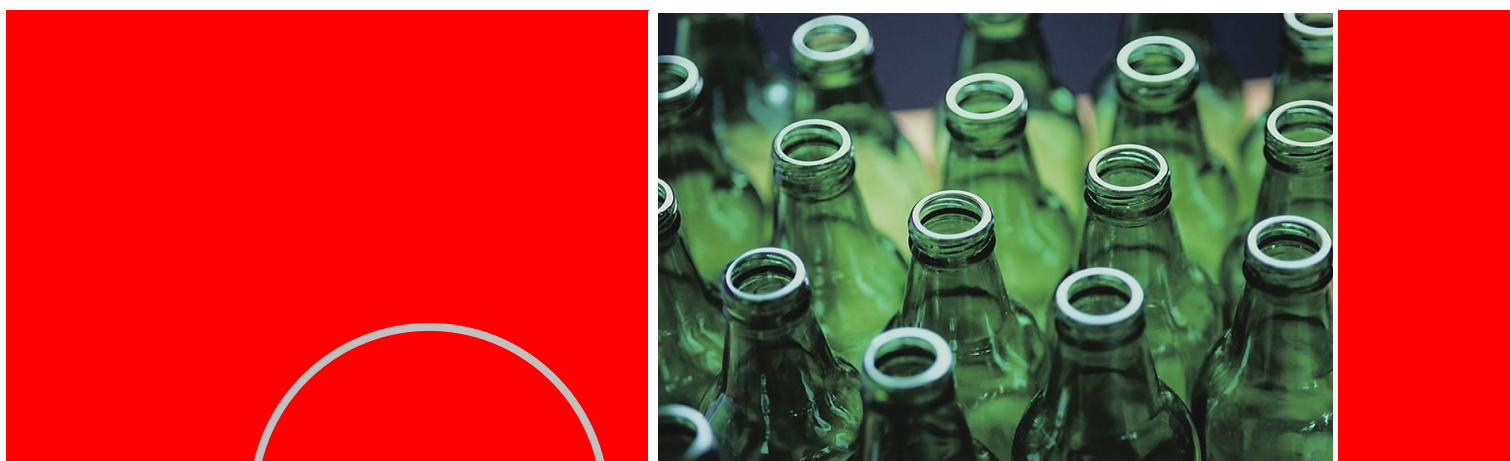


Vistferilsgreining fyrir söfnun og endurvinnslu glers

Október 2014



Úrvinnslusjóður



SKÝRSLA - UPPLÝSINGABLAÐ

Titill skýrslu		Tegund skýrslu	
Vistferilsgreining fyrir söfnun og endurvinnslu glers		Skýrsla	
Verkheiti		Verkkaupi	
Vistferilsgreining fyrir söfnun og endurvinnslu glers		Endurvinnslan hf. og Úrvinnslusjóður	
Verkefnisstjóri - EFLA	Verkefnisstjóri / fulltrúi verkkaupa		
Helga J. Bjarnadóttir	Helgi Lárusson, Endurvinnslan hf. Ólafur Kjartansson, Úrvinnslusjóður		
Höfundar og rýnendur	Skýrslunúmer	Verknúmer	Fjöldi síðna
Sigurður Thorlacius, EFLA Friðrik K. Gunnarsson, EFLA Helga J. Bjarnadóttir, EFLA		5457-001	37
Útdráttur Tilgangur þessa verkefnis er að meta umhverfisáhrif og ávinning af söfnun, útflutningi, flokkun og endurvinnslu umbúðaglers frá Íslandi með aðferðafræði vistferilsgreiningar (e. <i>Life Cycle Assessment, LCA</i>). Tvö tilvik eru skoðuð fyrir flutning glers, gámaflutningar og lausaflutningar. Greiningin er unnin í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga. Niðurstöður greiningarinnar sýna að á heildina litið, þá dregur söfnun, flutningur, flokkun og endurvinnsla glers úr umhverfisáhrifum í öllum umhverfisáhrifaflokkum, bæði fyrir gámaflutninga og lausaflutninga. Ástæðan fyrir því er sú að endurvinnsla á gleri kemur í veg fyrir umhverfisáhrif sem annars myndu verða við öflun og fullvinnslu nýrra hráefna og við bræðslu nýrra hráefna í gler. Ef glerkurl er notað í glerframleiðslu þarf minni orku í bræðslunni heldur en ef ný hráefni væru brædd í gler og sömuleiðis sparast losun koltvísýrings. Flutningar með einkabíl hafa töluverð áhrif en aðrir landflutningar vega hlutfallslega lítið. Ekki var afgerandi munur á flutningi í gámum eða lausaflutningum. Lokaniðurstaðan er því sú að það borgar sig út frá umhverfislegu sjónarhorni að safna, flytja út, flokka og endurvinnna gler frá Íslandi.			
Lykilorð Vistferilsgreining, LCA, gler, söfnun, flutningur, flokkun, endurvinnsla			
Staða skýrslu		Dreifing skýrslu og upplýsingablaðs	
☐ Í vinnslu ☐ Drög til yfirlustrar ☒ Lokið		☐ Opin ☒ Dreifing með leyfi verkkaupa ☐ Trúnaðarmál	



Formáli verkkaupa

Ástæða þess að ákveðið var að fara í gerð greiningar á umhverfisáhrifum af endurvinnslu glers er að í undirbúningi er söfnun og endurvinnsla á öllu gleri vegna ákvæða í Evrópulöggjöf. Nú er eingöngu gleri af drykkjarumbúðum safnað og það að mestu notað í fyllingu á urðunarstöðum.

Í þeim skýrslum sem að til eru um umhverfisáhrif af endurvinnslu ýmissa efnisflokka, hafa niðurstöður bent til þess að endurvinnsla glers sé ekki eins hagkvæm og endurvinnsla á t.d. plasti, pappír, áli og ýmsum málum. Nauðsynlegt þótti því að kanna hvort það væri umhverfislega hagkvæmt að safna gleri á Íslandi og koma því í endurvinnslu.

Greiningin er gerð með aðferðafræði vistferilsgreininga (e. *Life Cycle Assessment*) og var leitast við að einfalda ferla þar sem þeir eru flóknir og breytilegir á milli aðila og landshluta. Markmið greiningarinnar var að fá sem gleggsta mynd af hlutfallslegum umhverfisáhrifum mismunandi ferla sem og samanburði á umhverfisáhrifum söfnunar og vinnslu miðað við ávinningin sem skapast af endurvinnslunni sjálfri. Þannig er skilgreind einfölduð sviðsmynd af heildarferlinu og ákveðnar forsendur skilgreindar um vegalengdir á söfnunarstaði, vinnslustaði og tækjanotkun. Unnið var út frá bestu vitneskju þeirra aðila sem komu að forsendugerð og þess gætt að brjóta upp ferlana, þannig að síðar ef þörf krefði mætti með einföldum hætti laga til forsendur að raunverulegum aðstæðum ef að þær væru ekki í takt við líkanið.

Úrvinnslusjóður og Endurvinnslan vonast til þess að geta notað niðurstöður þessarar greiningar á umhverfisáhrifum ásamt greiningu á kostnaði mismunandi leiða (sem ekki er hluti af þessari skýrslu) til að skilgreina umhverfislega og fjárhagslega bestu leið til að safna og endurvinna gler. Þessi vistferilsgreining mun án efa varpa frekara ljósi á og auka skilning manna á umhverfisáhrifum mismunandi ferla og þátta í heildar söfnunar- og vinnsluferlinu.

Ólafur Kjartansson
Úrvinnslusjóður

Helgi Lárusson
Endurvinnslan hf.

Efnisyfirlit

Formáli verkkaupa	i
Samantekt.....	v
1 Inngangur	1
2 Aðferðafræði vistferilsgreiningar	2
2.1 Umhverfisáhrif	3
3 Vistferilsgreining fyrir söfnun og endurvinnslu glers	5
3.1 Markmið og umfang	5
3.1.1 Markmið	5
3.1.2 Aðgerðareining	5
3.1.3 Kerfismörk	5
3.1.4 Mat á umhverfisáhrifum	6
3.1.5 Uppruni upplýsinga og rýni	6
3.2 Söfnun og úrvinnsla upplýsinga	7
3.2.1 Flæðirit	7
3.2.2 Söfnun á söfnunarstaði	8
3.2.3 Flutningur tilvik 1 - Gámaflutningar	8
3.2.4 Flutningur tilvik 2 – Lausaflutningar	9
3.2.5 Flokkun	10
3.2.6 Endurvinnsla	11
3.3 Mat á umhverfisáhrifum	12
3.3.1 Umhverfisáhrif fyrir heildarferil í öllum umhverfisáhrifaflokkum	12
3.3.2 Helstu umhverfisáhrifaflokkar samkvæmt ReCiPe 1.08	18
3.3.3 Samanburður á umhverfisáhrifum heildarferils fyrir tvo flutningskosti	19
3.3.4 Söfnun	20
3.3.5 Flutningar	21
3.3.6 Flokkun	25
3.3.7 Endurvinnsla	26
3.3.8 Kolefnisspor	27
4 Umræður og lokaorð	29
5 Heimildaskrá	31
6 Viðauki	32

Töfluskrá

Tafla 3.1. Þeir þættir í vistferli glers sem falla innan kerfismarka greiningarinnar.....	6
Tafla 3.2. Söfnun glers í grenndargáma og flutningar.....	8
Tafla 3.3. Bein söfnun glers á söfnunarstaði	8
Tafla 3.4. Flutningar og vélavinna við flutning glers frá söfnunarstöðum til hafna	8
Tafla 3.5. Flutningar og vélatímar við sjóflutninga á gleri með gámaskipi	9
Tafla 3.6. Flutningar og vélatímar við flutning glers í verksmiðju.	9
Tafla 3.7. Flutningar og vélavinna við flutning glers frá söfnunarstöðum til Helguvíkur	9
Tafla 3.8. Flutningar og vélatímar við sjóflutninga glers með lausaflutningaskipi	10
Tafla 3.9. Flutningar og vélatímar við flutning glers erlendis.....	10
Tafla 3.10. Helstu þættir í hreinsun og flokkun glers.....	10
Tafla 3.11. Hagnaður af notkun glerkurls í glerframleiðslu.....	11
Tafla 3.12. Efnaformúlur hráefna sem þarf til að búa til nýtt gler.....	11
Tafla 3.13. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af heildarferil	17
Tafla 3.14: Skýring á þáttum í mynd 3.9.	20
Tafla 3.15. Skýring á þáttum í mynd 3.10.	21
Tafla 3.16: Skýring á þáttum í mynd 3.11.	22
Tafla 3.17: Skýring á þáttum í mynd 3.16.	25
Tafla 3.18: Skýring á þáttum í mynd 3.17.	26

Myndaskrá

Mynd 2.1. Fjórir þættir vistferilsgreiningar samkvæmt ISO stöðlunum ISO 14040 og ISO 14044. ...	2
Mynd 3.1. Helstu þættir í vistferli glers.	5
Mynd 3.2. Flæðirit sem sýnir helstu þætti í söfnun, flutningi og endurvinnslu glers.....	7
Mynd 3.3. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum fyrir gámaflutninga.	13
Mynd 3.4. Heildarumhverfisáhrif (nettó áhrif) fyrir gámaflutninga.....	14
Mynd 3.5. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum fyrir lausaflutninga.....	15
Mynd 3.6. Heildarumhverfisáhrif (nettó áhrif) fyrir lausaflutninga.....	16
Mynd 3.7. Hlutdeild mismunandi flokka umhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni.	18
Mynd 3.8. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum í heildarferil	19
Mynd 3.9. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum söfnunar glers á söfnunarstaði.	20
Mynd 3.10. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af gámaflutningum glers.....	21
Mynd 3.11. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af lausaflutningum glers	22
Mynd 3.12. Umhverfisáhrif af gámaflutningum og lausaflutningum borin saman	23
Mynd 3.13. Samanburður á gróðurhúsaáhrifum fyrir tvö tilvik af flutningi.....	23
Mynd 3.14. Samanburður á áhrifum í flokknum eyðing auðlinda fyrir tvö tilvik af flutningi.....	24
Mynd 3.15. Samanburður á áhrifum í flokknum svifryk fyrir tvö tilvik af flutningi	24
Mynd 3.16. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af hreinsun og flokkun glers.	25
Mynd 3.17. Hlutdeild mismunandi þátta í hagnaði af endurvinnslu glers.	26
Mynd 3.18. Kolefnisspor heildarferils fyrir gámaflutninga.....	27
Mynd 3.19. Kolefnisspor heildarferils fyrir lausaflutninga.....	28
Mynd 6.1. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum söfnunar glers	33
Mynd 6.2. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af gámaflutningum glers.....	34
Mynd 6.3. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af lausaflutningum glers	35
Mynd 6.4. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af hreinsun og flokkun glers	36
Mynd 6.5. Hlutdeild mismunandi þátta í hagnaði af endurvinnslu glers	37

Samantekt

Markmið þessa verkefnis er að meta umhverfisáhrif og ávinning af söfnun, útflutningi, flokkun og endurvinnslu umbúðaglers frá Íslandi með aðferðafræði vistferilsgreiningar (e. *Life Cycle Assessment, LCA*). Vistferilsgreiningin varpar þannig ljósi á það hvort umhverfislegur ávinningur sé af því að flytja gler út frá Íslandi til endurvinnslu. Tvö tilvik voru skoðuð fyrir flutning glers, annars vegar flutningur í gámum og með gámaskipi og hins vegar flutningur með malarvagni og lausaflutningaskipi (e. *bulk carrier*). Greiningin er unnin í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga. Í mati á umhverfisáhrifum var farið eftir tilmælum sem sameiginleg rannsóknarmiðstöð Evrópu um vistferilsgreiningar setur fram í ILCD handbókinni (e. *International Reference Life Cycle Data System*) að undanskyldu því að notuð var ReCiPe 1.08 aðferðin til að gefa hugmynd um hvaða flokkar umhverfisáhrifa vega mest umhverfislega miðað við umhverfisáhrif meðal Evrópubúa.

Meginniðurstaða þessarar greiningar er sú að það er umhverfislega hagkvæmt fyrir alla flokka umhverfisáhrifa að safna umbúðagleri og flytja erlendis til endurvinnslu í nýjar glerumbúðir, bæði fyrir gámaflutninga og fyrir lausaflutninga. Ástæðan fyrir því er sú að endurvinnsla á gleri kemur í veg fyrir umhverfisáhrif sem annars myndu verða við öflun og fullvinnslu nýrra hráefna og við bræðslu nýrra hráefna í gler. Ef glerkurl er notað í glerframleiðslu þarf minni orku í bræðslunni heldur en ef ný hráefni væru brædd í gler og sömuleiðis sparast losun koltvísýrings. Sparnaðurinn sem verður af endurvinnslunni er meiri en samanlögð umhverfisáhrif hinna þáttanna (söfnun, flutningur og flokkun).

Greiningin leiddi einnig í ljós að söfnun glers með einkabíl í grenndargáma eða beint á söfnunarstaði hefur talsverð áhrif. Landflutningar aðrir en flutningar með einkabíl vega hlutfallslega lítið í þeim þremur flokkum umhverfisáhrifa sem voru teknir sérstaklega fyrir. Ekki var afgerandi munur á flutningi í gámum eða lausaflutningum.

Niðurstaða þessarar greiningar er því sú að söfnun, útflutningur, flokkun og endurvinnsla glers frá Íslandi borgar sig út frá umhverfislegu sjónarmiði fyrir alla umhverfisáhrifaflokka sem skoðaðir voru

1 Inngangur

Magn glers á markaði í dag er áætlað í vinnslu þessarar vistferilsgreiningar 12.400 tonn. Þar af eru 6.500 tonn skilgjaldsskylt gler og er skilahlutfallið 84%. Gler sem slíkt er 100% endurvinnanlegt en eins og stendur þá er gler sem safnast á Íslandi ekki endurunnið í nýtt gler. Upp hefur komið sú spurning hvort það borgi sig, umhverfislega séð, að flytja glerið út til flokkunar og endurvinnslu erlendis.

Þetta verkefni hefur þann tilgang að meta umhverfisáhrif og umhverfislegan ávinning af söfnun, útflutningi, flokkun og endurvinnslu glers. Í verkefninu verða bornir saman tveir valkostir við flutning glersins, þ.e. gámaflutningar og lausaflutningar. Verkefnið er unnið fyrir Endurvinnsluna hf. og Úrvinnslusjóð og er markmið þessað meta hvort það sé umhverfislegur ávinningur af útflutningi glers til endurvinnslu. 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.

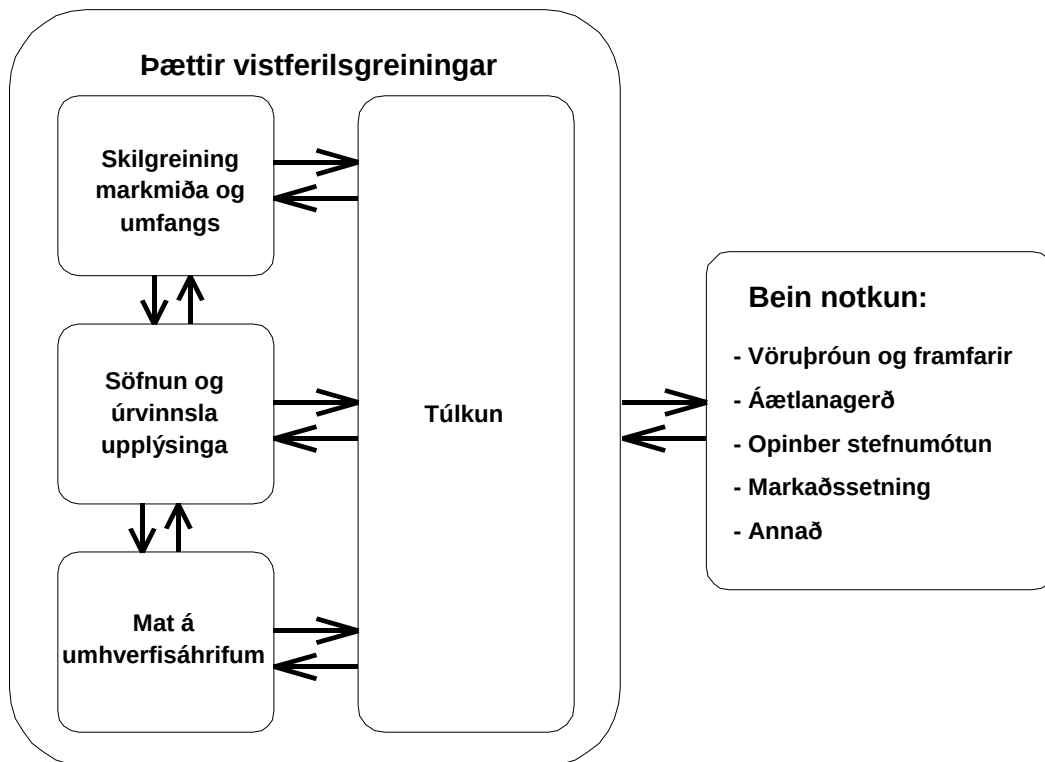
Fyrir liggja tilboðsgögn frá Endurvinnslunni hf. um tvo valkosti til greiningar, gámaflutninga og lausaflutninga. Við gerð greiningarinnar voru gerðar einfaldanir á breytilegum söfnunar- og flutningsferlum. Í forsendum greiningarinnar er einnig gert ráð fyrir að glerið sé flutt til Danmerkur til endurvinnslu.

2 Aðferðafræði vistferilsgreiningar

Vistferilsgreining er aðferðafræði sem notuð er til að meta umhverfisáhrif vöru (hér er einnig átt við þjónustu), yfirleitt 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. Sumar vistferilsgreiningar líta þó aðeins á hluta vistferilsins

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 eða þjónustu. Dæmi um aðgerðareiningu er t.d. 1 kg af stáli, 1 km af vegi eða hér 1 tonn af söfnuðum glerúrgangi.

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.

Upplýsingar úr öðrum þætti (Söfnun og úrvinnsla upplýsinga) eru 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 niðurstöðurnar staðlaðar (e. *Normalization*) og vigtaðar (e. *Weighing*). Stöðlun fer þannig fram að deilt er með viðmiðunargildi fyrir niðurstöðurnar í hverjum flokki, til dæmis með árlegum meðalumhverfisáhrifum sem Evrópubúi veldur. Vigtun er framkvæmd svo hægt sé að bera mismunandi flokka saman og er þá hverjum flokki gefið vægi. Stöðlun og vigtun er síður gerð í vistferilsgreiningum í dag og hér verða því niðurstöður almennt ekki staðlaðar og vigtaðar.

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
- Svífryk
- Myndunar ósons við yfirborð jarðar
- Súrtr 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. Búið 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). Gerður er greinamunur á milli GHG af lífrænum uppruna og GHG frá brennslu jarðefnaeldsneytis. Dæmi um GHG af lífrænum uppruna er koltvísýringur frá brennslu timburs og þar sem að skógurinn batt CO₂ þegar hann óx eru gróðurhúsaáhrifin minni heldur en fyrir jarðefnaeldsneyti (US-EPA, 2011). Brennsla jarðefnaeldsneytis er bein aukning á CO₂ í andrúmslofti og það eykur því kolefni í hringrás ofan jarðar. Þótt jarðefnaeldsneyti sé tæknilega séð komið af plöntum sem voru uppi fyrir mörgum milljónum ára þá er í vistferilsgreiningum miðað við að það sé ekki af lífrænum uppruna.

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 fínir agnir eru hættulegri því þá eiga þær greiðari 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. Agnir þurfa að vera minni en 10 μm í þvermál (PM_{10}) til að komast niður í lungu og agnir minni en 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) komast enn dýpra (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 lofthjúpi 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 náttúrulegur 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 eituruhrifum. 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).

Geislun; 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 söfnun og endurvinnslu glers

3.1 Markmið og umfang

3.1.1 Markmið

Markmið verkefnisins er að meta umhverfisáhrif af söfnun, flutningi og endurvinnslu glers og ávinning af endurvinnslunni. Í verkefninu verða bornir saman tveir valkostir við flutning glersins, gámaflutningar og lausaflutningar. Vistferilsgreiningin er unnin í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga. Fyrirhuguð notkun greiningarinnar er að gera Endurvinnslunni hf. og Úrvinnslusjóði kleift að meta hvort það sé umhverfislegur ávinningur af því að flytja út gler frá Íslandi til endurvinnslu.

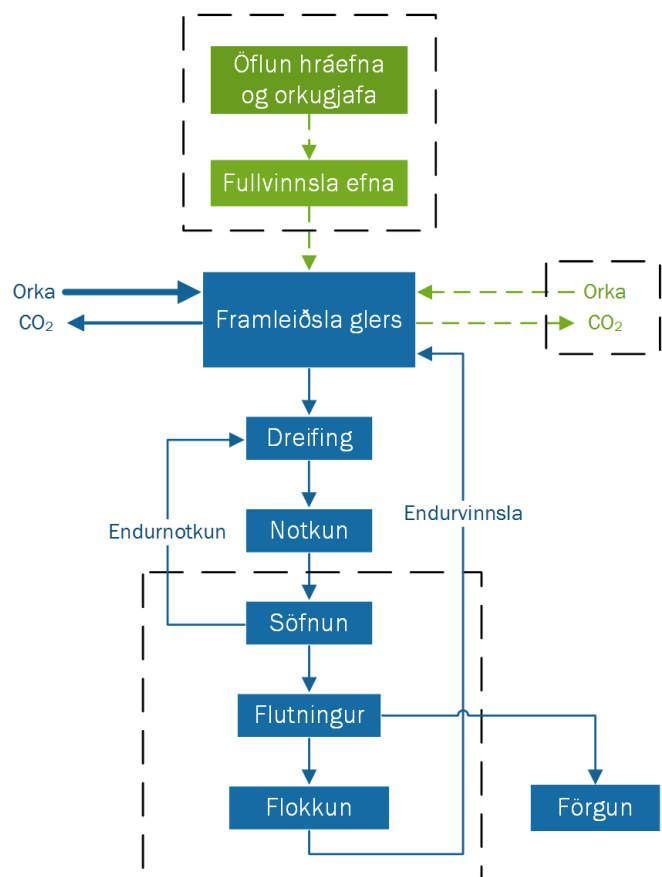
3.1.2 Aðgerðareining

Aðgerðareining (*e. functional unit*) vistferilsgreiningarinnar er 1 tonn af söfnuðu gleri.

3.1.3 Kerfismörk

Kerfismörk greiningarinnar ná aðeins yfir seinni hluta vistferils glers, það er söfnun, flutninga (flutninga innanlands, sjóflutninga til Evrópu og flutninga erlendis til flokkunarstöðvar), flokkun (hreinsun og litgreiningu) og endurvinnslu glersins. Vistferilsgreiningin felur einnig í sér framleiðslu þeirra hráefna og orkugjafa sem þarf fyrir þessa þætti vistferilsins. Í greiningunni eru tekin með áhrif flokkunarstöðvar erlendis en ekki áhrif mannvirkja á söfnunarstöðum á Íslandi, enda er ekki um stór mannvirki að ræða. Utan kerfismarka falla flutningar hráefnis til glerverksmiðju og flutningar glerkurls á milli flokkunarstöðvar og glerverksmiðju. Framleiðsla flutningatækja, samgöngukerfis og annarra tækja falla líka utan greiningarinnar.

Ávinningur af því að endurvinna gler felst í því að ekki þarf að framleiða sambærilegt gler úr nýjum hráefnum (SiO_2 sandi, Na_2CO_3 sóða o.fl.) og einnig verður sparnaður við framleiðslu glersins. Minni orku þarf til að bræða kurlað gler (endurnýtt gler) en þarf til að bræða ný hráefni og einnig verður minni losun á koltvísýringi, en við bræðslu hráefna við framleiðslu á nýju gleri losnar koltvísýringur við efnahvörf sem að gerist ekki þegar gler er endurunnið. Hagnaður af endurvinnslunni er þá reiknaður þannig að umhverfisáhrif öflunar og fullvinnslu hráefna eru dregin frá sem og áhrif af framleiðslu orkunnar og losunar koltvísýrings sem sparast.



Mynd 3.1. Helstu þættir í vistferli glers. Kerfismörk greiningarinnar eru sýnd með svartri punktalínu. Hagnaður endurvinnslu er reiknaður út frá þeim þáttum sem er sleppt ef gler er endurunnið, sýndir í grænum lit. Hagnaðurinn er metinn út frá því að endurunnið gler kemur í staðinn fyrir gler sem væri annars framleitt úr hráefnum og orka og koltvísýringslosun sparast í framleiðslunni.

Gler er ekki urðað sem slíkt á Íslandi í dag en það hefur verið notað sem fyllingarefni á urðunarstað. Það væri hægt að líta á það sem svo að glerið komi í staðinn fyrir mól sem annars þyrfti á urðunarstað en það er spurning hvort ekki sé mól nú þegar til staðar frá byggingu urðunarstaðarins. Þá þyrfti líka að reikna með flutning glersins á urðunarstað. Til einföldunar þá eru umhverfisáhrifin eða ávinningur af núverandi notkun glers ekki tekin með í greininguna.

Stærstur hluti af öflun efna og orkugjafa fer fram á heimsvísu en söfnunin og hluti flutningsins fer fram á Íslandi. Á mynd 3.1 má sjá helstu þættina í vistferli glers og kerfismörk greiningarinnar. Í töflu 3.1 eru nánari upplýsingar um þá þætti sem falla innan kerfismarka greiningarinnar.

Tafla 3.1. Þeir þættir í vistferli glers sem falla innan kerfismarka greiningarinnar.

Skref í vistferlinum	Lýsing
Söfnun	Söfnun skilagjaldsskyldra umbúða á söfnunarstaði. Öðrum glerumbúðum er safnað í grenndargáma og þeir síðan tæmdir í vörubíl sem flytur glerumbúðirnar á söfnunarstaði, þá sömu og fyrir skilagjaldsskyldar umbúðir.
Flutningur	Flutningur glers frá söfnunarstöðum til endurvinnslu erlendis. Samanstendur af flutningum innanlands, sjóflutningum og flutningum til flokkunarstöðvar erlendis. Ekki eru teknir með flutningar glerkurlins frá flokkunarstöð til bræðslu í nálægri (10km) glerverksmiðju. Það er gert til að gæta samræmis við það að flutningar hráefna frá fullvinnslu til glerverksmiðju eru ekki teknir með.
Flokkun	Hreinsun og litaflokkun í flokkunarstöð í Danmörku.
Endurvinnsla	Endurvinnsla í glerverksmiðju nálægt flokkunarstöð. Hér er tekinn inn hagnaðurinn af því að ekki þarf að afla og fullvinna nýtt hráefni í glerið. Einnig er tekinn inn hagnaðurinn af orkusparnaði og sparnaði á losun koltvísýrings með því að nota glerkurl í staðinn fyrir hráefni. Ekki er tekinn með hagnaðurinn af flutningum hráefna til glerverksmiðjunnar sem sparast.

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 handbókinni (e. *International Reference Life Cycle Data System*) (JRC-IES, 2011). Aðferðin lýsir hvernig megi framkvæma fyrstu skrefin í mati á umhverfisáhrifum, (e. *Classification, Characterization*) en tekur ekki á seinni skrefunum, stöðlun (e. *Normalization*) og vigtun (e. *Weighing*). Hér er ILCD handbókinni fylgt en til að fá hugmynd um hvaða flokkar hafa mesta vægið umhverfislega þarf á stöðlun og vigtun að halda og til þess var ReCiPe 1.08 aðferðin valin. Niðurstöður eru birtar í öllum flokkum ILCD en síðan er sérstaklega dregin fram sundurliðun fyrir þá flokka sem hafa mesta vægið út frá ReCiPe aðferðinni.

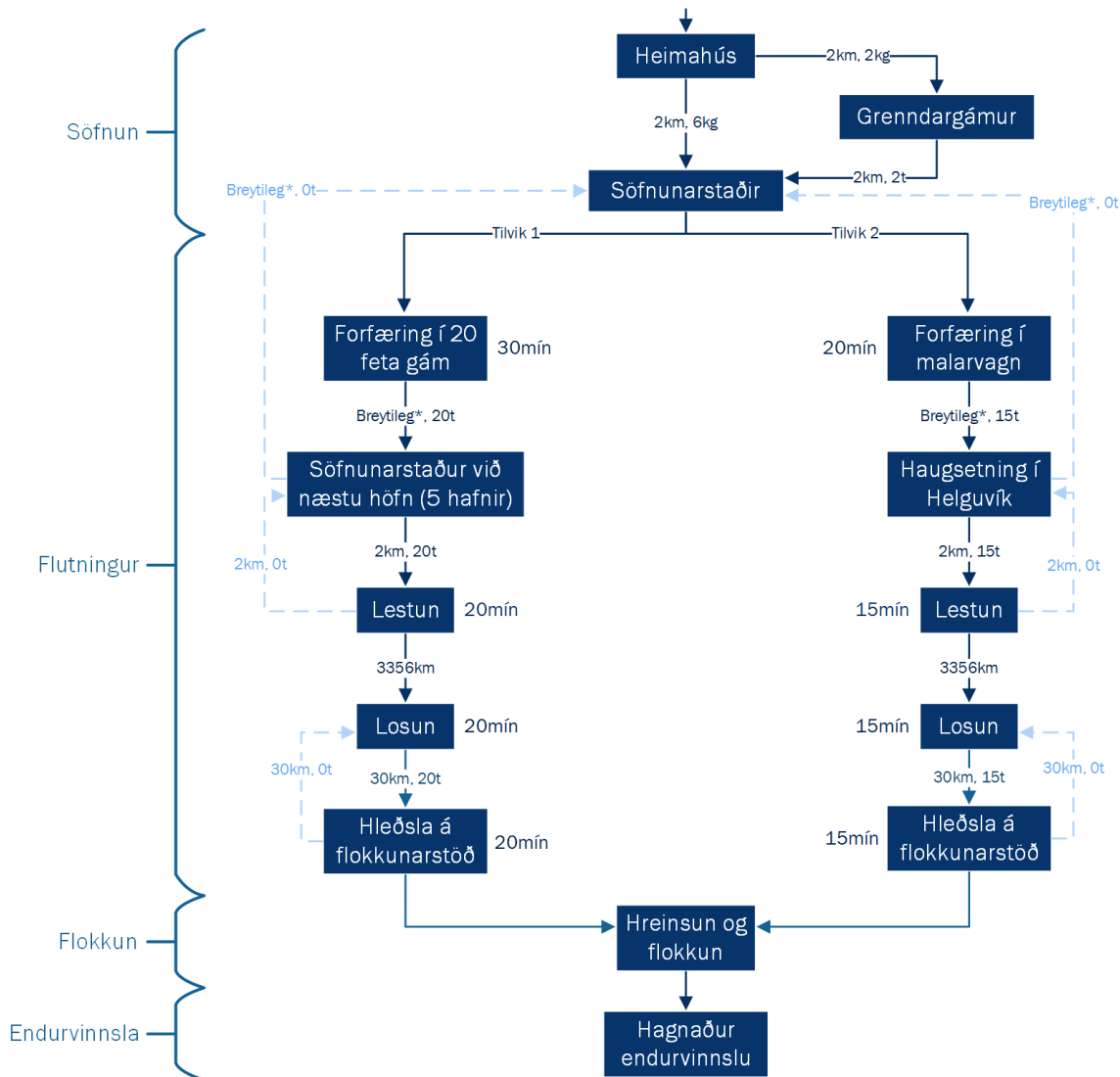
3.1.5 Uppruni upplýsinga og rýni

Upplýsingar um söfnun glers og flutning erlendis voru að mestu fengnar úr tilboðsgögnum verksins sem kemur frá Endurvinnslunni hf. og Úrvinnslusjóði (Endurvinnslan & Úrvinnslusjóður, 2014). Upplýsingar um umhverfisáhrif flutningstækja og annara tækja koma úr sérhæfðum gagnagrunnum fyrir vistferilsgreiningar, Professional Database frá PE International og Ecoinvent gagnagrunnurinn frá Ecoinvent Association. Hugbúnaðurinn GaBi 6 var notaður við gerð vistferilsgreiningarinnar. Nánari upplýsingar um uppruna gagna má sjá í töflum í kafla 3.2. Samkvæmt aðferðafræði ISO 14040 og 14044 þá skal rýna vistferilsgreininguna og var það gert af sérfræðingum EFLU.

3.2 Söfnun og úrvinnsla upplýsinga

3.2.1 Flæðirit

Í þessari greiningu er áætlað að á Íslandi í dag séu um 12.400 tonn af umbúðagleri á markaði. Það skiptist í 6.500 tonn af skilagjaldsskyldu gleri (glerflöskur) og 4-6 þús. tonn af öðrum glerumbúðum (glerkrukkur o.þ.h.). Í greiningunni er gert ráð fyrir að öllu gleri verði safnað nákvæmni þessarar heildartölu hefur ekki áhrif á niðurstöðu greiningarinnar. Skilagjaldsskyldu gleri er safnað beint á 56 söfnunarstaði en öðru gleri er safnað í grenndargáma og þeir síðan tæmdir í vörubíl sem flytur glerið á þessa sömu söfnunarstaði. Síðan er glerið flutt til Danmerkur og eru þar skoðuð tvö tilvik, annars vegar flutningur með gámaskipi frá stærstu höfnum landsins (í Reykjavík og Vestmannaeyjum, á Ísafirði, Akureyri og Reyðarfirði) og hins vegar haugsetning á Reykjanesi og lausaflutningur (e. *bulk transport*) frá Helguvík með skipi. Í Danmörku er glerið flutt í flokkunarstöð þar sem það er hreinsað og flokkað. Að lokum er tekinn inn hagnaðurinn af því að nota glerkurlið í glerframleiðslu í nálægri glerverksmiðju. Flæðirit fyrir söfnun, flutninga, flokkun og endurvinnslu glersins má sjá á mynd 3.2.



Mynd 3.2. Flæðirit sem sýnir helstu þætti í söfnun, flutningi og endurvinnslu glers. Flutningi glers er skipt í tvö tilvik, gámaflutninga (tilvik 1) og lausaflutninga (tilvik 2). Tölur í örvum tilgreina flutningsvegalengd og þyngd flutt í hverri ferð. Þar sem ferli krefst vélavinnu er hún sýnd í mínútum til hliðar við ferlið. Brotalínur tákna flutning tóms farartækis til baka. *Breytileg vegalengd eftir staðsetningu söfnunarstaðs.

3.2.2 Söfnun á söfnunarstaði

Grenndargámar

Í töflu 3.2 má sjá flutninga glers með einkabíl í grenndargám og flutning efnisins með vörubíl frá grenndargáminum til söfnunarstaðar. Ekki er reiknað með ferð til baka fyrir einkabíl eða vörubíl sem flytur efnið úr grenndargáminum. Miðað var við meðal einkabíl sem gengur fyrir bensíni og er í losunarflokki EURO4. Í töflum í kafla 3.2 eru magn gefið á hvert tonn af söfnuðu gleri.

Tafla 3.2. Söfnun glers í grenndargáma og flutningar. *Magn er gefið á hvert tonn af söfnuðu gleri.

Dáttur	Magn/t*	Athugasemd	Uppruni gagna
Magn safnað í grenndargáma	0,474 t	47,4% af umbúðagleri safnast í grenndargáma.	Upplýsingar frá verkkaupa
Vegalengd farin á einkabíl	1.184 km	Reiknað m.v. 2 km ferð með 2 kg í einu.	
Flutningur með vörubíl	1,18 km	Reiknað m.v. 2 km ferð með 2 t í einu.	

Skilagjaldsskyld söfnun

Í töflu 3.3 eru sýndir flutningar skilagjaldsskylds glers með einkabíl beint á söfnunarstaði. Ekki er reiknað með ferð til baka.

Tafla 3.3. Bein söfnun glers á söfnunarstaði fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Dáttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Magn skilagjaldsskyld	0,526 t	52,6% af umbúðagleri sem safnast er skilagjaldsskyld.	Upplýsingar frá verkkaupa
Vegalengd farin á einkabíl	439 km	Reiknað m.v. 2 km ferð með 6 kg í einu.	

3.2.3 Flutningur tilvik 1 - Gámaflutningar

Flutningur að höfn

Í töflu 3.4 er sýnd vélavinna við forfæringu glersins í gáma og flutning þeirra. Fyrst eru gámarnir fluttir frá stærri söfnunarstöðum (hér staðir þar sem meira en 20 t safnast á ári) og minni söfnunarstöðum (minna en 20 t á ári) til þeirra söfnunarstaða sem eru við höfn. Í öllum tilvikum er miðað við að gámar taki nákvæmlega 20 t af gleri. Við lestun eru gámarnir fluttir um 2 km í skip. Ferðin til baka er tekin með í reikninginn fyrir þessa flutninga. Til einföldunar er miðað við sömu vél fyrir alla vélavinnu og er hér miðað við gröfu með 1,1 m³ skóflu úr gagnagrunni PE International.

Tafla 3.4. Flutningar og vélavinna við flutning glers frá söfnunarstöðum til hafna fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri. *Hafnirnar eru í Reykjavík og Vestmannaeyjum, á Ísafirði, Akureyri og Reyðarfirði.

Dáttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Vélatími við forfæringu í 20 feta gáma	1,5 mín	Reiknað m.v. 30 mín vélatíma á hvern 20 t gám.	Upplýsingar frá verkkaupa
Magn flutt frá stærri stöðum	0,247 t	Stærri staðir eru söfnunarstaðir þar sem meira en 20 t safnast á ári.	
Magn flutt frá minni stöðum	0,011 t	Minni staðir eru söfnunarstaðir þar sem minna en 20 t safnast á ári.	
Flutningur frá stærri stöðum til staða við hafnir	0,98 km	Flutningur til söfnunarstaða nálægt höfn*. Reiknað m.v. meðalvegalengd ferðar 79 km með 20 t í einu.	
Flutningur frá minni stöðum til staða við hafnir	0,07 km	Flutningur til söfnunarstaða nálægt höfn*. Reiknað m.v. meðalvegalengd ferðar 136 km með 20 t í einu.	
Flutningur frá stöðum við hafnir niður að höfn	0,10 km	Reiknað m.v. 2 km ferð með 20 t í einu.	

Sjóflutningar

Glerið er lestað í gámaskip sem tekur 27.500 t hámarksfarm og nýtir að meðaltali 48% farangursrýmisins. Ekki er reiknað með sér ferð til baka. Í töflu 3.5 er sýndur vélátími við lestun í gámaskip, flutningur gámsins til hafnar í Danmörku og vélátími við losun þar.

Tafla 3.5. Flutningar og vélátímar við sjóflutninga á gleri með gámaskipi fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Páttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Vélátími við lestun	1 mín	Miðað við 1 mín vélátíma á hvert t af gleri.	Upplýsingar frá verkkaupa
Magn flutt með skipi	1 t		
Flutningur með skipi	0,25 km	Miðað er við 3365 km eina ferð, 48% meðalnýtingu á skipi og 27.500 t hámarksfarm. Ekki er reiknað með sér ferð til baka.	Upplýsingar frá verkkaupa og EFLU
Vélátími við losun	1 mín	Miðað við 1 mín vélátíma á hvert t af gleri.	Upplýsingar frá verkkaupa

Flutningur á flokkunarstöð

Tafla 3.6 sýnir flutning gámsins að flokkunarstöð og vélátíma við hleðslu glersins inn á flokkunarstöðina. Ferð vörubíls til baka er tekin með í reikninginn.

Tafla 3.6. Flutningar og vélátímar við flutning glers í verksmiðju fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Páttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Flutningur að flokkunarstöð	1,5 km	Reiknað m.v. 30 km ferð með 20 t í einu.	Upplýsingar frá verkkaupa
Vélátími við hleðslu á flokkunarstöð	1 mín	Miðað við 1 mín vélátíma á hvert t af gleri.	

3.2.4 Flutningur tilvik 2 – Lausaflutningar

Flutningur að höfn

Í töflu 3.7 er sýnd vélavinna við forfæringu glersins á malarvagn og flutning með honum. Einn malarvagn tekur 15 t á f gleri. Fyrst flytur vagninn glerið frá stærri söfnunarstöðum (hér staðir þar sem meira en 15 t safnast á ári) og minni söfnunarstöðum (minna en 15 t á ári) á söfnunarstað á Reykjanesi. Síðan er efnið flutt niður að höfninni í Helguvík. Ferðin til baka er tekin með í reikninginn fyrir þessa flutninga.

Tafla 3.7. Flutningar og vélavinna við flutning glers frá söfnunarstöðum til Helguvíkur fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Páttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Vélátími við forfæringu á malarvagn	1,33 mín	Reiknað m.v. 20 mín vélátíma á hvern 15 t malarvagn.	Upplýsingar frá verkkaupa
Magn flutt frá stærri stöðum	0,961 t	Stærri staðir eru hér söfnunarstaðir þar sem meira en 15 t safnast á ári.	
Magn flutt frá minni stöðum	0,007 t	Minni staðir eru hér söfnunarstaðir þar sem minna en 15 t safnast á ári.	
Flutningur frá stærri stöðum til söfnunarstaðs á Reykjanesi	9,00 km	Flutningur til söfnunarstaðs á Reykjanesi. Reiknað m.v. meðalvegalengd ferðar 141 km með 15 t í einu.	
Flutningur frá minni stöðum til söfnunarstaðs á Reykjanesi	0,20 km	Flutningur til söfnunarstaðs á Reykjanesi. Reiknað m.v. meðalvegalengd ferðar 455 km með 15 t í einu.	
Flutningur niður að höfn í Helguvík.	0,13 km	Reiknað m.v. 2 km ferð með 15 t í einu.	

Sjóflutningar

Glerið er lestað í lausaflutningaskip sem tekur 2.500 t í hverri ferð og er flutt þaðan til Danmerkur. Miðað við að skipið sé notað sérstaklega í að flytja glerið og því sé farangursrýmið fullnýtt. Ekki er reiknað með ferð til baka. Í töflu 3.8 er sýndur vélatími við lestun í lausaflutningaskip, sjóflutningur til hafnar í Danmörku og vélatími við losun þar.

Tafla 3.8. Flutningar og vélatímar við sjóflutninga glers með lausaflutningaskipi fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Páttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Vélatími við lestun	1 mín	Miðað við 1 mín vélatíma á hvert t af gleri.	Upplýsingar frá verkkaupa
Magn flutt með skipi	1 t		
Flutningur með skipi	1,34 km	Reiknað m.v. 3365 km ferð með 2500 t í senn. Ekki er reiknað með ferð til baka.	
Vélatími við losun	1 mín	Miðað við 1 mín vélatíma á hvert tonn af gleri.	

Flutningur á flokkunarstöð

Tafla 3.9 sýnir flutning glersins með malavagni að flokkunarstöð og vélatíma við hleðslu glersins inn á flokkunarstöðina. Ferð vörubíls til baka er tekin með í reikninginn.

Tafla 3.9. Flutningar og vélatímar við flutning glers erlendis fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Páttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Flutningur að flokkunarstöð	2 km	Reiknað m.v. 30 km ferð með 15 t í einu.	Upplýsingar frá verkkaupa
Vélatími við hleðslu á flokkunarstöð	1 mín	Miðað við 1 mín vélatíma á hvert t af gleri.	

3.2.5 Flokkun

Í töflu 3.10 má sjá helstu tölur í flokkun og hreinsun glersins. Þau gögn koma úr Ecoinvent gagnagrunninum. Óflokkað glerkurl kemur inn á flokkunarstöð í Danmörku þar sem ál, pappír, plast og annað er hreinsað frá. Síðan er glerkurlið flokkað eftir lit.

Tafla 3.10. Helstu þættir í hreinsun og flokkun glers fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Páttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Glerkurl fyrir flokkun	1 t	Glerkurl með töppum o.þ.h.	Ecoinvent gagnagrunnurinn
Glerkurl eftir flokkun	0,926 t	Glerkurl flokkað eftir litum.	
Rafmagnsnotkun	12,5 MJ	Rafmagn fyrir flokkun glersins.	
Vatnsnotkun	0,233 t	Vatnsnotkun í ferlinu.	
Gler til urðunar	0,051 t	Töp á glerkurli í ferlinu.	
Ál til urðunar	0,005 t	Áltappar, merkimiðar o.þ.h. sem fylgir glerkurlinu er flokkað frá og fargað.	
Annað sorp til urðunar	0,004 t		
Plast til brennslu	0,004 t		
Pappír til brennslu	0,004 t		
Annað sorp til brennslu	0,001 t		

3.2.6 Endurvinnsla

Í töflu 3.11 má sjá hagnaðinn af því að endurvinnna glerið. Athugið að eins og í fyrri töflum þá eru gögnin sýnd fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri en ekki fyrir hvert tonn af gleri sem berst til endurvinnslu. Þessar tölur eru reiknaðar út af EFLU og byggja þeir reikningar á gögnum úr nýlegri skýrslu frá Evrópusambandinu (JRC, 2013). Gert er ráð fyrir því að það gler sem berst til endurvinnslu (eftir töp í flokkun) sé 100% endurvinnanlegt, þ.e.a.s. úr 1 t af glerkurli eftir flokkun sé hægt að bræða 1 t af nýju gleri (FEVE, e.d.). Í töflu 3.12 er sýndar efnaformúlur hráefnanna sem glerkurlið kemur í staðinn fyrir í glerframleiðslunni og hlutföll þeirra í framleiðslu glers. Hlutföllin eru reiknuð út frá efnasamsetningu glers (hér e. *soda-lime glass*) og innihaldsefnum sem koma fram í JRC (2013).

Tafla 3.11. Hagnaður af notkun glerkurls í glerframleiðslu fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.

Þáttur	Magn/t	Athugasemd	Uppruni gagna
Glerkurl til endurvinnslu	0,926 t	Fyrir hvert tonn af gleri sem safnast berst 0,926 t til endurvinnslu (vegna tapa í flokkun).	Ecoinvent gagnagrunnurinn
Sparað rafmagn	-0,17 MJ	Rafmagn sem sparast á því að nota glerkurl í staðinn fyrir hráefni í framleiðslu glers. Fyrir hvert tonn af gleri sem berst til endurvinnslu sparast 0,18 MJ, en 0,17 MJ fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.	JRC (2013), EFLA
Spöruð olía til hitunar	-0,34 MJ	Varmaorka frá brennslu olíu sem sparast á því að nota glerkurl í staðinn fyrir hráefni í framleiðslu glers. Fyrir hvert tonn af gleri sem berst til endurvinnslu sparast 0,37 MJ, en 0,34 MJ fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.	
Sparað jarðgas til hitunar	-0,62 MJ	Varmaorka frá brennslu jarðgass sem sparast á því að nota glerkurl í staðinn fyrir hráefni í glerframleiðslu. Fyrir hvert tonn af gleri sem fer í endurvinnslu sparast 0,67 MJ, en 0,62 MJ fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.	
Sparað hráefni	-1,10 t	Hráefni sem glerkurl kemur í staðinn fyrir í framleiðslu glers. Fyrir hvert tonn af gleri sem fer í endurvinnslu sparast 1,19 t af hráefni, en 1,10 t fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.	
Spöruð koltvísýringslosun	-0,17 t	Koltvísýringslosun sem sparast á því að nota glerkurl í staðinn fyrir ný hráefni í framleiðslu glers. Á hvert tonn af gleri sem berst til endurvinnslu sparast 0,19 t af CO ₂ , en 0,17 t fyrir hvert tonn af söfnuðu gleri.	
Nýtt gler	0,926 t	Miðað er við að það gler sem berst til endurvinnslu sé 100% endurvinnanlegt.	FEVE (e.d.)

Tafla 3.12. Efnaformúlur hráefna sem þarf til að búa til nýtt gler.

Efnaformúla	IUPAC nafn	Hlutfall	Uppruni gagna
SiO ₂	Silicon dioxide	61,3%	JRC (2013), EFLA.
Na ₂ CO ₃	Sodium carbonate	18,9%	
CaCO ₃	Calcium carbonate	14,0%	
CaMg(CO ₃) ₂	Calcium magnesium carbonate	3,3%	
Al ₂ O ₃	Aluminium oxide	1,5%	
K ₂ CO ₃	Potassium carbonate	0,8%	
Na ₂ SO ₄	Sodium sulfate	0,2%	

3.3 Mat á umhverfisáhrifum

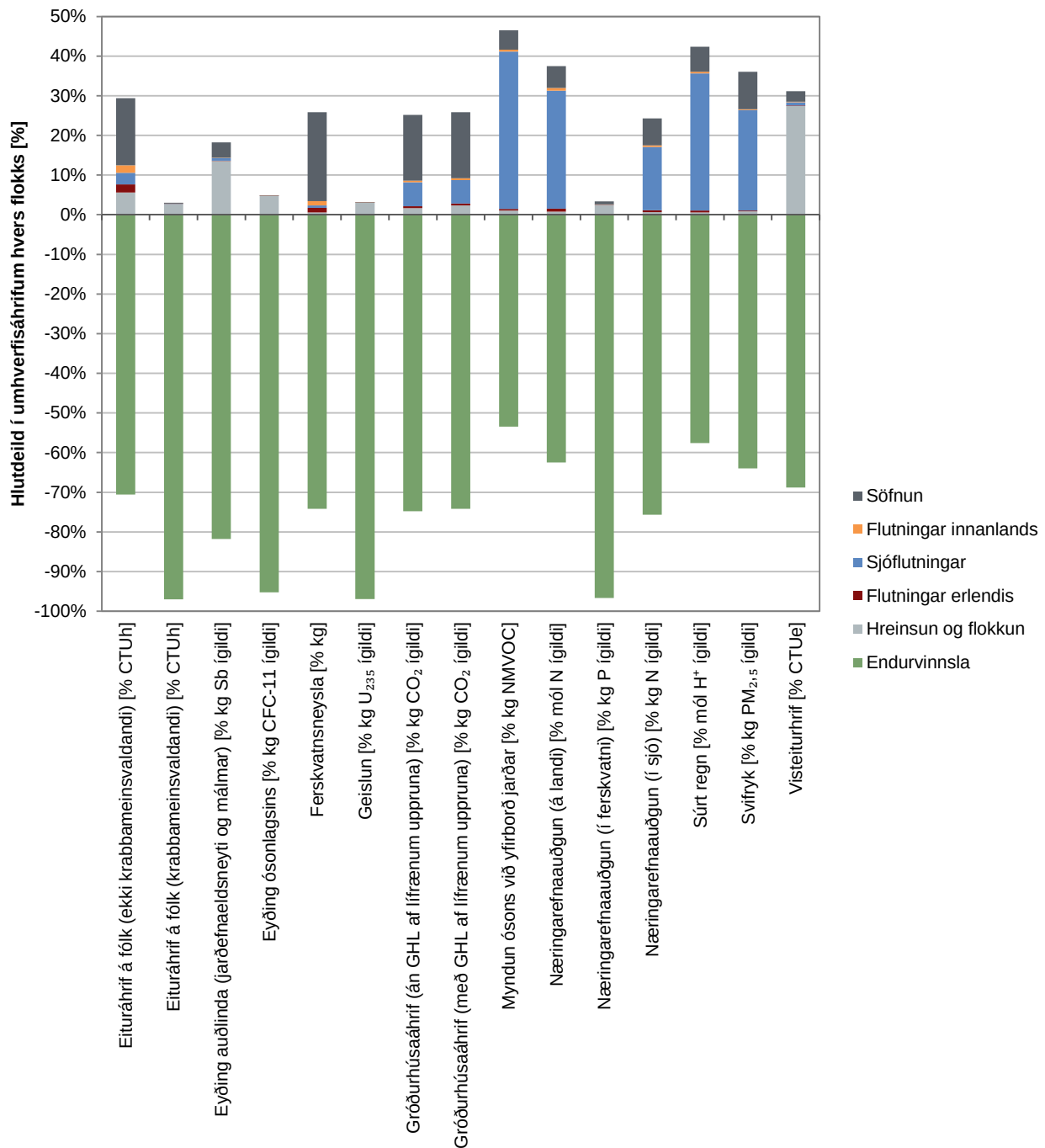
3.3.1 Umhverfisáhrif fyrir heildarferil í öllum umhverfisáhrifaflokkum

Á myndum 3.3, 3.4, 3.5 og 3.6 og í töflu 3.13 eru sýnd heildarumhverfisáhrif söfnunar, flutninga, flokkunar og endurvinnslu glers fyrir tvö tilvik af flutningum og alla umhverfisáhrifaflokka sem eru teknir fram í ILCD handbókinni (JRC-IES, 2011). Athugið að flokkarnir hafa mismunandi einingar og fyrir myndirnar er því aðeins hægt að líta á hvern stöpul fyrir sig en ekki bera saman mismunandi stöpla. Tölur að baki myndunum og einingar hvers flokks má sjá í töflu 3.13.

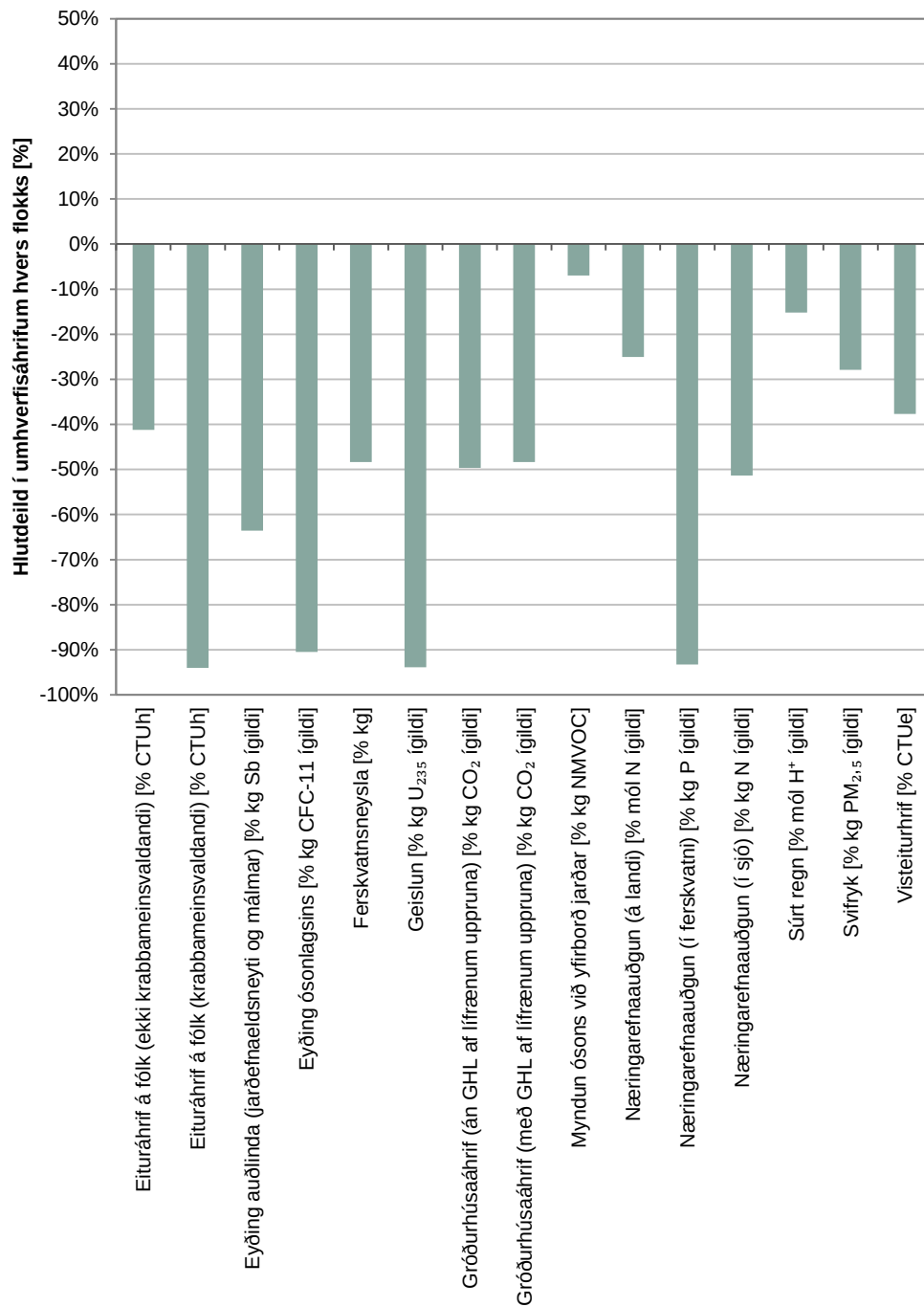
Hagnaður vegna endurvinnslu minnkar umhverfisáhrifin og á myndunum er hann sýndur fyrir neðan 0% ásinn (lárétta ásinn, x ásinn) með neikvæðri prósentu. Hver stöpull er síðan þannig byggður upp að hann sýni summu umhverfisáhrifa og hagnaðar af endurvinnslu (án formerkis) sem 100%. Þannig er hver stöpull jafn langur, sama þótt hluti af honum sýni neikvæða prósentu.

Niðurstöður fyrir fyrri tilvikið, gámaflutninga, má sjá á myndum 3.3, 3.4. Fyrri myndin sýnir bæði umhverfisáhrif og hagnað af endurvinnslu en sú seinni sýnir nettó áhrif. Hagnaðurinn af endurvinnslunni er meiri en umhverfisáhrifin í öllum flokkum eins og sést á seinni myndinni.

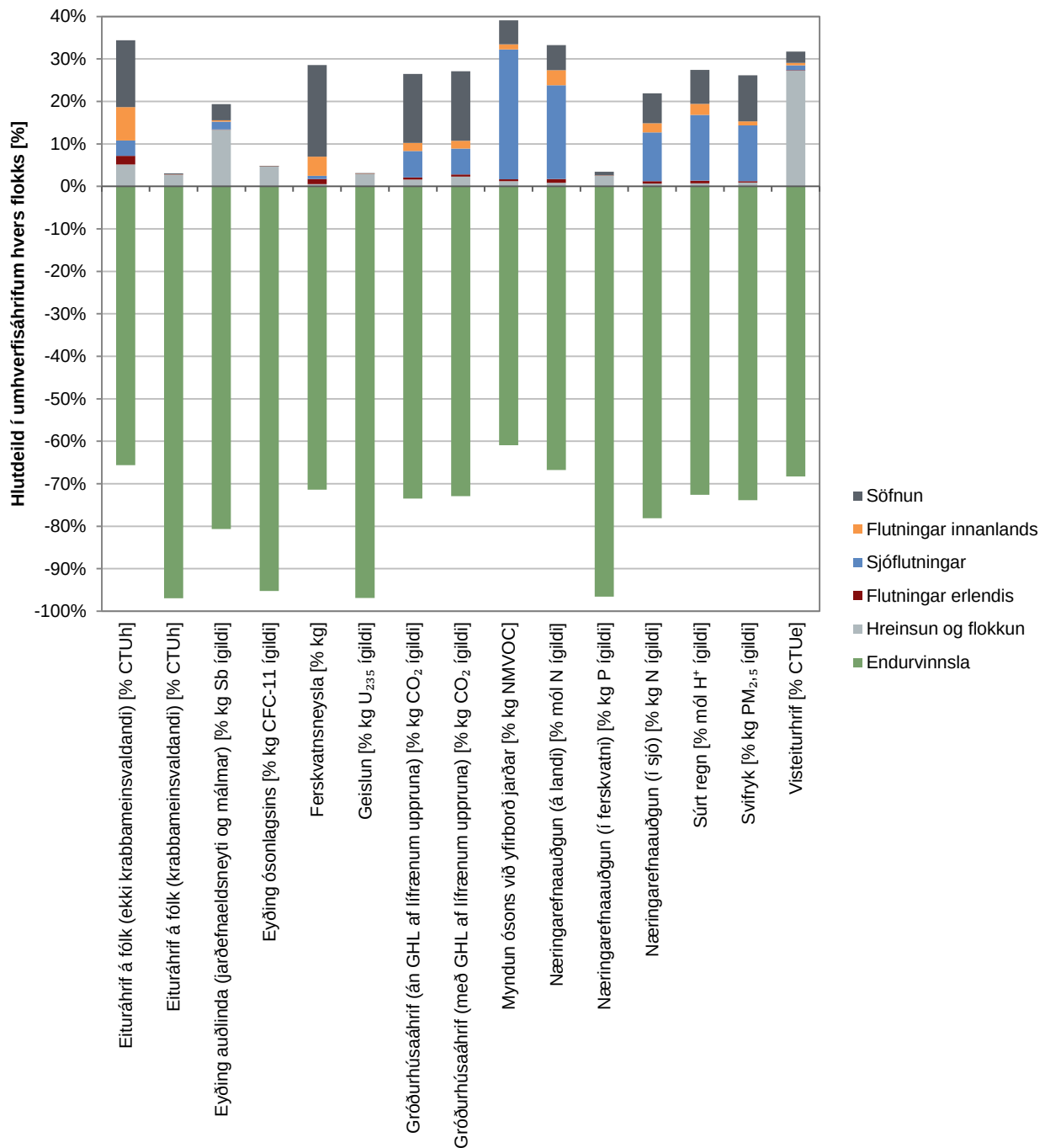
Niðurstöður fyrir seinna tilvikið, lausaflutninga, má sjá á myndum 3.5 og 3.6. Eins og áður þá sýnir fyrri myndin bæði umhverfisáhrif og hagnað af endurvinnslu en sú seinni nettó áhrif. Hagnaður endurvinnslunnar er líka meiri en umhverfisáhrifin fyrir alla umhverfisáhrifaflokkanna fyrir þetta seinna tilvik.



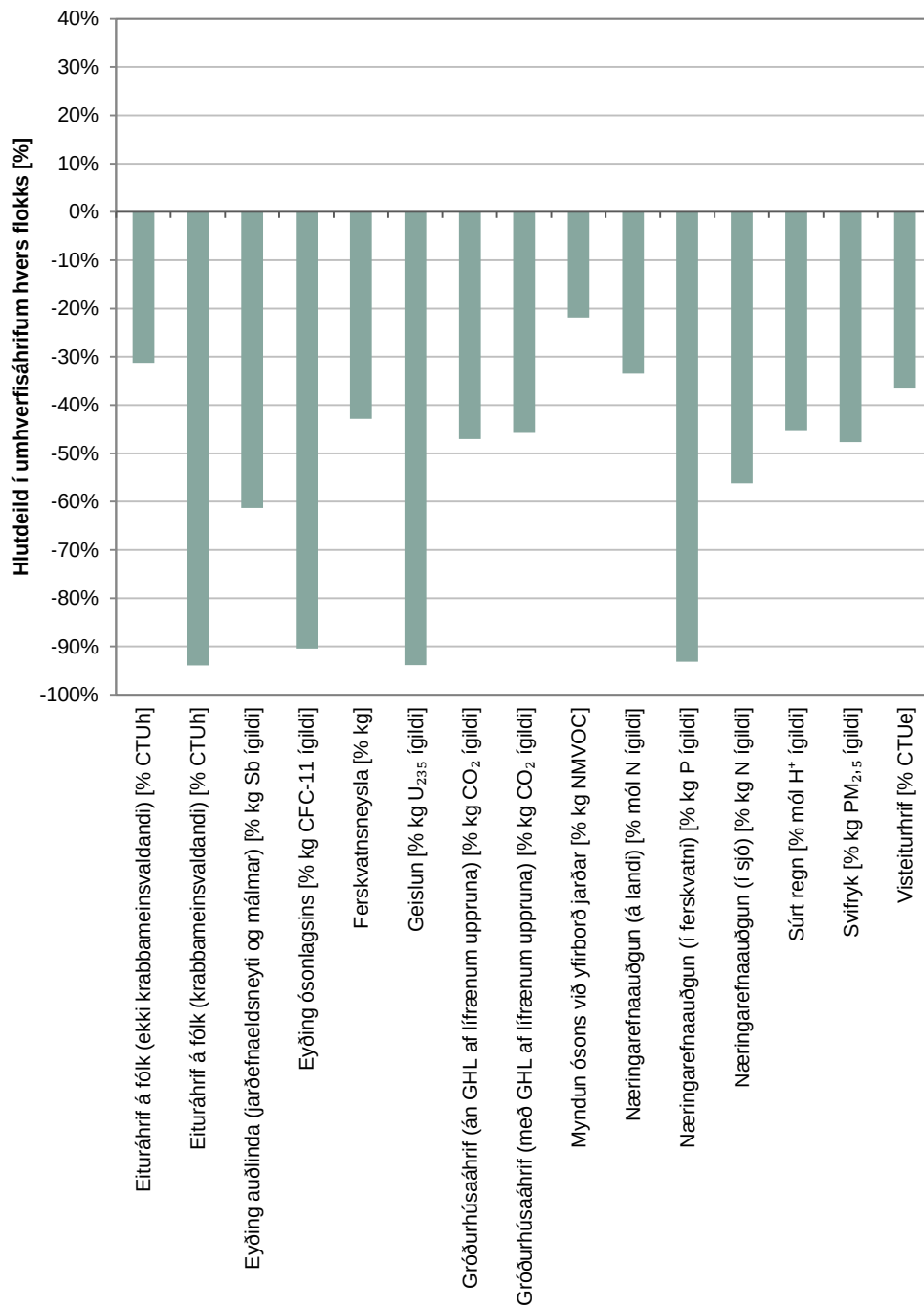
Mynd 3.3. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum vegna söfnunar, gámaflutninga, flokkunar og endurvinnslu glers fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.



Mynd 3.4. Heildarumhverfisáhrif (nettó áhrif) vegna söfnunar, gámaflutninga, flokkunar og endurvinnslu fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.



Mynd 3.5. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum vegna söfnunar, lausaflutninga, flokkunar og endurvinnslu glers fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.



Mynd 3.6. Heildarumhverfisáhrif (nettó áhrif) vegna söfnunar, lausaflutninga, flokkunar og endurvinnslu fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.

Tafla 3.13. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum vegna söfnunar, flutnings, flokkunar og endurvinnslu glers fyrir tilvikin gámaflutninga og lausaflutninga. Umhverfisáhrifin eru sýnd fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni. Gildin eru námunduð að tveimur markverðum tölustöfum en það sýnir ekki nákvæmni þeirra. *(e. biogenic carbon)

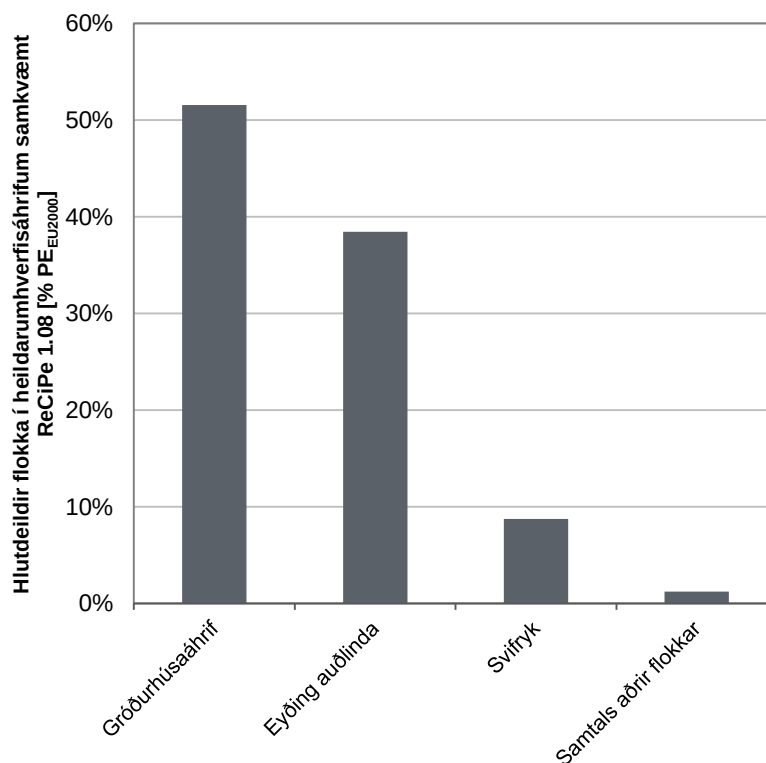
Flokkur umhverfisáhrifa	Eining	Samtals með hagnaði endurvinnslu		Samtals án hagnaðs endurvinnslu		Söfnun	Flutningar innanlands		Sjóflutningar		Flutningar erlendis		Hreinsun og flokkun	Endurvinnsla
		Gámafl.	Lausafl.	Gámafl.	Lausafl.		Gámafl.	Lausafl.	Gámafl.	Lausafl.	Gámafl.	Lausafl.		
Eituráhrif á fólk (ekki krabbameinsvaldandi)	[CTUh]	-2,0E-05	-1,6E-05	1,4E-05	1,8E-05	8,3E-06	9,4E-07	4,1E-06	1,4E-06	1,9E-06	1,0E-06	1,1E-06	2,7E-06	-3,4E-05
Eituráhrif á fólk (krabbameinsvaldandi)	[CTUh]	-2,5E-05	-2,5E-05	8,0E-07	8,2E-07	5,0E-08	2,8E-09	1,2E-08	1,4E-08	1,9E-08	3,0E-09	3,1E-09	7,3E-07	-2,6E-05
Eyðing auðlinda (jarðefnaeldsneyti og málmar)	[kg Sb ígildi]	-0,00076	-0,00074	0,00022	0,00023	4,6E-05	8,3E-07	3,7E-06	8,3E-06	2,2E-05	8,9E-07	9,4E-07	0,00016	-0,0010
Eyðing ósonlagsins	[kg CFC-11 ígildi]	-9,4E-06	-9,4E-06	5,0E-07	5,0E-07	1,3E-09	2,6E-11	1,2E-10	1,8E-10	3,2E-10	2,8E-11	2,9E-11	4,9E-07	-9,9E-06
Ferskvatnsneysla	[kg]	-220	-200	120	130	100	4,8	21	2,9	3,6	5,1	5,4	2,6	-340
Geislun	[kg U ₂₃₅ ígildi]	-8.500	-8.500	280	280	4,1	0,093	0,41	0,72	1,1	0,10	0,10	280	-8.700
Gróðurhúsaáhrif (án GHG af lífrænum uppruna*)	[kg CO ₂ ígildi]	-410	-400	210	220	140	3,7	16	50	52	3,9	4,1	14	-620
Gróðurhúsaáhrif (með GHG af lífrænum uppruna*)	[kg CO ₂ ígildi]	-410	-390	220	230	140	3,6	16	50	52	3,8	4,1	20	-620
Myndun ósons við yfirborð jarðar	[kg NMVOC]	-0,22	-0,60	1,5	1,1	0,15	0,013	0,034	1,2	0,84	0,011	0,012	0,034	-1,7
Næringarefnaauðgun (á landi)	[mól N ígildi]	-4,1	-5,1	6,1	5,1	0,90	0,11	0,54	4,8	3,4	0,12	0,13	0,13	-10
Næringarefnaauðgun (í ferskvatni)	[kg P ígildi]	-0,022	-0,022	0,00078	0,00080	0,00018	3,7E-06	1,7E-05	1,0E-05	1,1E-05	4,0E-06	4,2E-06	0,00058	-0,023
Næringarefnaauðgun (í sjó)	[kg N ígildi]	-0,14	-0,15	0,068	0,059	0,019	0,0012	0,0059	0,045	0,031	0,0013	0,0015	0,0018	-0,21
Súrt regn	[mól H ⁺ ígildi]	-0,80	-1,9	2,2	1,1	0,33	0,023	0,11	1,8	0,64	0,024	0,027	0,030	-3,0
Svífryk	[kg PM _{2.5} ígildi]	-0,094	-0,14	0,12	0,08	0,032	0,00078	0,0027	0,086	0,038	0,00074	0,00079	0,0027	-0,22
Visteiturhrif	[CTUe]	-250	-240	200	210	18	1	4	5	8	1	1	180	-450

3.3.2 Helstu umhverfisáhrifaflokkar samkvæmt ReCiPe 1.08

Niðurstöður í mati á umhverfisáhrifum eru sýndar í mismunandi flokkum umhverfisáhrifa sem hafa mismunandi einingar. Til að bera þá saman þarf að framkvæma stöðlun og vigtun niðurstaða en inn í þá aðgerð kemur inn mannlegt mat á mikilvægi flokka. Því er ekki æskilegt að líta einungis á staðlaðar og vigtaðar niðurstöður. Samt sem áður er það góð leið til að fá hugmynd um hvaða flokkar hafa mesta vægið umhverfislega miðað við umhverfisáhrif meðal Evrópubúa.

Til eru ýmsar aðferðir við stöðlun og vigtun en hér var ákveðið að nota ReCiPe 1.08 aðferðina (Goedkoop o.fl., 2013). Niðurstöðurnar eru staðlaðar með tölum fyrir árleg umhverfisáhrif íbúa í Evrópu árið 2000 út frá sjálfgefnu mati (e. *hierarchist*). Þetta mat byggir á meginstraumum í stefnumótun og löggjöf í Evrópu og miðar við 100 ára tímaramma. 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 3.7. Á henni sést að samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni eru hlutfallslega mest umhverfisáhrif í flokkunum gróðurhúsaáhrif, eyðing auðlinda og svífryk. Í þessum reikningum er hagnaðurinn af endurvinnslunni ekki tekinn með en sömu flokkar gefa mesta útslagið ef það er gert. Venjan er sýna gróðurhúsaáhrif án gróðurhúsalofttegunda (GHL) af lífrænum uppruna (e. *biogenic carbon*) og verður það einnig gert hér, en gróðurhúsaáhrif með áhrifum GHL af lífrænum uppruna má sjá í viðauka.

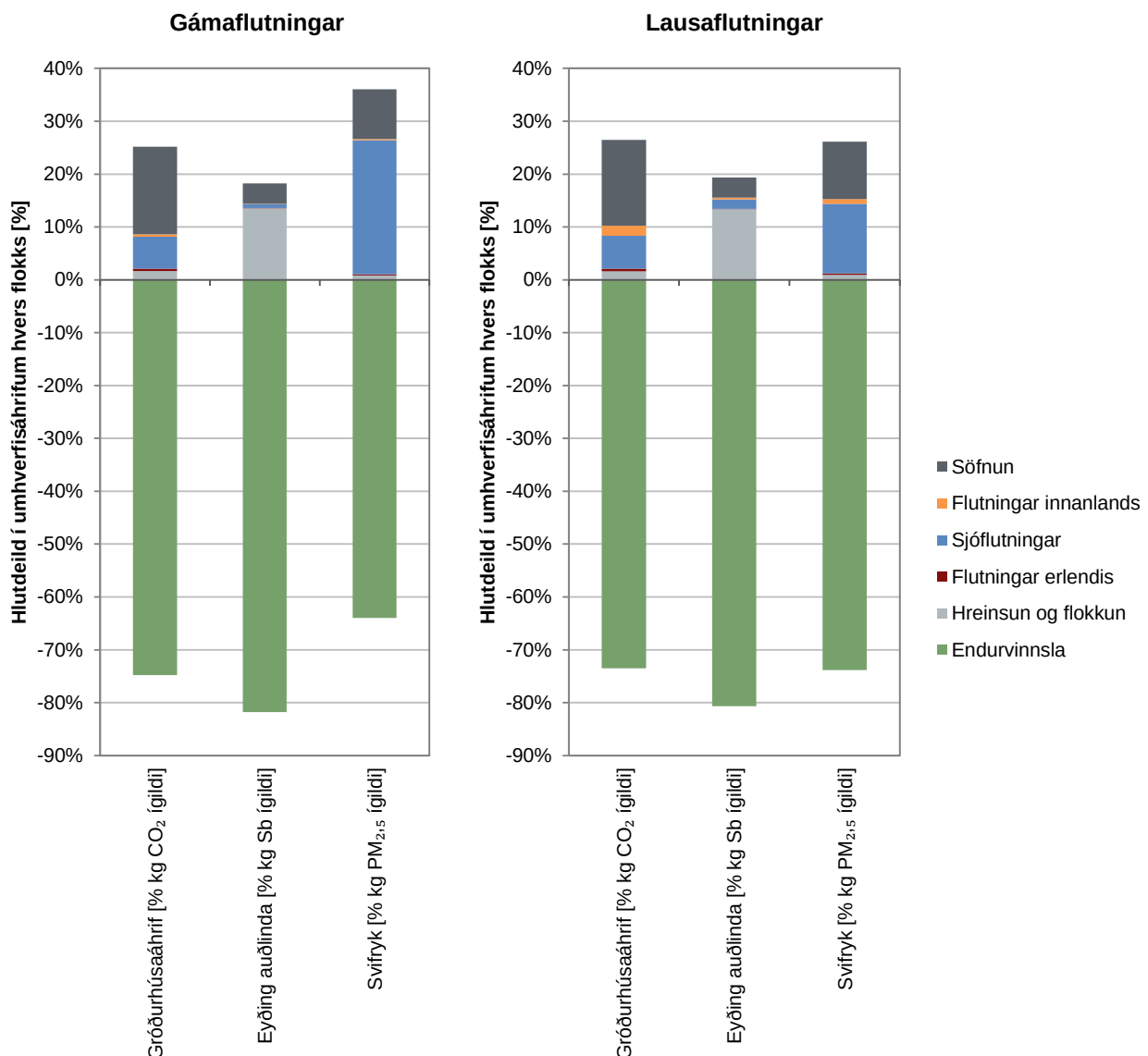
Í næstu köflum verða niðurstöður sýndar fyrir þessa þrjá flokka en áhrif í öðrum flokkum má finna í viðauka. Þótt að þessir þrír flokkar valdi mestum umhverfisáhrifum samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni má þó samt ekki horfa fram hjá öðrum flokkum. Það getur alltaf verið að áhrifin í tilteknum flokki séu staðbundin og valdi því teljandi skaða á þeim stað. Til dæmis gætu áhrif í flokknum næringarefnaauðgun (í ferskvatni) verið bundin að mestu leyti við losun í eina á og þar geta þau verið umtalsverð og valdið miklum skaða þó þau telji ekki mikið í samanburði við heildar umhverfisáhrifin í öðrum umhverfisáhrifaflokkum.



Mynd 3.7. Hlutdeild mismunandi flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Hér hafa niðurstöður verið staðlaðar með árlegum áhrifum íbúa í Evrópu árið 2000 út frá sjálfgefnu mati (e. *hierarchist*) og vigtaðar út frá meðaltalsviðhorfi ReCiPe aðferðarinnar.

3.3.3 Samanburður á umhverfisáhrifum heildarferils fyrir tvo flutningskosti

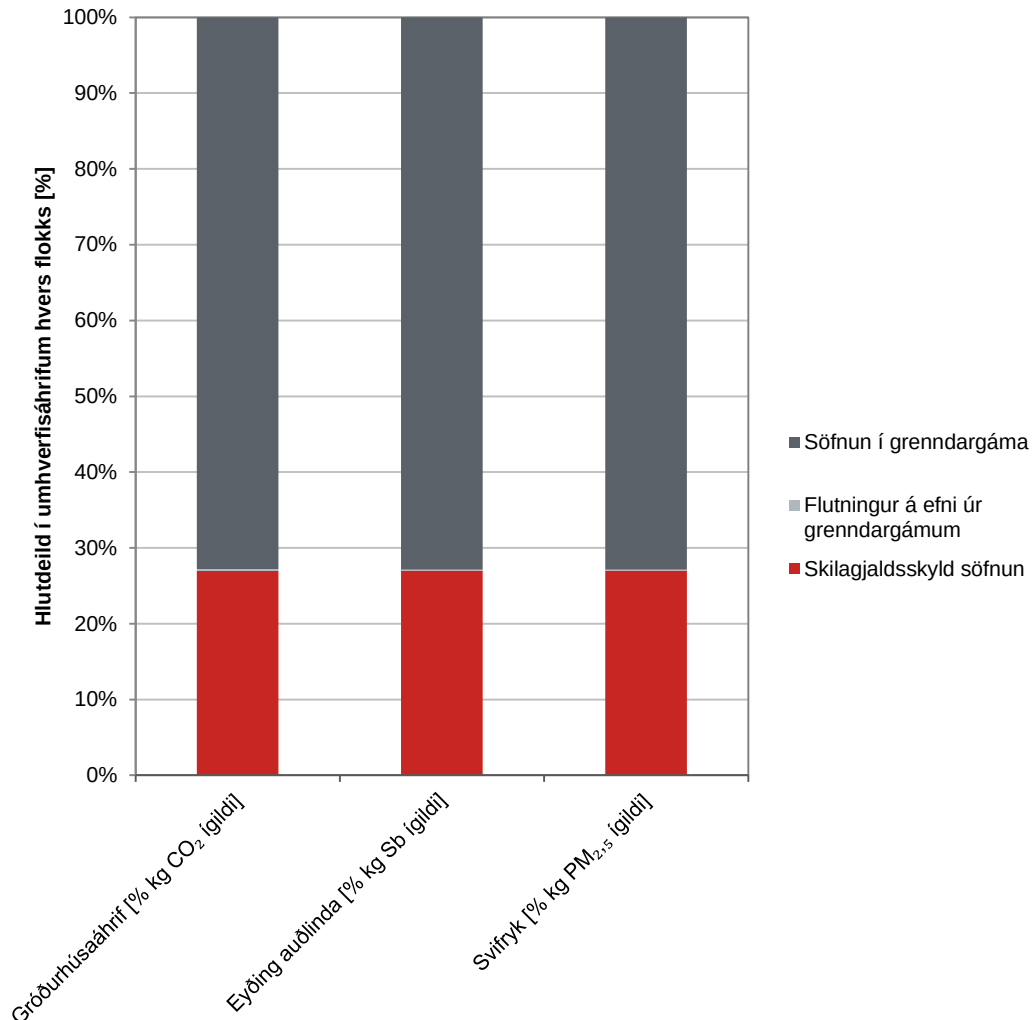
Á mynd 3.8 má sjá samanburð á umhverfisáhrifum söfnunar, flutninga, flokkunar og endurvinnslu glers fyrir gámaflutninga og lausaflutninga. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Þeir eru gróðurhúsaáhrif (án áhrifa gróðurhúsalofttegunda af lífrænum uppruna), eyðing auðlinda (jarðefnaeldsneyti og málmar) og svifryk. Áhrif í öðrum flokkum má sjá á myndum í kafla 3.3.1. Hagnaður af endurvinnslu glers (sparnaður á umhverfisáhrifum) er mun meiri heldur en umhverfisáhrif af söfnun, flutningi og flokkun glers í öllum sýndum flokkum. Ef litið er á umhverfisáhrifin einungis, þá veldur söfnun glers mestum gróðurhúsaáhrifum í báðum tilvikum. Hún veldur einnig töluverðu svifryki en í tilfelli svifryks skipta sjóflutningar þó mestu máli, sérstaklega í tilviki gámaflutninga. Hreinsun og flokkun glers skiptir mestu máli fyrir eyðingu auðlinda. Landflutningar að undanskilinni söfnuninni (bæði innanlands og erlendis) valda minni umhverfisáhrifum en söfnun og sjóflutningar.



Mynd 3.8. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af söfnun, flutningi, flokkun og endurvinnslu glers fyrir gámaflutninga (til vinstri) og lausaflutninga (til hægri). Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Áhrif í öðrum flokkum má sjá í kafla 3.3.1.

3.3.4 Söfnun

Umhverfisáhrif mismunandi þátta í söfnun glersins má sjá á mynd 3.9 og útskýringu á þáttunum má finna í töflu 3.14. Einkabíllinn hefur þar mest áhrif í bæði skilagjaldsskyldri söfnun og söfnun í grenndargáma. Áhrif flutninga glersins úr grenndargámum með vörubíl til söfnunarstaðar eru hverfandi í samanburði við einkabílinn.



Mynd 3.9. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum söfnunar glers á söfnunarstaði. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Umhverfisáhrif í öðrum flokkum má sjá í viðauka (mynd 6.1).

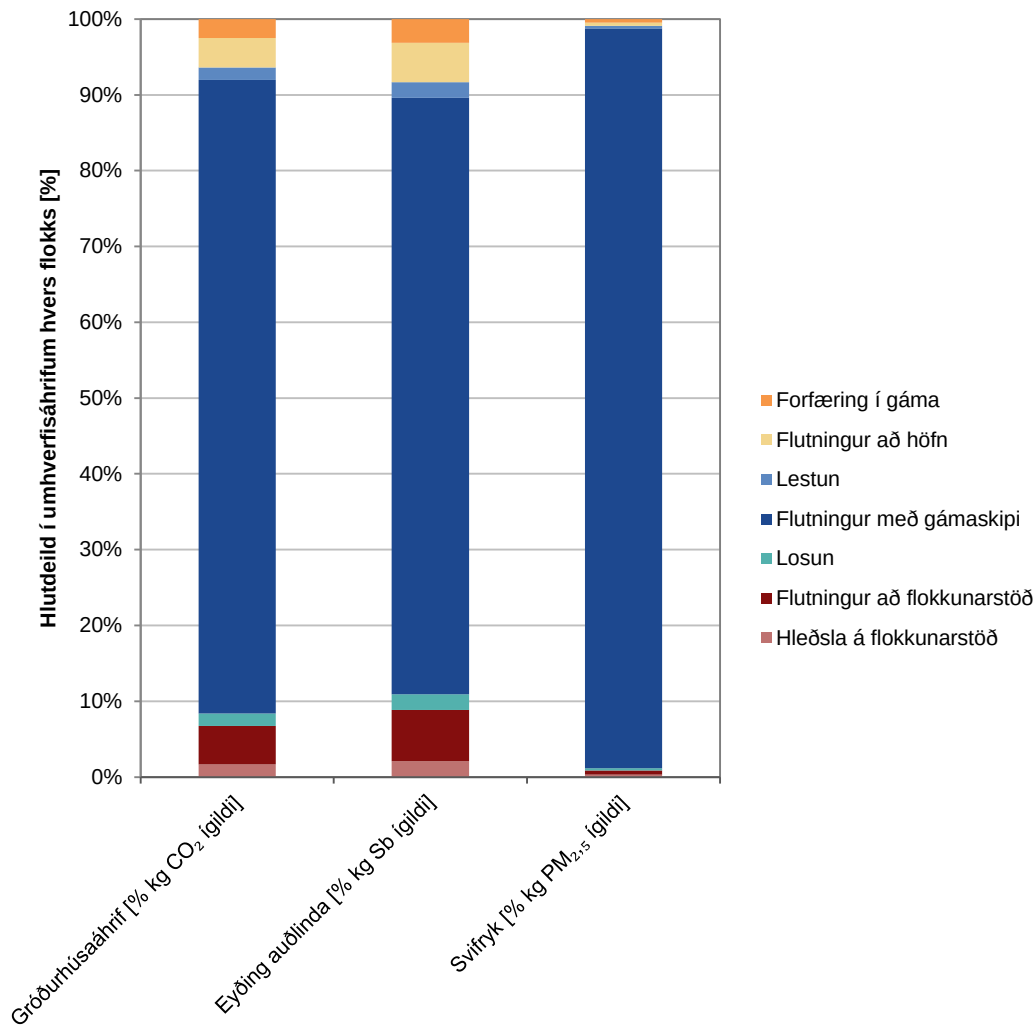
Tafla 3.14: Skýring á þáttum í mynd 3.9.

Söfnun í grenndargám	Flutningur glers með einkabíl frá heimahúsi í næsta grenndargám. Miðað var við meðal einkabíl sem gengur fyrir bensíni og er í losunarflokki EURO4.
Flutningur á efni úr grenndargámi	Flutningur glers úr grenndargámum með vörubíl til næsta söfnunarstaðar.
Skilagjaldsskyld söfnun	Flutningur á skilagjaldsskyldu gleri með einkabíl beint á söfnunarstað. Miðað var við meðal einkabíl sem gengur fyrir bensíni og er í losunarflokki EURO4.

3.3.5 Flutningar

Flutningur tilvik 1 – Gámaflutningar

Umhverfisáhrif mismunandi þátta í flutningi glersins fyrir fyrra tilvikið, gámaflutninga, má sjá á mynd 3.10 og útskýringu á þáttunum má finna í töflu 3.15. Á myndinni eru gulir þættir flutningar innanlands, bláir sjóflutningar og rauðir flutningar erlendis. Fyrir þá þrjá flokka umhverfisáhrifa sem sýndir eru þá skiptir flutningurinn með gámaskipi mestu máli.



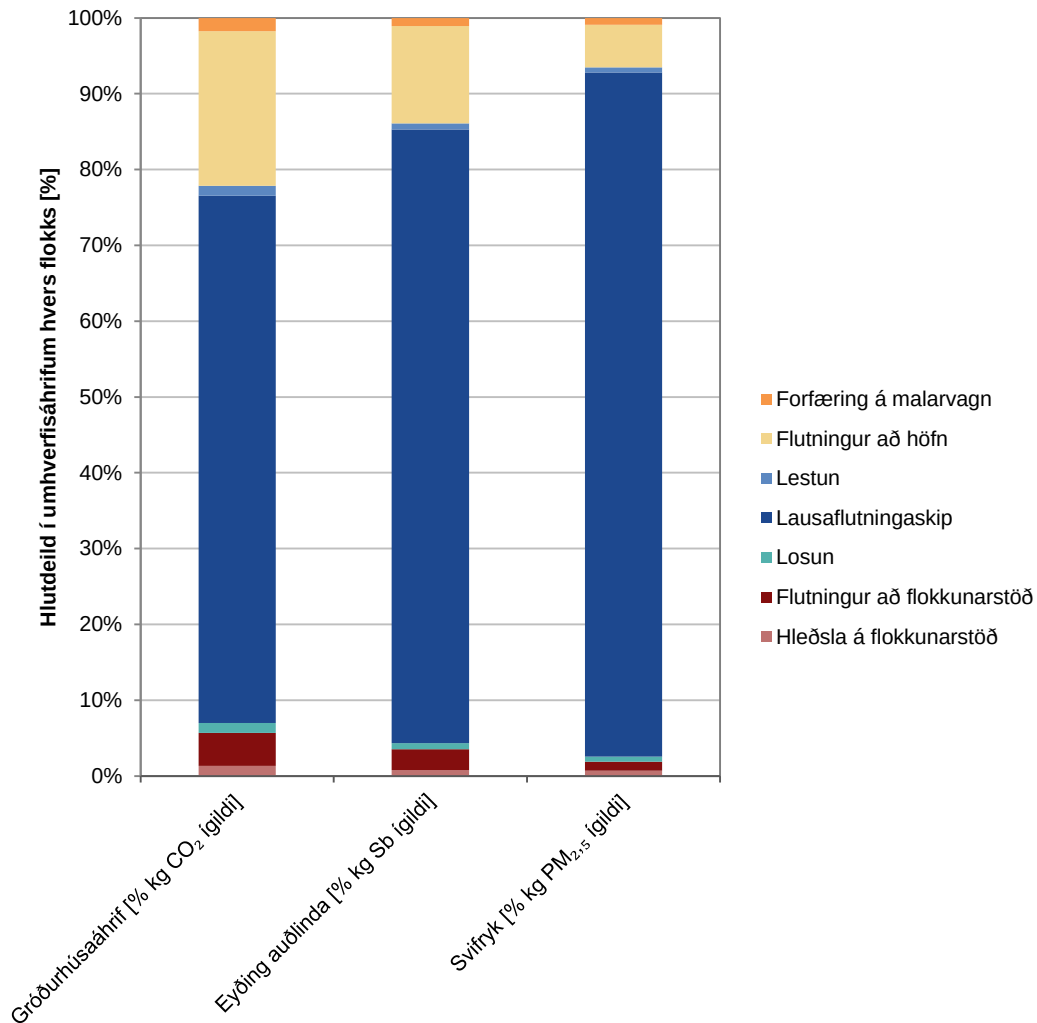
Mynd 3.10. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af flutningum glers innanlands í gámum, sjóflutningum með gámaskipi og flutningum erlendis. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Umhverfisáhrif í öðrum flokkum má sjá í viðauka (mynd 6.2).

Tafla 3.15. Skýring á þáttum í mynd 3.10.

Forfæring í gáma	Mulningur og forfæring glers í gáma.
Flutningur að höfn	Flutningur frá öllum söfnunarstöðum á landinu til söfnunarstaða Reykjavíkur, Ísafjarðar, Akureyrar, Reyðarfjarðar og Vestmannaeyja. Flutningur þaðan niður að viðkomandi höfn. Tómur flutningur til baka er talinn með.
Lestun	Lestun á gámum í gámaskip.
Flutningur með gámaskipi	Sjóflutningar með gámaskipi til Danmerkur. Ferð til baka er ekki talin með.
Losun	Losun gáma af gámaskipi.
Flutningur að verksmiðju	Flutningur gáma að flokkunarstöð. Tómur flutningur til baka er talinn með.
Hleðsla í verksmiðju	Hleðsla glers úr gámum inn í flokkunarstöð.

Flutningur tilvik 2 – Lausaflutningar

Umhverfisáhrif mismunandi þátta í flutningi glersins fyrir seinna tilvikið, lausaflutninga, má sjá á mynd 3.11 og útskýringu á þáttunum má finna í töflu 3.15. Á myndinni eru gulir þættir flutningar innanlands, bláir sjóflutningar og rauðir flutningar erlendis. Fyrir þá þrjá flokka umhverfisáhrifa sem sýndir eru þá skiptir flutningurinn með lausaflutningaskipi mestu máli.



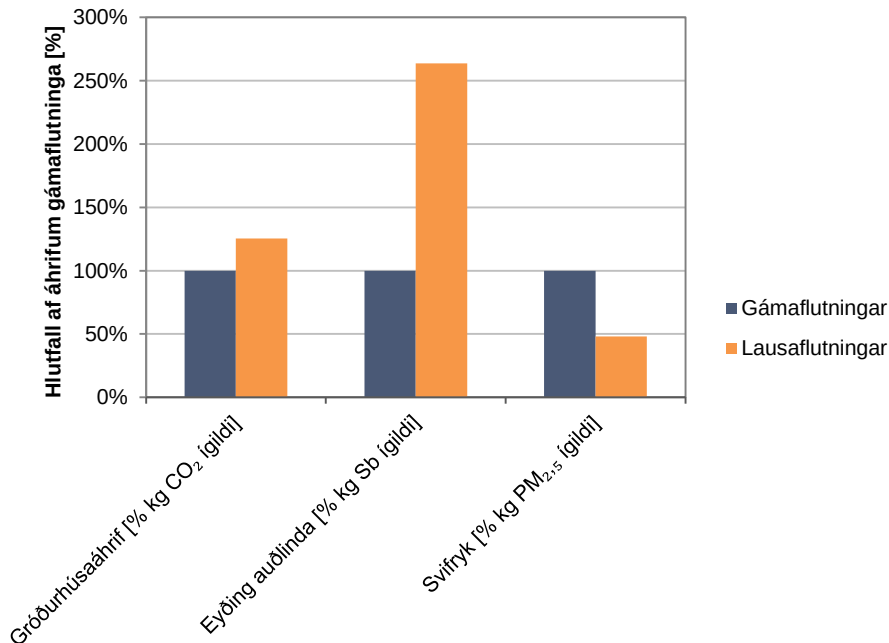
Mynd 3.11. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af flutningum glers innanlands á malarvagni, sjóflutningum með lausaflutningaskipi og flutningum erlendis. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Umhverfisáhrif í öðrum flokkum má sjá í viðauka (mynd 6.3).

Tafla 3.16: Skýring á þáttum í mynd 3.11.

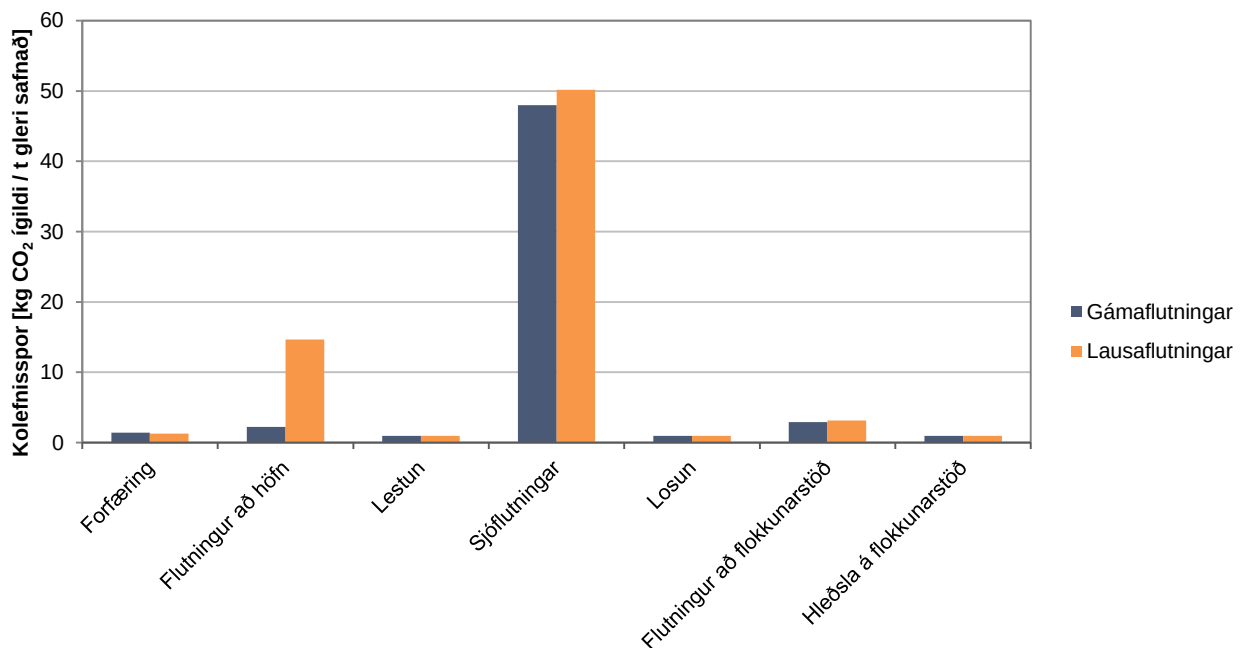
Forfæring á malarvagn	Mulningur og forfæring glers á malarvagn.
Flutningur að höfn	Flutningur með malarvagni frá öllum söfnunarstöðum á landinu til safnhaugs á Reykjanesi. Flutningur þaðan niður að höfn í Helguvík. Tómur flutningur til baka er talinn með.
Lestun	Lestun á gleri í lausaflutningaskip.
Lausaflutningaskip	Sjóflutningar með lausaflutningaskipi til Danmerkur. Ferð til baka er ekki talin með.
Losun	Losun glers af lausaflutningaskipi
Flutningur að flokkunarstöð	Flutningur glers með malarvagni að flokkunarstöð. Tómur flutningur til baka er talinn með.
Hleðsla í flokkunarstöð	Hleðsla glers inn í flokkunarstöð.

Samanburður á flutningskostum

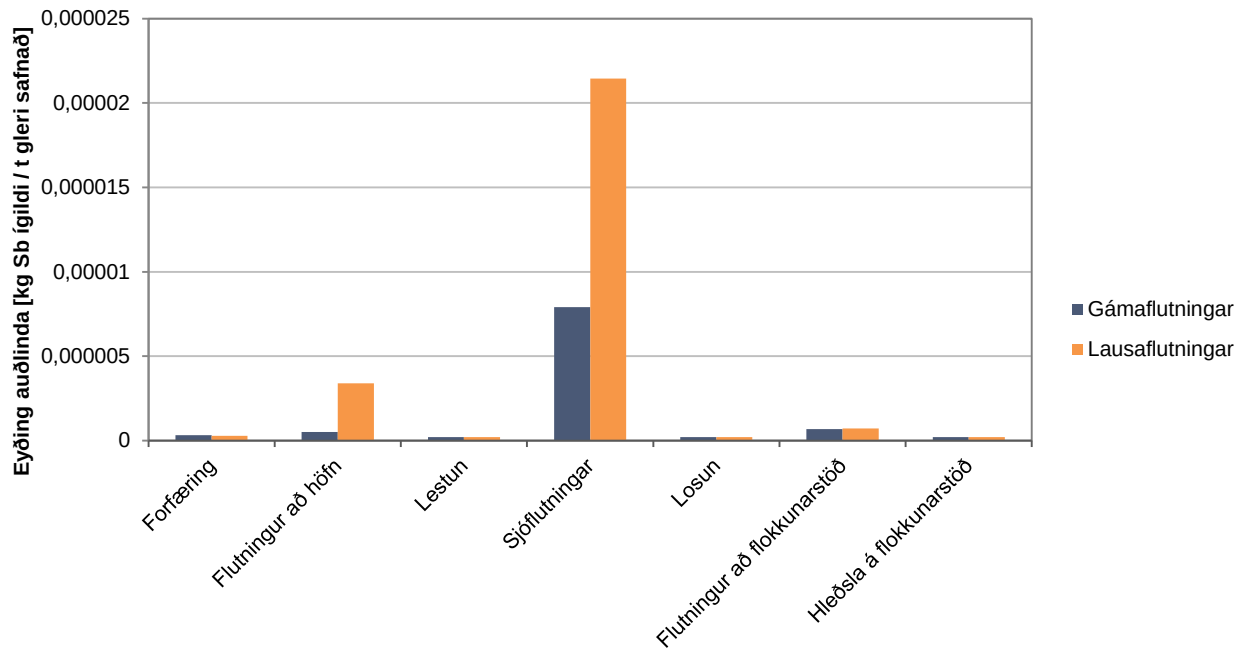
Á myndum 3.12, 3.13, 3.14 og 3.15 má sjá samanburð á gámaflutningum og lausaflutningum. Athugið að hér eru ekki tekin með áhrif af söfnun á söfnunarstaði sem eru eins fyrir bæði tilvik. Gróðurhúsaáhrif og eyðing auðlinda eru hlutfallslega meiri fyrir lausaflutninga en gámaflutninga en svífryk meira fyrir gámaflutninga. Á myndum 3.14 og 3.15 sést að munurinn liggur í sjóflutningunum fyrir flokkana eyðing auðlinda og svífryk. Einnig er munur í flutningum að höfn fyrir eyðingu auðlinda. Munurinn er minni fyrir gróðurhúsaáhrif og liggur aðallega í flutningi að höfn, sjá mynd 3.13.



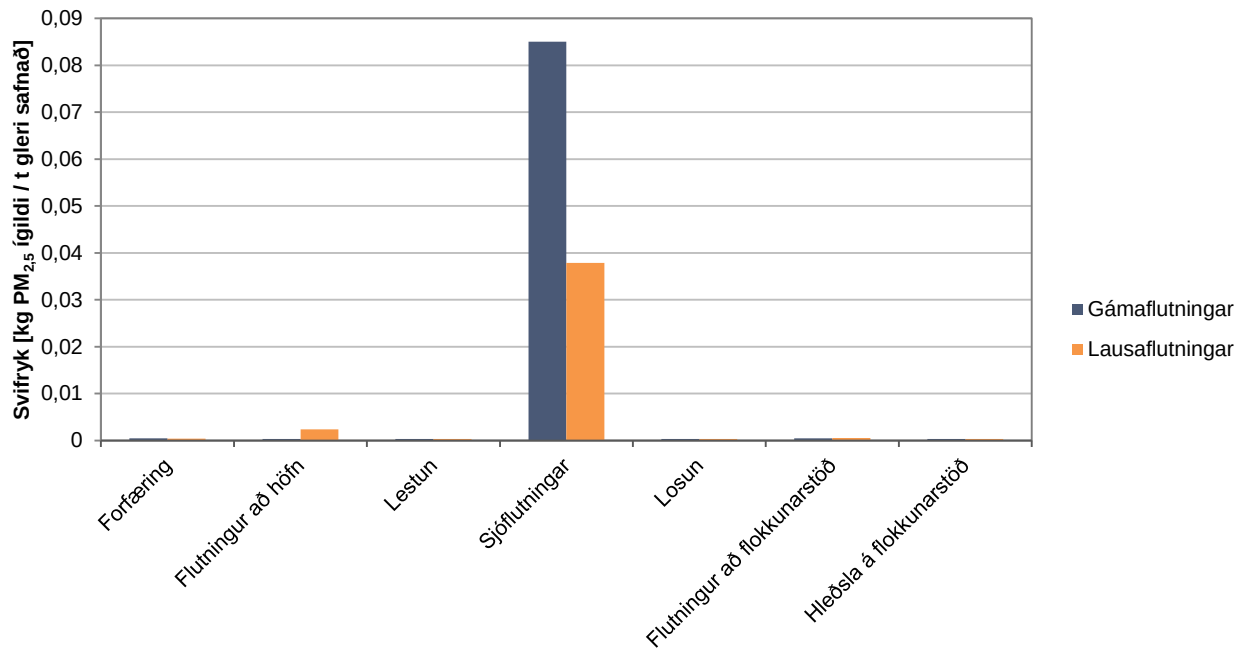
Mynd 3.12. Umhverfisáhrif af flutningi með gámum og gámaskipi borin saman við áhrif af flutningi með malarvagni og lausaflutningaskipi. Áhrif gámaflutninga eru sett sem 100% og lausaflutningar síðan bornir saman við.



Mynd 3.13. Samanburður á gróðurhúsaáhrifum fyrir tvö tilvik af flutningi, gámaflutningar (gámar og gámaskip) og lausaflutningar (malarvagn og lausaflutningaskip).



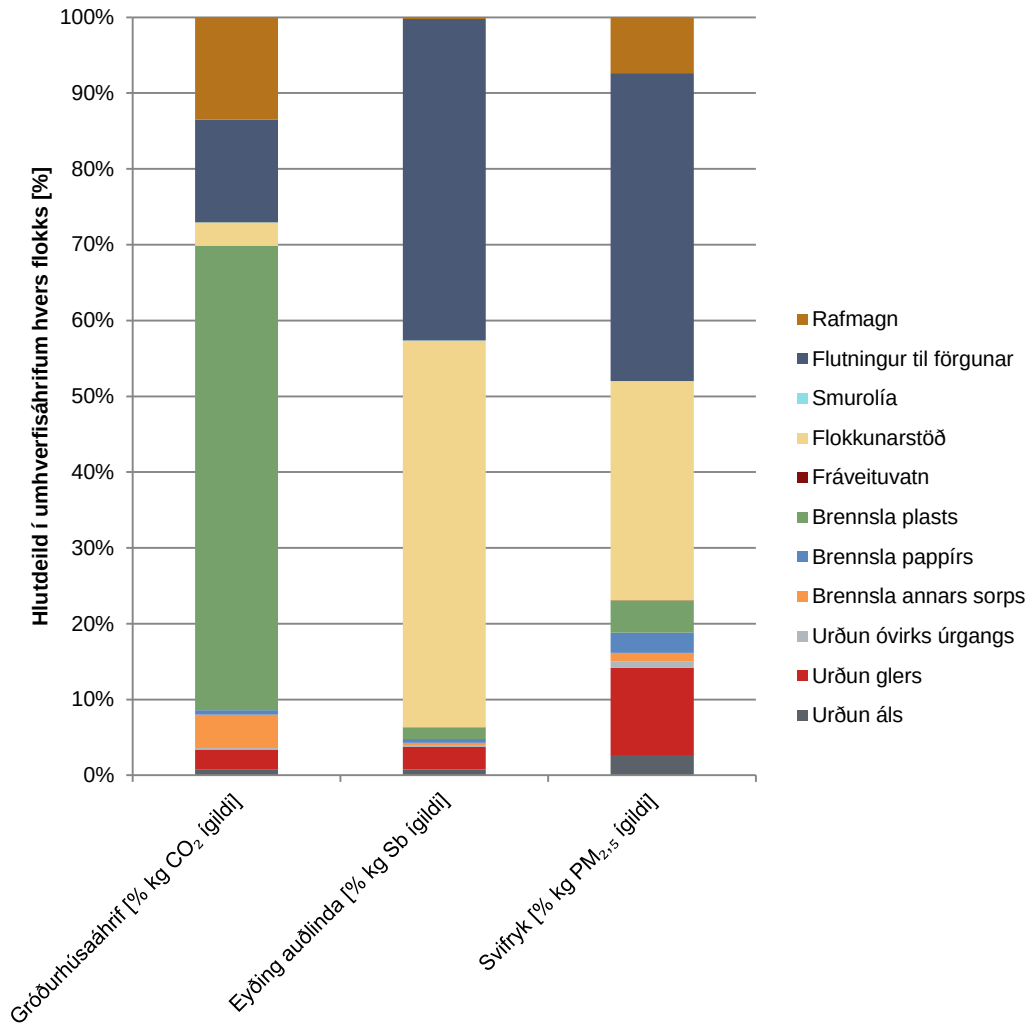
Mynd 3.14. Samanburður á áhrifum í flokknum eyðing auðlinda fyrir tvö tilvik af flutningi, gámaflutningar (gámar og gámaskip) og lausaflutningar (malarvagn og lausaflutningaskip).



Mynd 3.15. Samanburður á áhrifum í flokknum svífryk fyrir tvö tilvik af flutningi, gámaflutningar (gámar og gámaskip) og lausaflutningar (malarvagn og lausaflutningaskip).

3.3.6 Flokkun

Á mynd 3.16 má sjá umhverfisáhrif mismunandi þátta í hreinsun og flokkun glers. Í ferlinu er annað efni skilið frá eins og ál, plast, pappír o.fl. og því síðan fargað á viðeigandi hátt. Brennsla plasts veldur mestum gróðurhúsaáhrifum en flutningur úrgangs til förgunar og bygging, rekstur og förgun flokkunarstöðvarinnar valda mestum áhrifum í flokkunum eyðing auðlinda og svífryk.



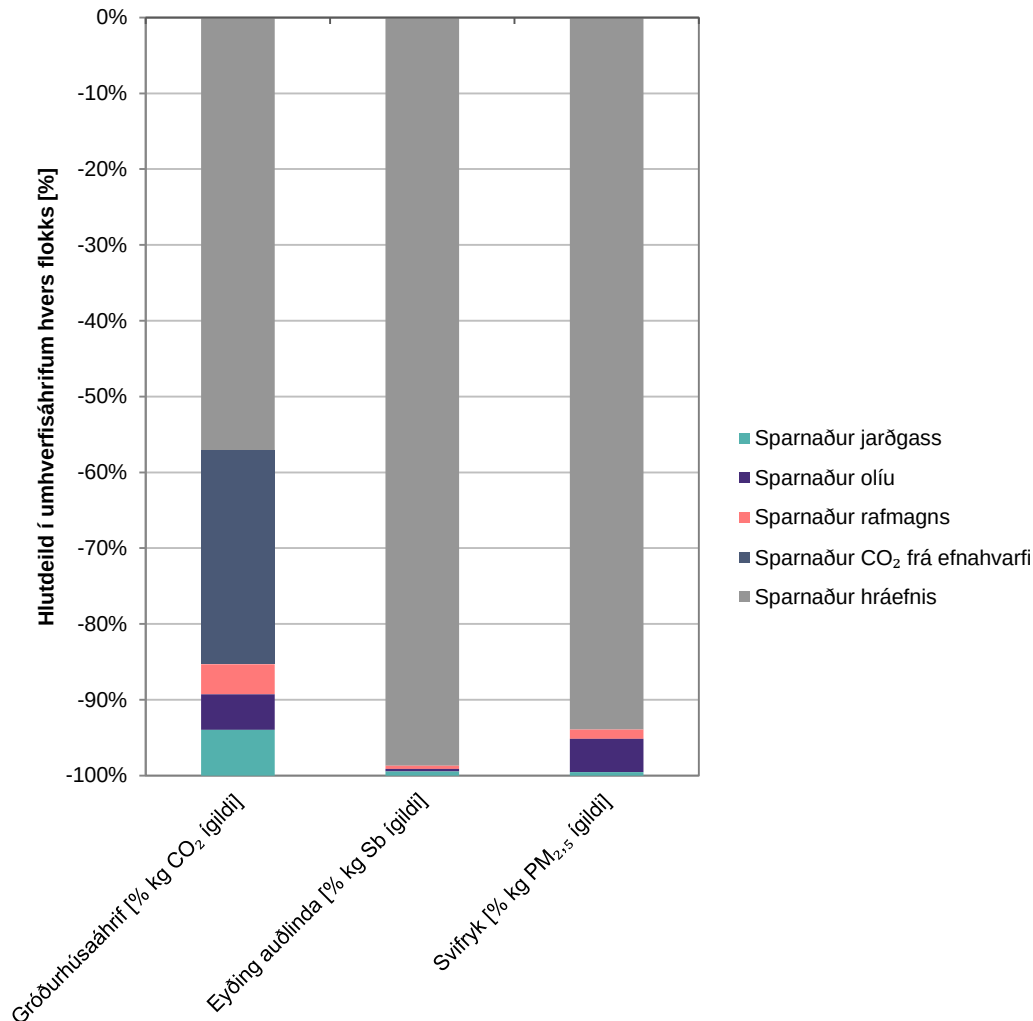
Mynd 3.16. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum við hreinsun og flokkun glers. Aðeins eru sýnd áhrif í þeim flokkum sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Umhverfisáhrif í öðrum flokkum má sjá í viðauka (mynd 6.4).

Tafla 3.17: Skýring á þáttum í mynd 3.16.

Rafmagn	Rafmagnsnotkun tækjabúnaðar við flokkunina.
Smurolía	Smurolía fyrir tækjabúnað flokkunarstöðvarinnar.
Flokkunarstöð	Bygging, rekstur og förgun flokkunarstöðvar og tækjabúnaðar hennar. Ekki eru tekin áhrifin af allri stöðinni heldur aðeins þann hluta sem tilheyrir greiningunni, því í greiningunni er aðeins flokkað hluti af því magni glers sem stöðin flokkar á líftíma sínum.
Fráveituvatn	Fráveituvatn eftir hreinsun glersins.
Brennsla plasts, pappírs og annars sorps	Förgun plasts, pappírs og annars sorps með brennslu.
Urðun óvirs úrgangs, glers og áls	Förgun óvirs úrgangs, ónothæfs glers og áls með urðun.
Flutningur til förgunar	Flutningur úrgangs til urðunar og brennslu.

3.3.7 Endurvinnsla

Á mynd 3.17 er sýndur hagnaður af því að endurvinnna glerið. Hagnaðurinn felst í því að ekki þarf að afla og fullvinna ný hráefni til framleiðslu á nýju gleri, ekki þarf jafn mikla orku (rafmagn og varmaorku frá brennslu olíu eða jarðgass) og ekki losnar koltvísýringur frá bræðslu glersins. Við bræðslu glers úr hráefnum þá losnar koltvísýringur út af efnahvörfum hráefnanna (oxun karbónata) en það gerist ekki þegar glerkurl er brætt upp við endurvinnsluna. Fyrir sýnda flokka þá skiptir sparnaður hráefnis mestu máli en fyrir gróðurhúsáhrif skiptir sparnaður koltvísýrings frá efnahvörfum í bræðslu glersins einnig miklu máli.



Mynd 3.17. Hlutdeild mismunandi þátta í hagnaði af endurvinnslu glers. Aðeins eru sýndir þeir flokkar sem innihalda meira en 1% heildarumhverfisáhrifa samkvæmt ReCiPe 1.08 aðferðinni. Umhverfisáhrif í öðrum flokkum má sjá í viðauka (mynd 6.5).

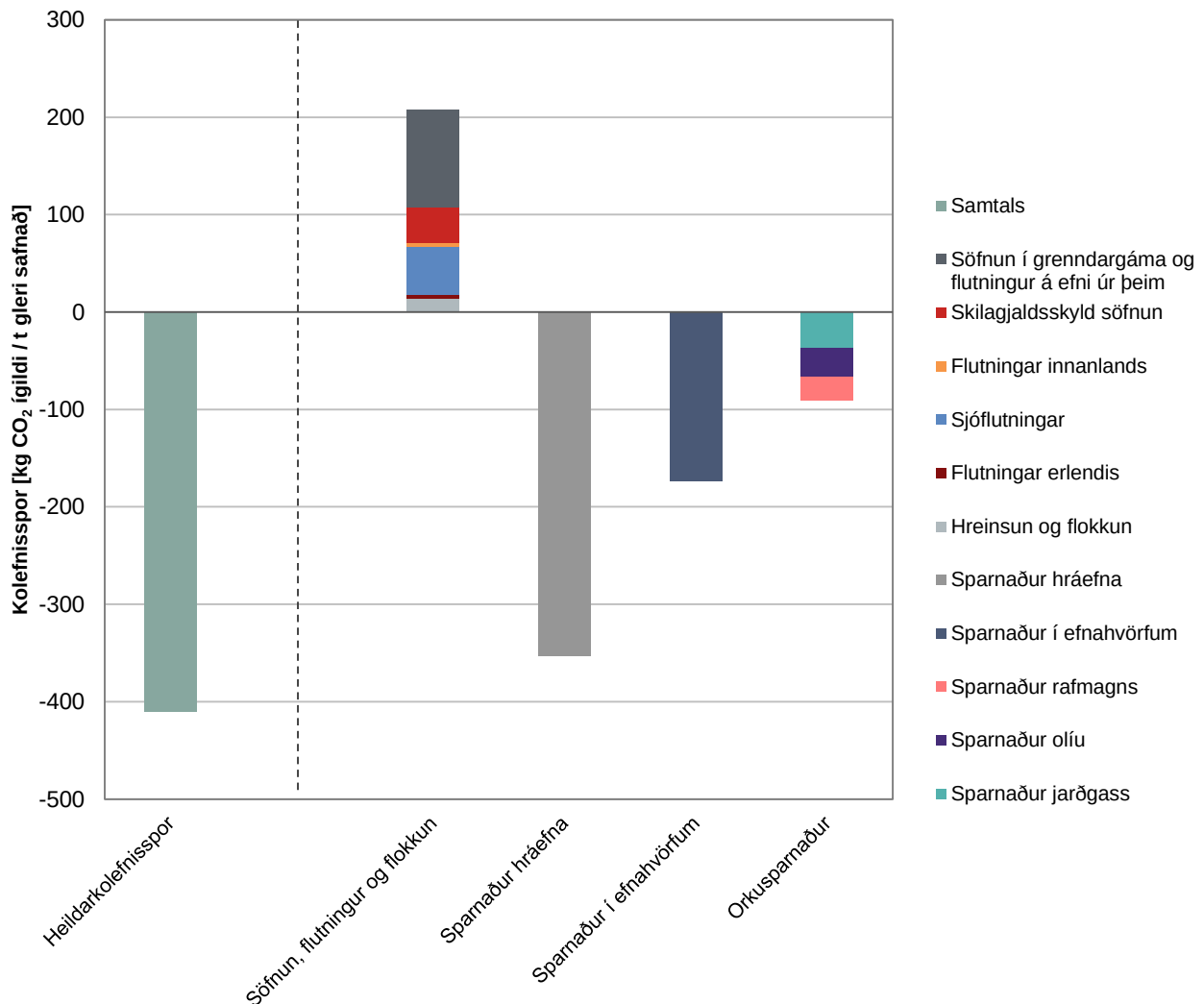
Tafla 3.18: Skýring á þáttum í mynd 3.17.

Sparnaður hráefna	Sparnaður á öflun og fullvinnslu hráefna í nýtt gler.
Sparnaður CO ₂ frá efnahvarfi	Sparnaður á losun koltvísýrings því efnahvörf hráefna (oxun karbónata) eiga sér ekki stað ef glerkurl er brætt aftur.
Sparnaður rafmagns	Sparnaður rafmagns í bræðslu glers vegna lægri orkuþarfar.
Sparnaður olíu	Sparnaður á brennslu olíu fyrir varmaorku í bræðslu glers vegna lægri orkuþarfar.
Sparnaður jarðgass	Sparnaður á brennslu jarðgass fyrir varmaorku í bræðslu glers vegna lægri orkuþarfar.

3.3.8 Kolefnisspor

Gámaflutningar

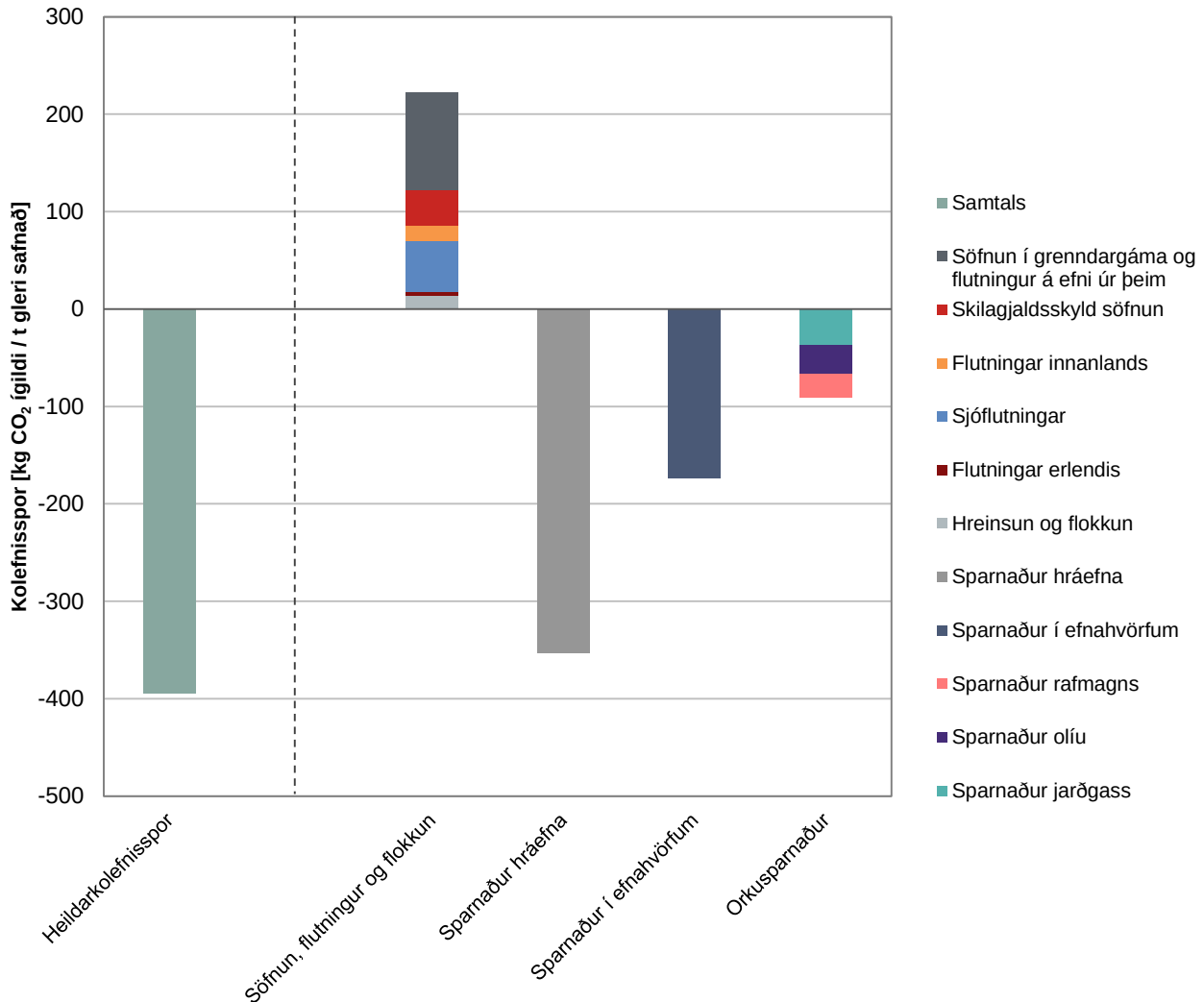
Kolefnisspor fyrir söfnun, flutninga í gámum, flokkun og endurvinnslu glers er sýnt á mynd 3.18. Þar sést að fyrir gámaflutninga er heildarkolefnissporið -410 kg CO₂ á hvert tonn af söfnuðu gleri, það er að segja ferlið dregur úr gróðurhúsaáhrifum. Þessi jákvæðu áhrif stafa frá sparnaði hráefna sem annars færu í framleiðslu á nýju gleri, sparnaði á losun koltvísýrings frá efnahvörfum sem þyrftu að eiga sér stað ef hráefni væru brædd í gler og sparnaði á orku fyrir bræðsluna miðað við framleiðslu úr hráefnum.



Mynd 3.18. Kolefnisspor söfnunar, flutninga, flokkunar og endurvinnslu glers fyrir gámaflutninga. Heildarkolefnisspor (nettó gróðurhúsaáhrif) er sýnt lengst til vinstri og því næst gróðurhúsaáhrifin sem verða af söfnun, flutningi og flokkun glers. Stöplarnir þrír lengst til hægri sýna hagnað af endurvinnslu vegna sparnaði á orku, nýjum hráefnum og koltvísýringslosun frá efnahvörfum sem yrðu annars við bræðslu nýrra hráefna í gler. Með því að endurvinna gler sparast koltvísýringslosun sem myndi annars koma frá efnahvörfum í bræðslu nýrra hráefna (SiO₂ sands o.fl.) í gler.

Lausaflutningar

Kolefnissporið fyrir söfnun, lausaflutninga á malarvagni og með lausaflutningaskipi, flokkun og endurvinnslu glers er sýnt á mynd 3.19. Fyrir lausaflutningar er heildarkolefnissporið -400 kg CO₂ á hvert tonn af söfnuðu gleri og dregur því ferlið úr gróðurhúsaáhrifum. Eins og áður, þá er það vegna sparnaðar sem verður á losun koltvísýrings frá efnahvörfum sem verða ef ný hráefni eru brædd í gler en verða ekki ef glerkurl er brætt. Einnig er dregið úr gróðurhúsaáhrifum við endurvinnsluna vegna þess sparnaðar sem verður á notkun hráefna og orku.



Mynd 3.19. Kolefnisspor söfnunar, flutninga, flokkunar og endurvinnslu glers fyrir lausaflutninga. Heildarkolefnisspor (nettó gróðurhúsaáhrif) er sýnt lengst til vinstri og því næst gróðurhúsaáhrifin sem verða af söfnun, flutningi og flokkun glers. Stöplarnir þrír lengst til hægri sýna hagnað af endurvinnslu vegna sparnaði á orku, nýjum hráefnum og koltvísýringslosun frá efnahvörfum sem yrðu annars við bræðslu nýrra hráefna í gler. Með því að endurvinnna gler sparast koltvísýringslosun sem myndi annars koma frá efnahvörfum í bræðslu nýrra hráefna (SiO₂ sands o.fl.) í gler.

4 Umræður og lokaorð

Niðurstöður greiningarinnar sýna að á heildina litið dregur söfnun, flutningur, flokkun og endurvinnsla glers úr umhverfisáhrifum í öllum umhverfisáhrifaflokkum sem ILCD aðferðin leggur til, bæði fyrir gámaflutninga og fyrir lausaflutninga. Ástæðan fyrir því er sú að endurvinnsla á gleri kemur í veg fyrir umhverfisáhrif sem annars myndu verða við öflun og fullvinnslu nýrra hráefna og við bræðslu nýrra hráefna í gler. Ef glerkurl er notað í glerframleiðslu þarf minni orku í bræðslunni heldur en ef ný hráefni væru brædd í gler. Einnig sparast losun koltvísýrings, því við bræðslu á glerkurli verða ekki efnahvörf sem annars yrðu í bræðslu nýrra hráefna. Sparnaður sem verður af endurvinnslunni er meiri en samanlögð umhverfisáhrif hinna þáttanna (söfnun, flutningur og flokkun). Niðurstaða þessarar greiningar er afgerandi, þ.e. að söfnun, útflutningur, flokkun og endurvinnsla glers frá Íslandi borgar sig út frá umhverfislegu sjónarmiði fyrir alla umhverfisáhrifaflokkanna sem skoðaðir voru.

Ef litið er á gróðurhúsaáhrifin þá veldur söfnun mestum gróðurhúsaáhrifum og sjóflutningar þó nokkrum. Sama á við um svifryk nema þá skipa sjóflutningar meira máli, sérstaklega fyrir gámaflutninga. Fyrir eyðingu auðlinda þá skiptir hreinsun og flokkun mestu. Landflutningar aðrir en söfnun valda hlutfallslega minni umhverfisáhrifum en aðrir þættir í heildarferli greiningarinnar.

Umhverfisáhrif söfnunar glers eru mun meiri en áhrif annara landflutninga á gleri og koma þau aðallega frá flutningi glers með einkabíl. Ástæðan er sú að mun minni þyngd er tekin með í hverri ferð á einkabíl og því þarf að fara mun fleiri ferðir en gámaflutningur eða malarvagn færir. Í greiningunni er gert ráð fyrir að glerið sé flutt með einkabíl, 2 km með 2 kg út í grenndargám eða 2 km með 6 kg á söfnunarstað. Efni úr grenndargámum er síðan flutt með vörubíl á söfnunarstað, 2 km með 2 tonn. Í greiningunni var fyrst miðað við forsenduna 5 km í ferð fyrir þessa þrjá þætti og þá voru áhrif söfnunar glers enn meiri en sú forsenda þótti óraunhæf. Líklegt þykir að fleira sé flutt í sömu ferð að grenndargámi eða á söfnunarstað og þyrfti því að skipta niður (e. *allocate*) áhrifunum á milli þess sem er flutt. Hér er gerð sú einföldun að miða frekar við styttri fjarlægð ferðar, 2 km.

Í samanburði á gámaflutningum og lausaflutningum á mynd 3.12 sést að það er ekki hægt að segja með öyggjandi hætti hvor kosturinn sé betri þar sem að gámaflutningar koma betur út fyrir gróðurhúsaáhrif og eyðingu auðlinda en lausaflutningar fyrir svifryk. Fyrir gámaflutninga er glerið flutt frá söfnunarstöðum til næstu hafnar (í Reykjavík og Vestmannaeyjum, á Ísafirði, Akureyri og Reyðarfirði) en fyrir lausaflutninga er allt glerið flutt í safnhaug á Reykjanesi og þaðan til hafnar í Helguvík. Fyrir gróðurhúsaáhrif er munurinn helst í flutningi að höfn (mynd 3.13) en ef litið er á flokkana eyðingu auðlinda og svifryk (myndir 3.14 og 3.15) þá er mikill munur í sjóflutningum fyrir tilvikin tvö. Ekki er ljóst hvað þessu veldur en munurinn er þó hverfandi í samanburði við áhrif annarra þátta eins og söfnun og endurvinnsla. Í líkaninu fyrir lausaflutninga er miðað við lausaflutningaskip sem tekur 2.500 tonna farm. Fyrir gámaflutninga er miðað við gámaskip sem hefur 27.500 tonna hámarksfarm og 48% meðalnýtingu á farmrými sem er sjálfgefið val í PE Professional gagnagrunninum. Í honum kemur fram að nýtingin sé yfirleitt á bilinu 45-70%. Fyrir bæði tilvik er ekki reiknað með sér ferð skips til baka.

Flutningur glerkurls (endurunnið gler) frá flokkunarstöð til glerverksmiðju féll utan greiningarinnar og líka flutningur nýrra hráefna til glerverksmiðju. Það er ákveðin einföldun en í gagnaöflun kom í ljós að fjarlægðin á milli flokkunarstöðvar og glerverksmiðju er um 10 km. Í nýlegri vistferilsgreiningu á endurvinnslu umbúðaglers voru ný hráefni flutt á bilinu 100 - 500 km frá framleiðanda til glerverksmiðju (Roldán o.fl., 2013). Það má því áætla að hráefnin séu flutt lengra að glerverksmiðjunni heldur en glerkurlið. Glerkurlið kemur í staðinn fyrir ný hráefni í framleiðslu glers og því má áætla að fyrir þennan þátt sparist flutt vegalengd með því að nota endurunnið gler. Áhugavert væri að kanna þetta nánar í frekari greiningu.

Gler er ekki urðað sem slíkt á Íslandi í dag en það hefur verið notað sem fyllingarefni á urðunarstað. Í frekari greiningu væri hægt að taka inn umhverfisáhrifin og/eða ávinninginn af því að glerkurlið sé ekki notað sem fyllingarefni í urðunarstað en til einföldunar voru þau áhrif ekki tekin með hér. Það væri hægt að líta á það sem svo að glerið komi í staðinn fyrir mól sem annars þyrfti á urðunarstað en þá er spurning hvort ekki sé nóg af mól til frá byggingu urðunarstaðarins. Ef ráðist verður í frekari rannsókn á þessu þá þyrfti líka að reikna með flutningum glersins á urðunarstað.

Við mat á umhverfisáhrifum var farið eftir tilmælum ILCD en þar er ekki er farið í stöðlun og vigtun á niðurstöðum. Til að fá hugmynd um hvaða flokka umhverfisáhrifa væri best að líta á fyrst var stöðlun og vigtun framkvæmd með ReCiPe 1.08 aðferðinni og birt á mynd 3.7. 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 auðlinda og svifryk höfðu afgerandi mest áhrif skv. þessari aðferð þá þykir líklegt að aðrar aðferðir hefðu auðkennt sömu flokka. Þótt áhrifin séu minni í öðrum flokkum samkvæmt ReCiPe aðferðinni má þó ekki líta framhjá þeim. Það getur alltaf verið að áhrifin í tilteknum flokki séu staðbundin og valdi því teljandi skaða á þeim stað. Til dæmis gætu áhrif í flokknum næringarefnaauðgun (í ferskvatni) verið bundin að mestu leyti við losun í eina á og þar geta þau verið umtalsverð og valdið miklum skaða þó þau telji ekki mikið í samanburði við heildar umhverfisáhrifin í öðrum umhverfisáhrifaflokkum.

Megin niðurstaða þessarar greiningar er sú að það er umhverfislega hagkvæmt fyrir alla umhverfisáhrifaflokka að safna umbúðagleri og flytja erlendis til endurvinnslu í nýjar glerumbúðir. Endurvinnsla glerkurla í nýjar glerumbúðir í stað þess að nota ný hráefni til glerframleiðslu skapar það mikinn umhverfislegan ávinning að öll umhverfisáhrif söfnunar, flutnings og flokkunar hverfa og fyrir ferlið í heild sinni er umhverfislegur ávinningur töluverður. Greiningin leiddi enn fremur í ljós að söfnun glers með einkabíl í grenndargáma eða beint á söfnunarstaði hefur töluverð áhrif. Því væri ástæða til að haga söfnuninni á þann hátt að sem minnst þurfi að aka með glerumbúðir á einkabíl eða að gera megí ráð fyrir að staðsetning grenndargáma og söfnunarstaða kalli á að ferðin sé í flestum tilfellum samnýtt með annarri ferð. Afgerandi munur var ekki á flutningi í gámum eða lausaflutningum, gámaflutningar voru umhverfislega hagkvæmari fyrir gróðurhúsaáhrif og eyðingu auðlinda en lausaflutningar fyrir svifryk. Til að skera úr um mun þarna á milli þyrfti að endurreikna með raunupplýsingum fyrir þessa skipaflutninga í lausu og gámum. Greiningin sýndi einnig að landflutningar aðrir en flutningar með einkabíl vega hlutfallslega lítið í þeim þremur flokkum umhverfisáhrifa sem voru teknir sérstaklega fyrir.

Gagnlegt er að bæta enn frekar greiningu á ferlum tengdum glersöfnun og endurvinnslu og í því samhengi er áhugavert að skoða eftirfarandi:

- Kanna umhverfislegan hag af því að endurvinnna annað gler en umbúðagler sem fellur til á Íslandi.
- Kanna áhrif af flutningi á glerkurli milli flokkunarstöðvar og glerverksmiðju og sparnaður á flutningi nýrra hráefna til glerverksmiðju.
- Kanna áhrif (ávinningur og/eða umhverfisáhrif) af því að nýta glerkurl ekki á urðunarstöðum sem fylliefni eins og gert er í dag, þar sem það færi í endurbræðslu í staðinn.
- Gera greiningu með raungögnum fyrir sjóflutninga og afla nánari upplýsinga um gámaskip og lausaflutningaskip.
- Kanna hver ávinningurinn er af því að draga úr vegalengd sem flytja þyrfti glerumbúðir með einkabíl, t.d. með söfnun við heimahús.

5 Heimildaskrá

Ecoinvent (2014). Dataset information. Sótt af: <http://www.ecoinvent.org/>

Endurvinnslan & Úrvinnslusjóður (2014). *Verðkönnun um umhverfisáhrif af flutningi glers.*

FEVE, The European Container Glass Federation (e.d.). *Life Cycle Inventory – Data availability.* Sótt af: <http://feve.org>

Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M., Schryver, A. D., Struijs, J., Zelm, R. (2013). *ReCiPe 2008 – A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. First edition (version 1.08). Report I: Characterisation.*

IPCC, Intergovernmental Panel for Climate Change [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, United Kingdom & New York, USA.

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

JRC, Joint Research Center of the European Commission (2013). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass.* Joint Research Centre, European Commission.

JRC-IES, Joint Research Center of the European Commission – Institute for Environment and Sustainability (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.

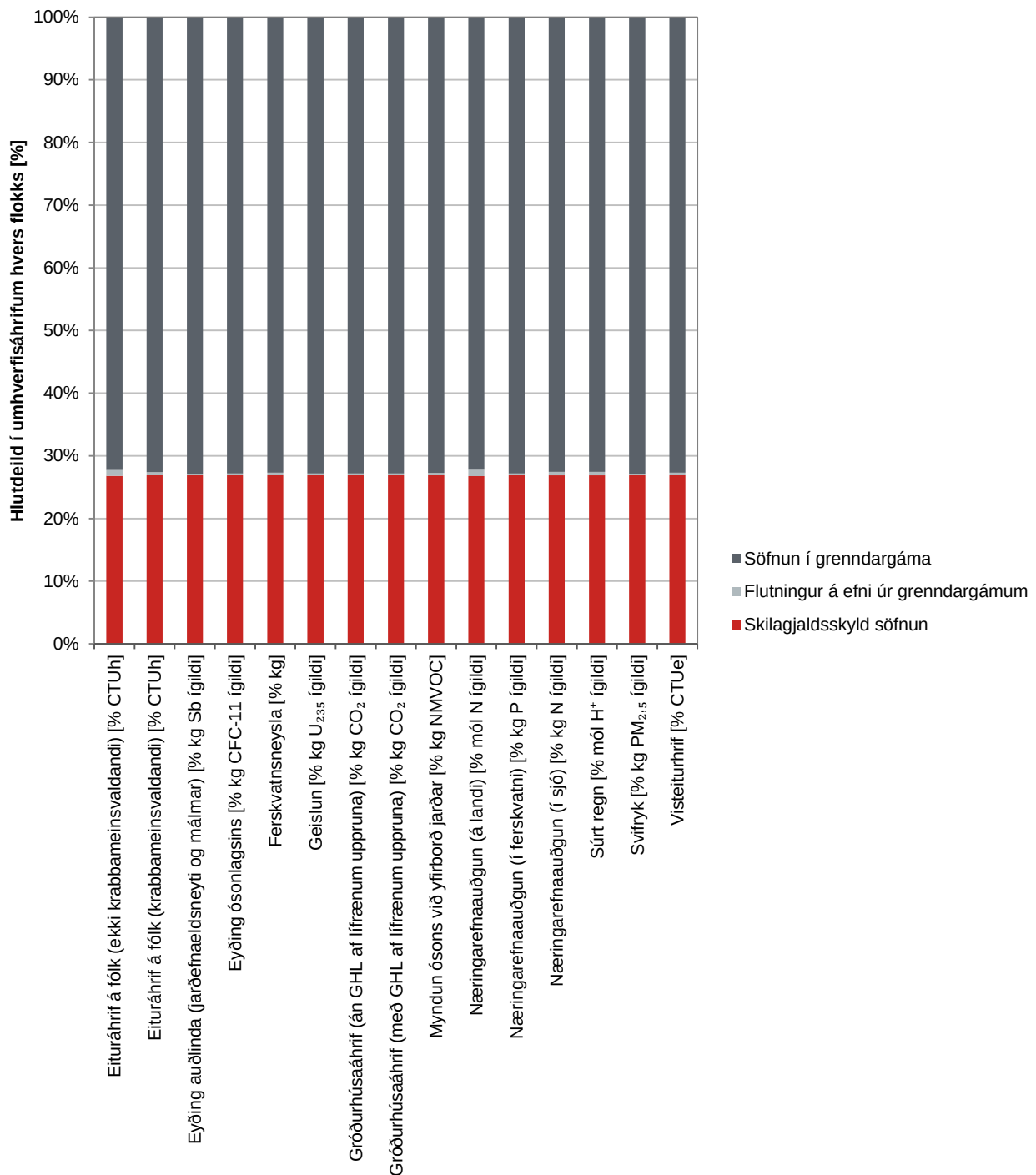
Roldán, E., Pino, Rosa, Bala, A., Fullana, P. (2013). *Comparative Life Cycle Assessment of the Use of Recycled Glass in Glass Packaging for Food.*

Umhverfisstofnun (2013) *Svifryk.* Sótt af: <http://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/svifryk/>

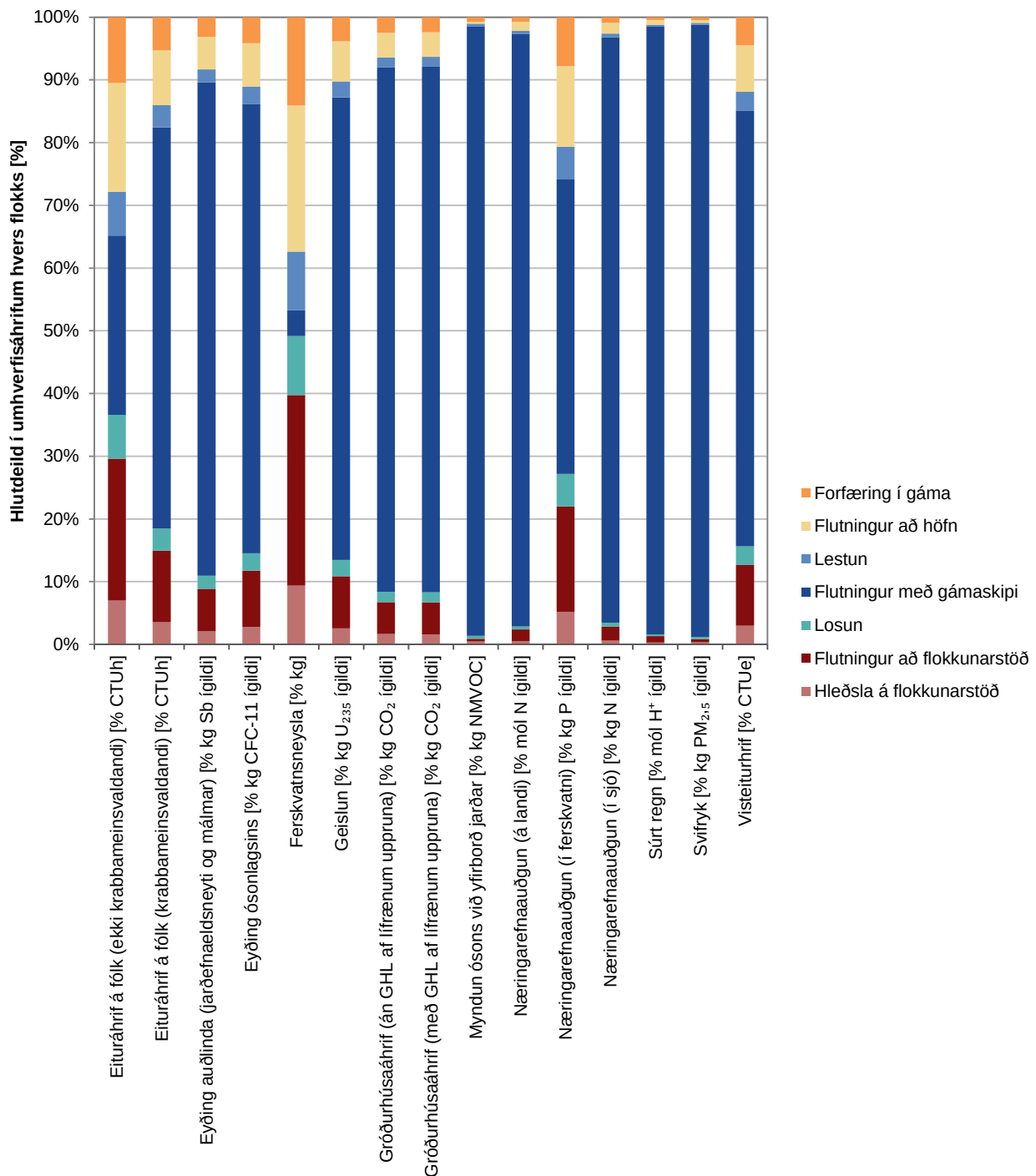
US-EPA, United States Environmental Protection Agency (2011). *Final Rule - Deferral for CO2 emissions from Bioenergy and Other Biogenic Sources under the Prevention of Significant Deterioration (PSD) and Title V Program.*

6 Viðauki

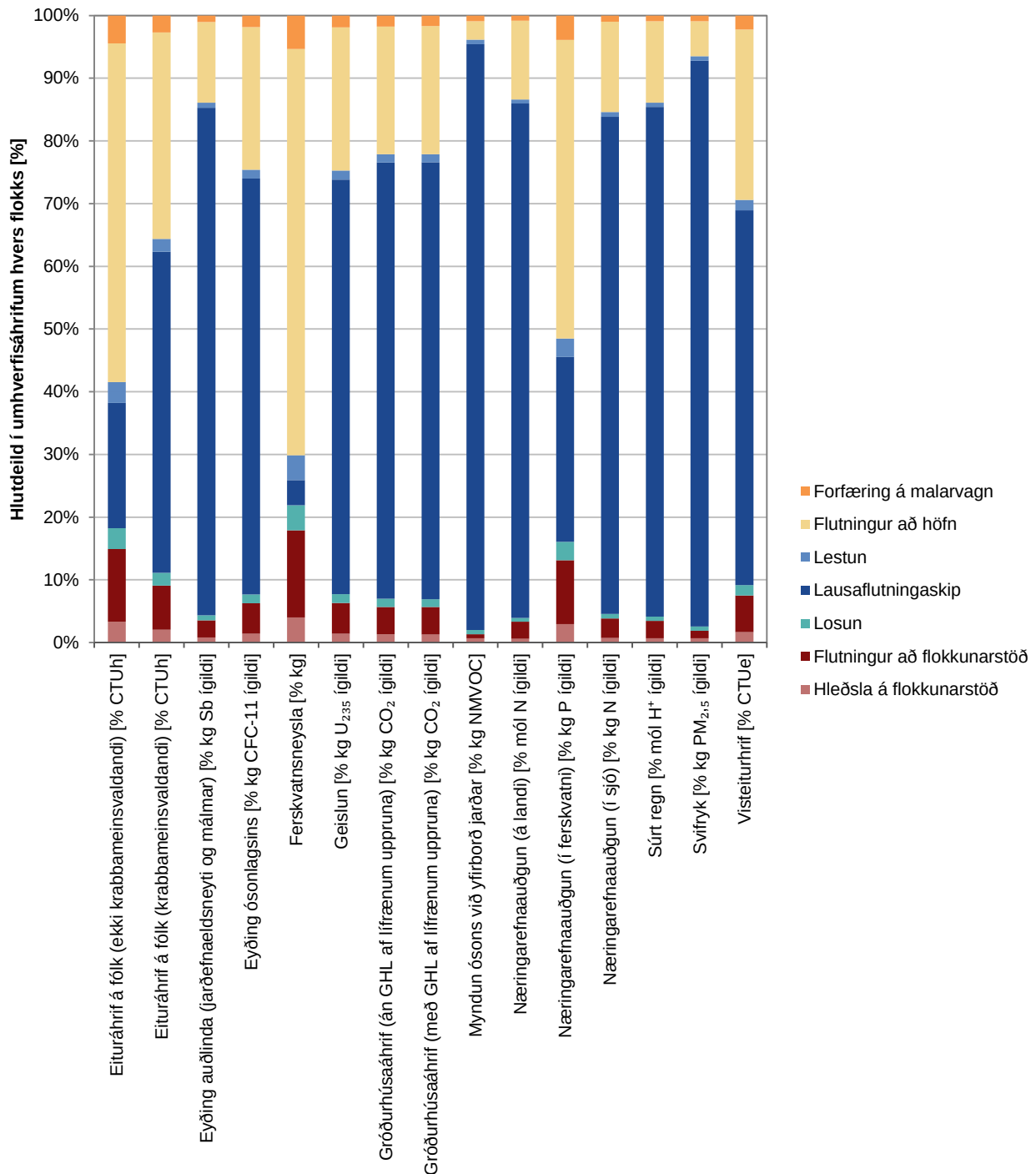
Umhverfisáhrif fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem ILCD aðferðin leggur til.



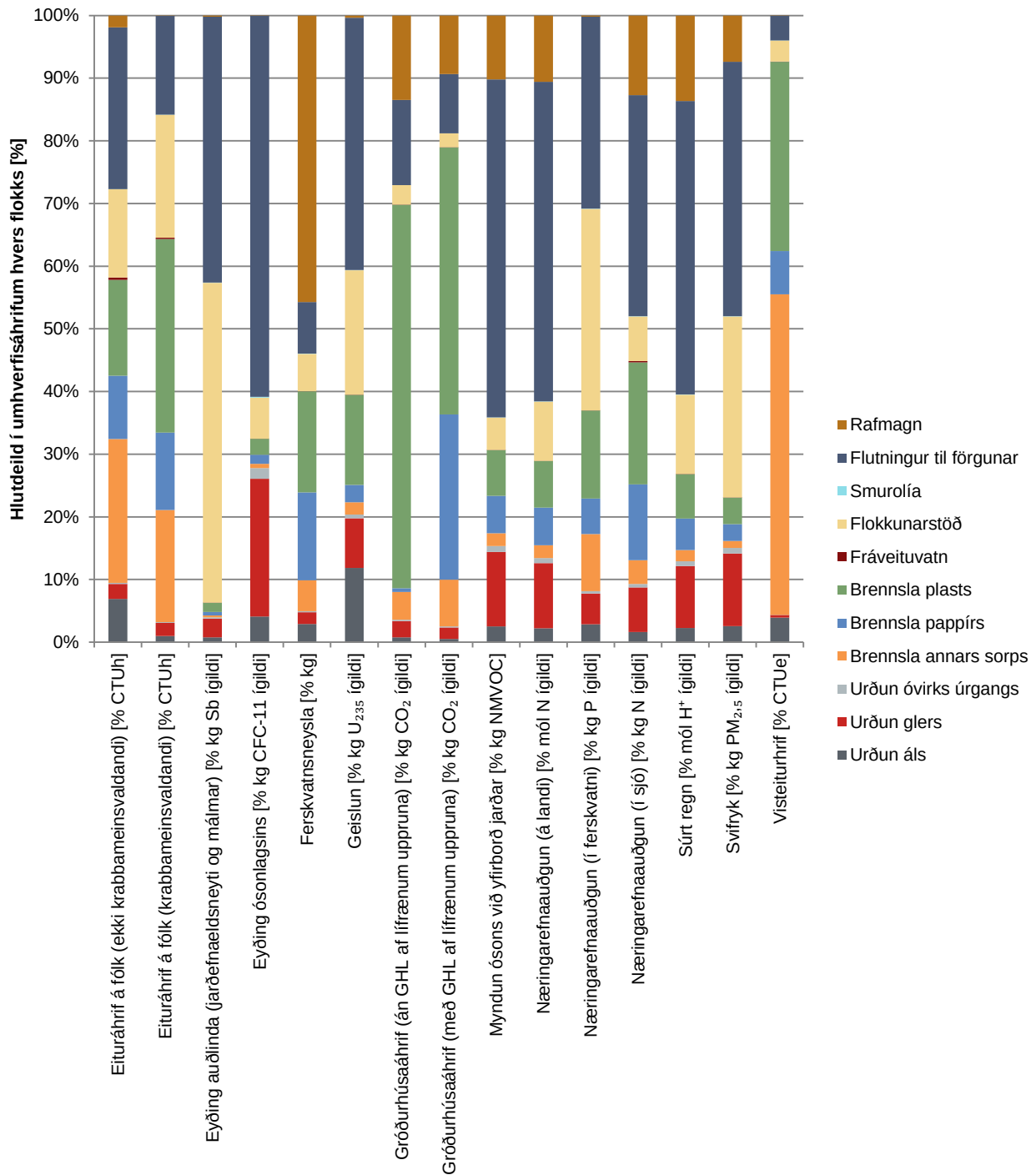
Mynd 6.1. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum söfnunar glers á söfnunarstaði fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.



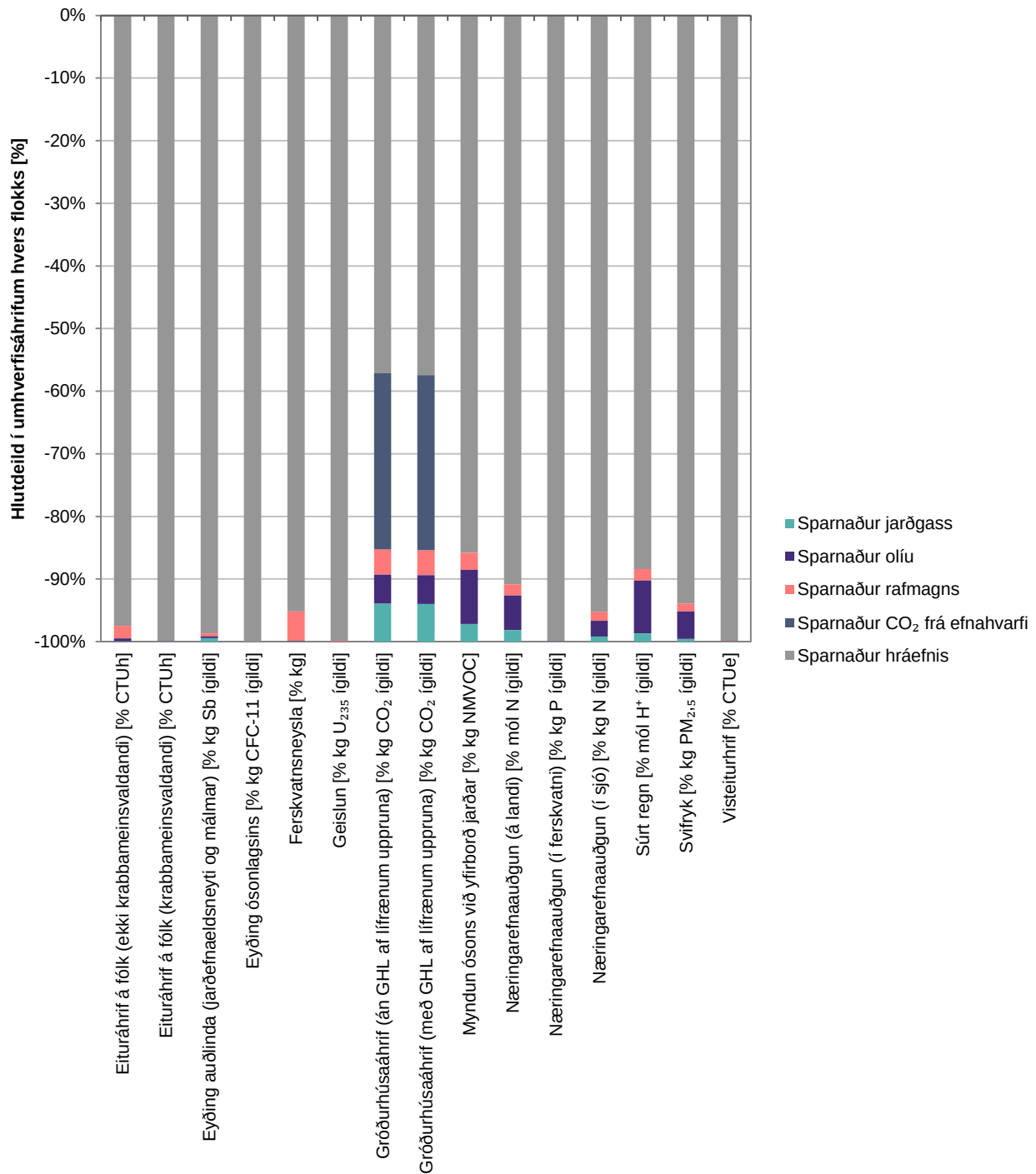
Mynd 6.2. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af flutningum glers innanlands í gámum, sjóflutningum með gámaskipi og flutningum erlendis fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.



Mynd 6.3. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af flutningum glers innanlands á malarvagni, sjóflutningum með lausaflutningaskipi og flutningum erlendis fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.



Mynd 6.4. Hlutdeild mismunandi þátta í umhverfisáhrifum af hreinsun og flokkun glers fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.



Mynd 6.5. Hlutdeild mismunandi þátta í hagnaði af endurvinnslu glers fyrir alla þá flokka umhverfisáhrifa sem lagðir eru til í ILCD handbókinni.