú var brúin yfir Aurá staðsett á Skeiðarársandi og hugsanlega fjarri næstu mögulegu tengingu við rafmagn en ef aðstæður bjóða upp á beina tengingu við rafmagn þá er mælt með því í brúargerð.

Í niðurstöðum greiningarinnar eru áhrif landflutninga talsverð en sjóflutninga mun minni. Það gæti verið af því að brúin er á Skeiðarársandi, nokkuð langt frá stórum byggðakjörnum. Flutningurinn í greiningunni er mældur í þyngd sem flutt er ákveðna fjarlægð (tonn·kílómetrar, tkm) og þar skiptir steypun mestu máli því hún er bæði þung og var flutt langa vegalengd. Ný steypustöð á Vík var ekki í rekstri stóran hluta framkvæmdarinnar og því þurfti að flytja steypuna frá Selfossi (230 km), meira en tvöfalda vegalengdina milli Víkur og verkstaðar (100 km). Því ætti að nota steypu sem er framleidd eins nálægt verkstað og kostur er.

Niðurstöður greiningarinnar sýna að það borgar sig að endurvinna stál bæði í viðhaldi og förgun brúarinnar. Ef allt stálið er endurunnið þá lækkar það kolefnissporið um 13%, úr 2,97 tonn CO₂ ígildi / m² niður í 2,58 tonn CO₂ ígildi / m². Sömuleiðis lækkar áhrifin í eyðingu ólífrænna auðlinda um 16% úr 0,045 kg Sb ígildi / m² í 0,038 kg Sb ígildi / m². Í greiningunni er ekki tekinn beinn hagnaður af endurvinnslu steypu, en það er óbeinn hagnaður þar sem ekki verða umhverfisáhrif af urðun steypu. Því er mælt með því að við niðurrif brúa sé efnið flokkað í steypu, stál og annað svo hægt sé að endurvinna stálið og steypuna. Vegna þess hve lítið magn plasts er í brúnni hefur förgun þess lítil áhrif á niðurstöðurnar.

Líftími brúar skiptir miklu máli í greiningunni því að brú sem endist í ákveðinn tíma þjónar sama tilgangi og tvær brýr sem endast helmingi styttra. Líftími brúa á Íslandi hefur verið mjög breytilegur en með viðhaldi ætti brú sem er byggð í dag að endast í 100 ár sem slík. Það er algengt að gera ráð fyrir þessum líftíma brúa eins og kemur fram í fyrrnefndri könnun á stöðu þekkingar í vistferilsgreiningum fyrir brýr. Niðurstöður hennar voru þær að vistferilsgreiningar brúa sem taka allan vistferilinn og alla brúna (8 heimildir af 14) miðuðu við 100 ára líftíma (4 heimildir) eða 120 ára líftíma (4 heimildir) (Dequidt, 2012). En á móti kemur að ef kröfur um þjónustustig breytast þá getur verið að tíminn sem brúin er notuð sé styttri. Ágætt dæmi um brýr á þjóðvegi 1 sem uppfylla ekki nútímakröfur eru einbreiðar brýr og tók þessi tiltekna brú yfir Aurá einmitt við af einbreiðri brú. Ljóst er á greiningunni að bygging brúarinnar átti stærstan hlut í umhverfisáhrifum vistferilsins og ef brúin er síðan notuð í styttri tíma en 100 ár þá væri bygging brúarinnar enn stærri þáttur því viðhaldið væri yfir styttri tíma. Af þessu má draga þá ályktun að mikilvægt sé að stuðla að því að bæði líftími og notkunartími brúa sé sem lengstur til að þær nýtist sem best og ekki þurfi að byggja brýr oftar en þarf.

Við mat á umhverfisáhrifum var farið eftir tilmælum ILCD þar sem ekki er mælt með að birta niðurstöður einungis á stöðluðu og vigtuðu formi. En til að geta auðkennt hvaða flokkar umhverfisáhrifa skipta mestum máli var vigtun og stöðlun framkvæmd með ReCiPe 1.08 aðferðinni og birt á mynd 3.5. Ef önnur stöðlun og vigtun hefði verið valin eða önnur aðferð gætu niðurstöðurnar í þeirri mynd breyst lítillega. En þar sem að flokkarnir gróðurhúsaáhrif, eyðing ólífærna auðlinda og svifryk innihéldu afgerandi mest áhrif út frá þessari aðferð þá þykir líklegt að aðrar aðferðir hefðu auðkennt sömu flokka. Meiri óvissa er með flokkinn eituráhrif á fólk.

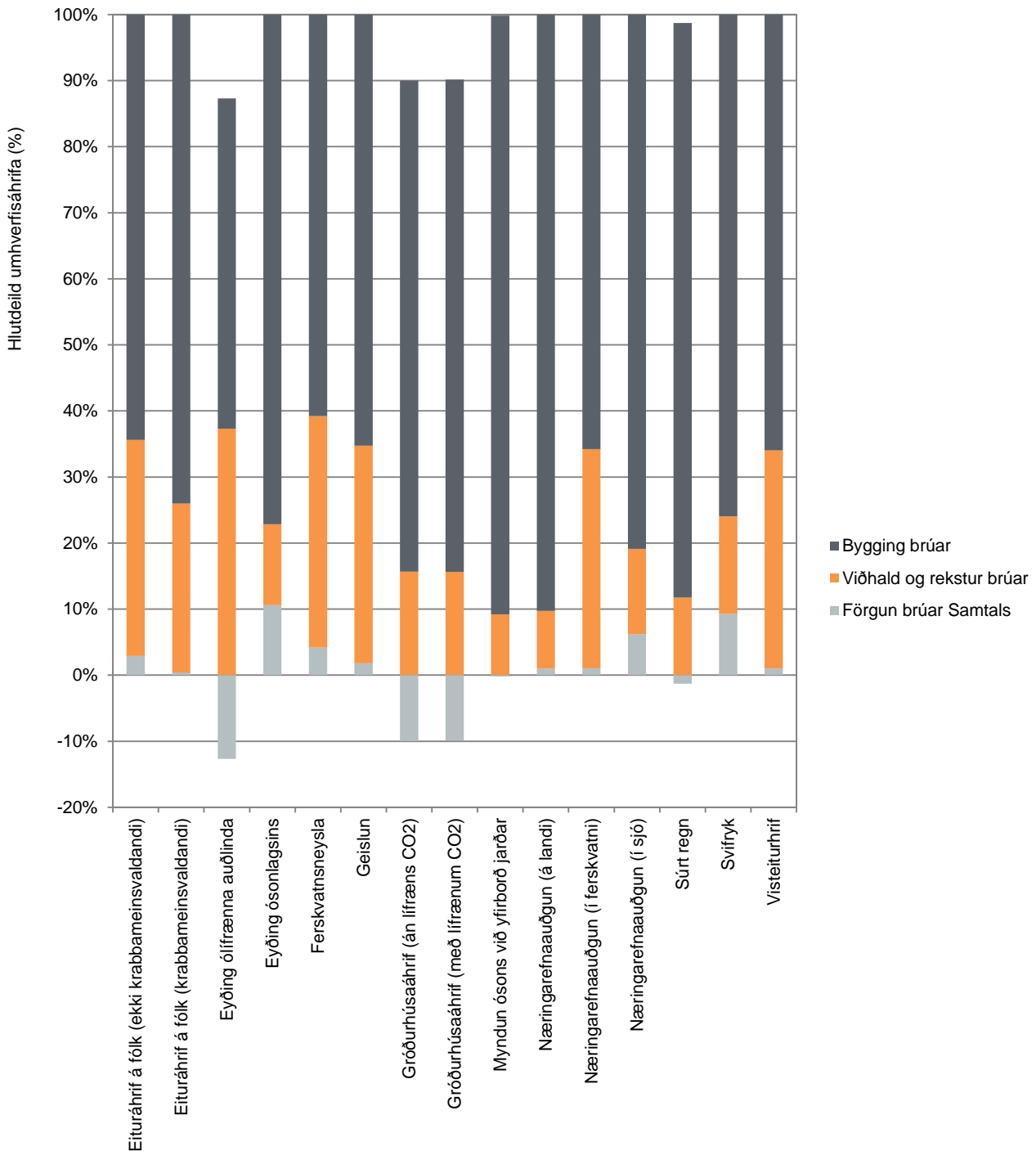
Þessi greining er fyrsta heildstæða mat á umhverfisáhrifum brúa á Íslandi með aðferðafræði vistferilsgreiningar. Á Norðurlöndunum hefur ýmislegt verið gert á þessu sviði og mætti þar nefna samnorrænt verkefni sem kallast ETSI Bridge Life Cycle Optimization þar sem meðal annars er litið á vistferilsgreiningu brúa í Noregi, Svíþjóð, Danmörku og Finnlandi. Áhugavert væri að tengja niðurstöður þessarar greiningar við það verkefni. Það er mikilvægt að halda áfram með rannsóknir á þessu sviði á Íslandi og er mælt með að eftirfarandi verði gert:

- Kanna hver umhverfisáhrif brúa úr öðrum eignum séu, til dæmis stálbrúa
- Kanna hvernig hægt sé að hámarka endurvinnslu stáls í viðhaldi og förgun brúa
- Kanna hvað veldur hárrí notkun díselolíu og hvernig sé best að lækka hana
- Kanna hver umhverfisáhrif stærri brúa á Íslandi séu
- Gera ítarlegri samanburð á íslensku brúnni og erlendum brúm þar sem nákvæmlega sömu þættir eru teknir með inn í greininguna
- Tengja niðurstöður greiningarinnar við samnorræna verkefnið ETSI Bridge Life Cycle Optimization

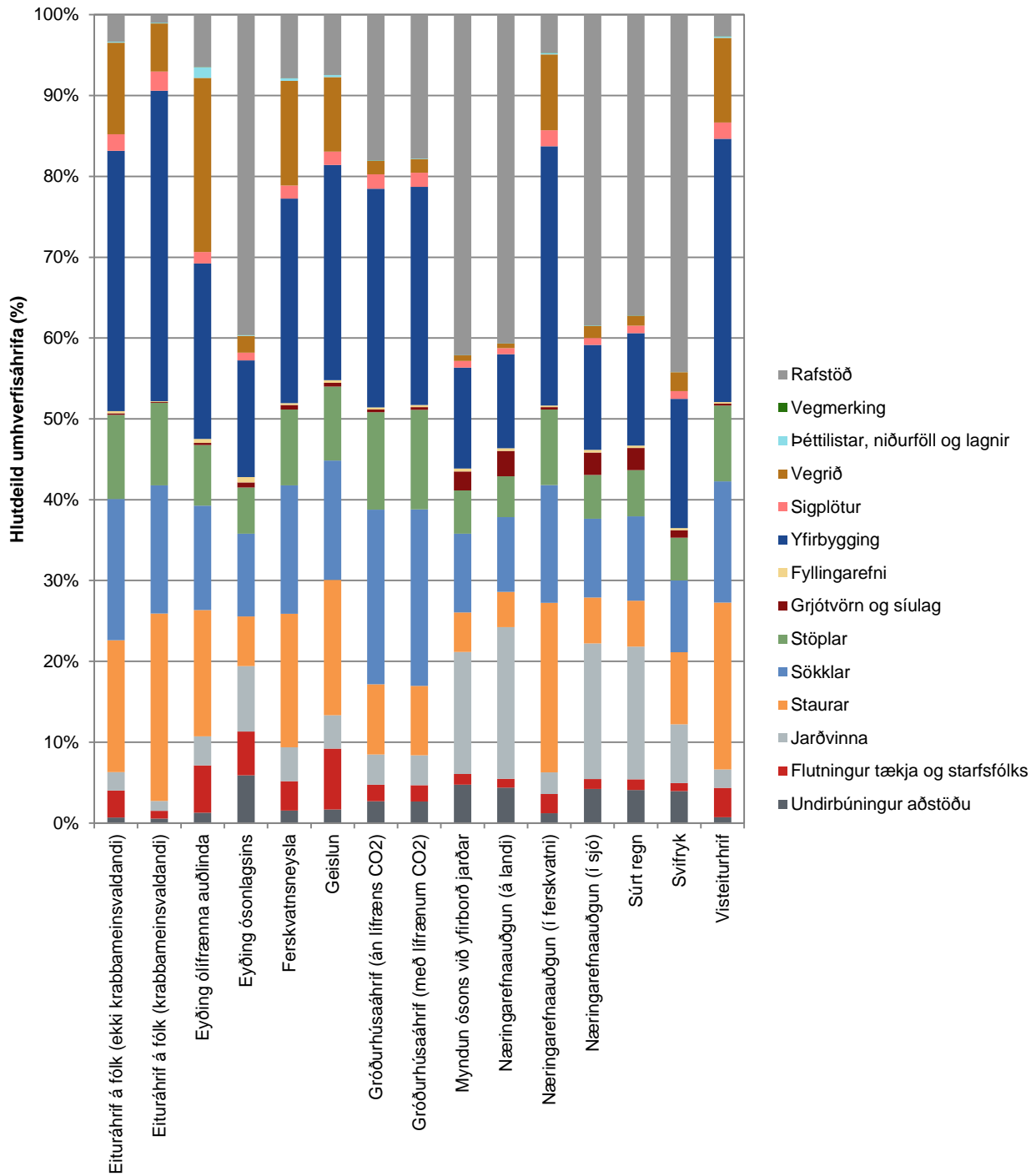
5 Heimildaskrá

- Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingvi Árnason (2010). *Notkun bergs til vegagerðar – Vinnsla, efniskröfur og útlögn*. Nýsköpunarmiðstöð Íslands.
- Dequidh, Thomas (2012). *Life Cycle Assessment of a Norwegian Bridge*. Norwegian University of Science and Technology, Noregur.
- Ecoinvent (2014). Dataset information. Sótt af: <http://www.ecoinvent.org/>
- FG Wilson (á.d.). *P100 / P110E – Engine Technical Data*. Bretland.
- Google (2014). *Google Maps – Map data*. Sótt af: <http://maps.google.com>
- Gyða Mjöll Ingólfssdóttir (2013). *Vistferilsgreining fyrir veg – Rannsóknarverkefni Vegagerðarinnar 2012*. EFLA verkfræðistofa.
- Hammervold, Johanne; Reenass, Marte; Brattebø, Helge (2013). Environmental Life Cycle Assessment of Bridges. *Journal of Bridge Engineering*. DOI: 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000328
- Intergovernmental Panel for Climate Change, IPCC [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller] (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge University Press, Cambridge, Bretland & New York, Bandaríkin.
- ÍST EN ISO 14040 (2006). *Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*. ISO 14040: 2006
- ÍST EN ISO 14044 (2006). *Environmental management - Life Cycle Assessment - Requirements and Guidelines*. ISO 14044: 2006
- Joint Research Center of the European Commission – Institute for Environment and Sustainability, JRC-IES (2011). *ILCD Handbook – International Reference Life Cycle Data System. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context*. European Commission, Joint Research Centre – Institute for Environment and Sustainability.
- PRé [Mark Goedkoop, Michiel Oele, An de Schryver, Marisa Vieira] (2008). *SimaPro Database Manual – Methods library*. PRé Consultants.
- Salokangas, Lauri, et.al. (2013). *ETSI Project – Bridge Life Cycle Optimisation – Stage 3*. Aalto University, Finnland.
- Sorpa (2011). *Nýtt hjá SORPU – Vélræn flokkun á málm*. Sótt af: <http://www.sorpa.is/>
- Umhverfis- og auðlindaráðuneytið (2012). *Synjað um undanþágu*. Sótt af <http://www.umhverfisraduneyti.is/frettir/nr/2304>
- Umhverfisstofnun (2013) *Svifryk*. Sótt af: <http://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/svifryk/>
- Umhverfisstofnun (2013). *Starfsleyfi – Urðunarstaður á Stjórnarsandi*. Sótt af: <http://www.ust.is/>
- Vegagerðin (2013a). *Brú á Aurá – 1. hefti: Útboðslýsing*.
- Vegagerðin (2013b). *Brú á Aurá – 3. Hefti: Uppdrættir*.
- Vegagerðin og Gatnamálastofa (2006). *Handbók um Yfirborðsmerkingar. Kafli 6-10*. Sótt af: <http://www.vegagerdin.is/vegakerfid/yfirbordsmerkingar/>

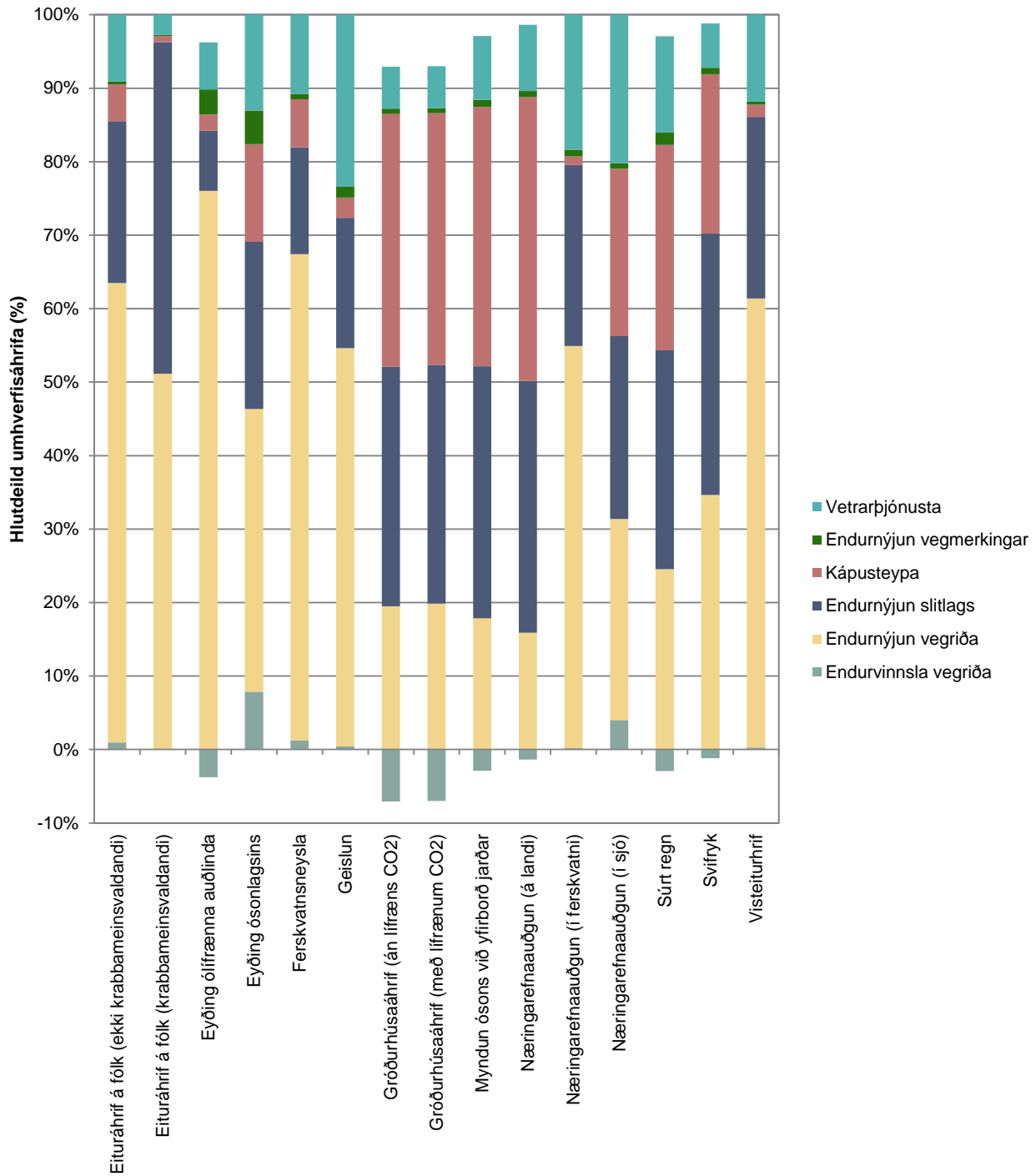
6 Viðauki



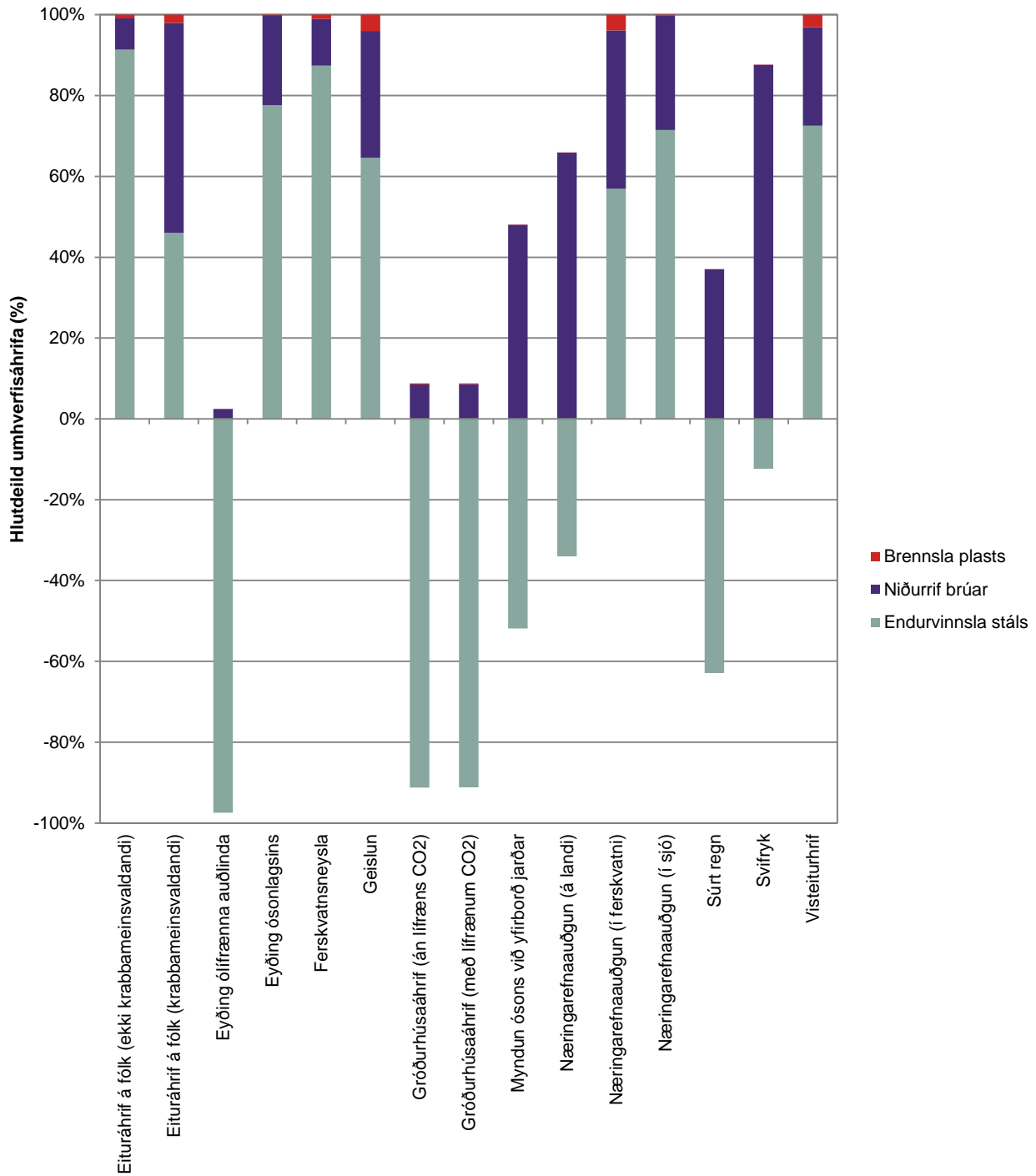
Mynd 6.1. Umhverfisáhrif frá byggingu, viðhaldi, rekstri og förgun brúar. Á myndinni er sýnd hlutdeild hvers þáttar í líftíma brúarinnar fyrir alla þá umhverfisáhrifaflokka sem lagðir eru til í ILCD.



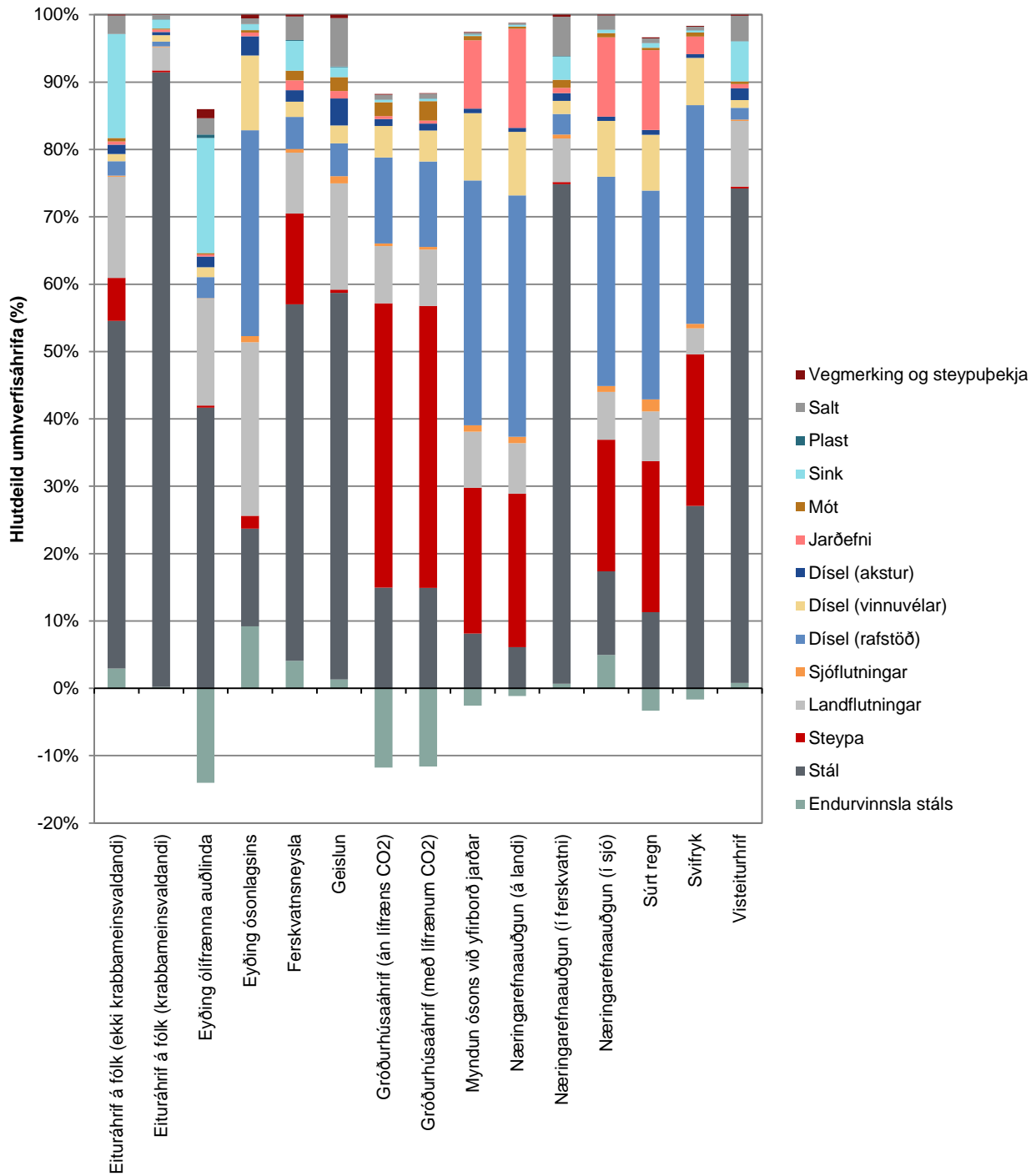
Mynd 6.2. Hlutdeild mismunandi byggingarþátta í umhverfisáhrifum byggingu brúar fyrir alla þá umhverfisáhrifaflokka sem lagðir eru til í ILCD.



Mynd 6.3. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum viðhalds og reksturs brúar fyrir alla þá umhverfisáhrifaflokka sem lagðir eru til í ILCD.



Mynd 6.4. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum förgunar brúar fyrir alla þá umhverfisáhrifaflokka sem lagðir eru til í ILCD.



Mynd 6.5. Hlutdeild mismunandi efna í umhverfisáhrifum byggingu, viðhalds, reksturs og förgunar brúar fyrir alla þá umhverfisáhrifaflokka sem lagðir eru til í ILCD.