

LV-2018-064



Landsvirkjun



Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Fljótsdalsstöð

Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Fljótsdalsstöð

Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2018-064

Dags: 5. nóvember 2018

Fjöldi síðna: 44

Upplag:

Dreifing:

- Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð til

Titill: Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsaflí. Fljótsdalsstöð.

Höfundar/fyrirtæki: EFLA verkfræðistofa: Gyða M. Ingólfssdóttir og Helga J. Bjarnadóttir

Verkefnisstjóri: Ragnheiður Ólafsdóttir

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Samvinnuaðilar: _____

Útdráttur: Í þessari skýrslu er að finna uppfærðar niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir Fljótsdalsstöð, en hún kom upphaflega út árið 2011. Metin eru umhverfisáhrif frá framleiðslu og flutningum byggingarefna, framleiðslu og flutningum vél- og rafbúnaðar, orkunotkun og úrgangi frá framkvæmdum og rekstri stöðvarinnar í 100 ár. Niðurstöðurnar eru tölulegar upplýsingar um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar og þær leiða í ljós að fyrir þá flokka umhverfisáhrifa sem skoðaðir eru að umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð er með því minnsta sem gerist við raforkuvinnslu á heimsvísu. Kolefnisspor raforkuvinnslu í stöðinni er lítið, 1,2 g CO₂ ígildi/kWst. Þá draga niðurstöðurnar fram hvar eru helstu tækifæri til úrbóta á vistferli vatnsaflstöðvarinnar.

Lykilorð: Vistferilsgreining, LCA, kolefnisspor, vatnsorka, Fljótsdalsstöð

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

SAMANTEKT

Árið 2011 var gefin út skýrsla með niðurstöðum vistferilsgreiningar fyrir raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð [1]. Frá þeim tíma hefur þekking á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana Landsvirkjunar aukist og byggir sú nýja þekking á rannsóknum sem unnar voru af Háskóla Íslands og Landgræðslu ríkisins [2]. Þá hefur átt sér stað mikil þróun í gagnagrunnum sem hafa að geyma bakgrunnsgögn fyrir gerð vistferilsgreininga [3]. Vegna þessarar þróunar hefur vistferilsgreiningin fyrir Fljótsdalsstöð verið uppfærð og í þessari skýrslu er að finna uppfærðar niðurstöður. Samantekið snýr uppfærslan að eftirfarandi þáttum:

- Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum aflstöðvarinnar í samræmi við nýja þekkingu skv. niðurstöðum rannsókna.
- Endurmat á áætlaðri orkuvinnslugeta Fljótsdalsstöðvar.
- Ferlar í líkani uppfærðir í samræmi við nýjustu útgáfu gagnagrunns hugbúnaðarins GaBi.
- Ferlar settir upp í líkani fyrir framleiðslu sprengiefna, en slíkir ferlar voru ekki aðgengilegir áður.
- Upplýsingar fyrir rekstur stöðvarinnar uppfærðar og byggja upplýsingar nú á lengra tímabili.

Vistferilsgreiningin er liður í að meta umhverfisáhrif raforkuvinnslu í aflstöðvum Landsvirkjunar. Greiningin fylgir aðferðarfræði skv. alþjóðlegu stöðlunum ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga, þá er einnig unnið í samræmi við evrópustaðal EN 15978 um sjálfbærni í byggingariðnaði og stuðst við leiðbeiningar um framkvæmd vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsinga (e. *Environmental Product Declaration*) til að tryggja samanburðarhæfni við sambærilegar greiningar.

Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er vinnsla á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð og gert er ráð fyrir 100 ára líftíma aflstöðvarinnar. Niðurstöðurnar sýna umhverfisáhrif í sjö flokkum umhverfisáhrifa; gróðurhúsaáhrif, súrnun lands og vatns, myndun ósons við yfirborð jarðar, næringarefnaauðgun, eyðing ósonlagsins, eyðing ólfrænna auðlinda og eyðing jarðefnaeldsneytis.

Kolefnisspor raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð er lágt, 1,2 g CO₂ ígildi/kWst, þar sem framleiðslufasinn veldur 29% af kolefnissporinu, flutningar á verkstað og framkvæmdir 40% og rekstur 31%. Í rekstrarfasa má rekja stærsta hluta kolefnissporsins til losunar gróðurhúsalofttegunda frá lónum, 0,3 g CO₂ ígildi/kWst. Að öðru leyti sýna niðurstöðurnar að framkvæmdafasinn vegur þungt í fjórum af ofangreindum umhverfisáhrifaflokkum. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum veldur neikvæðum umhverfisáhrifum í þremur flokkum og öflun hráefna og framleiðsla búnaðar bæði á framkvæmdatíma og við endurnýjun veldur stærstum hluta umhverfisáhrifa í tveimur flokkum og hefur jafnframt áhrif í öllum flokkum. Þeir þættir sem valda mestum áhrifum yfir allan vistferilinn eru framleiðsla sements, framleiðsla spenna og rafbúnaðar, framleiðsla og brennsla jarðefnaeldsneytis vegna flutninga og framkvæmda auk losunar gróðurhúsalofttegunda frá lónum.

Samanborið við niðurstöður greiningarinnar frá árinu 2011 eru áhrifin metin á bilinu 46% - 78% lægri í sex af sjö flokkum, en í flokknum næringarefnaauðgun hafa áhrifin aukist talsvert, en nú er tekið tillit til næringarefnaauðgunar í lóni aflstöðvarinnar sem ekki var reiknað með í fyrri greiningu. Kolefnissporið er nú metið 54% lægra en í fyrri greiningu, að stærstum hluta vegna endurreiknaðrar losunar frá lónum og skiptir aukin orkuvinnslugeta hér einnig máli.

Nú hefur orkubúskapur Fljótsdalsstöðvar einnig verið metinn og telst hann góður þar sem orkuarðsemi stöðvarinnar er 250, þ.e. 250 sinnum meiri orka er unnin í stöðinni en þarf til að byggja og reka stöðina í 100

ár. Þá er endurgreiðslutími orku tæplega 5 mánuðir (0,40 ár), þ.e. að þeim tíma loknum í rekstri er aflstöðin búin að vinna jafnmikla orku og notuð er yfir allt vistferli afstöðvarinnar.

Af niðurstöðunum er hægt að draga lærdóm af því hvar er hagkvæmast að vinna að úrbótum á rekstrartíma stöðvarinnar og hverju á að huga að þegar nýjar vatnsaflsstöðvar eru hannaðar og byggðar. Tækifæri til úrbóta liggja m.a. í ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis og því að taka þátt í orkuskiptum í samgöngum og tækjabúnaði, að settar séu kröfur er varða umhverfismál á verktaka, þjónustu- og efnisbirgja sem og við innkaup, lágmarka þörf fyrir aðflutninga og stytta flutningsvegalengdir auk þess að huga vel að vali á lónstæðum í framtíðar vatnsaflsvirkjunum fyrirtækisins. Þá nýtast niðurstöðurnar við hönnun nýrra mannvirkja fyrir aflstöðvar, t.d. hvað varðar efnisnotkun og efnisval, en greiningin sýnir að steypa og stál eru þau byggingarefni sem hafa mest áhrif á kolefnissporið. Því liggja stærstu tækifæri til að draga úr gróðurhúsaáhrifum vegna mannvirkja í því að haga hönnun þannig að þessi byggingarefni séu nýtt með sem bestum hætti at teknu tilliti til annarra krafa sem mannvirkið þarf að uppfylla.

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru enn fremur grunnur fyrir umhverfisýfirlýsingu (Environmental Product Declaration, EPD) fyrir framleiðslu raforku með vatnsafla og er hægt að leggja slíkar upplýsingar inn í alþjóðlega gagnabanka um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar og nýtast þannig viðskiptavinum Landsvirkjunar og notendum raforkunnar við útreikninga á umhverfisáhrifum sinnar vöru eða í loftslagsbókhald viðkomandi reksturs.

Niðurstöður greiningarinnar leiða í ljós að í samanburði við aðra kosti við raforkuvinnslu þá er orkuvinnsla í Fljótsdalsstöð umhverfislega hagkvæm hvað varðar þá sjö flokka umhverfisáhrifa sem metnir eru og orkubúskap, hvort sem borið er saman við endurnýjanlega eða óendurnýjanlega orkugjafa. Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru tölulegar upplýsingar um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar og þær staðfesta að orkuvinnsla Landsvirkjunar í Fljótsdalsstöð er umhverfislega hagkvæm og með lágt kolefnisspor.

SUMMARY

In 2011 Landsvirkjun published the results of a Life Cycle Assessment (LCA) for electricity generation in Fljótisdalur Hydropower Station [1]. Since the publishing of that report the University of Iceland and the Soil Conservation Service of Iceland have carried out research on greenhouse gas emissions from one of Landsvirkjun's hydropower reservoir [2]. Additionally, the databases used for performing LCAs are under constant development [3]. The LCA for Fljótisdalur Station has therefore been updated and the updated results can be found in this report. In summary, the update relates to the following factors:

- Greenhouse gas emissions from reservoirs have been recalculated in accordance with the results of the above-mentioned research.
- The energy-generating capacity of Fljótisdalur Station has been reevaluated.
- The LCA model has been updated in accordance with the latest version of the GaBi software database.
- Life cycle inventory processes to produce explosives have been added to the model, as these were not accessible before.
- The life cycle inventory for the operation of the power station now covers a longer period.

This LCA is one step in the process of assessing the environmental impacts of electricity generation in Landsvirkjun's power stations. The analysis is done in accordance with the international standards ISO 14040 and ISO 14044 for life cycle assessment and the European standard EN 15978 on the Sustainability of construction works. Furthermore, reference is made to Product Category Rules for the assessment of the environmental performance of electrical energy. This is done to ensure comparability with other LCAs' for electricity generation.

The functional unit is chosen 1 kWh electricity generated in Fljótisdalur Station and a lifetime of 100 years is assumed. Results are shown for seven environmental impact categories; emissions of greenhouse gases, acidification, photochemical ozone creation, ozone depletion, eutrophication, depletion of abiotic resources and depletion of fossil resources.

The carbon footprint for electricity generation in Fljótisdalur hydropower station is small, 1.2 g CO₂ eq./kWh, with a 29% contribution from the production stage, 40% from the construction process stage and 31% from the operational stage. During the operational stage, the largest contributor to the carbon footprint is the greenhouse gas emissions from the reservoirs, 0.3 g CO₂ eq./kWh. The study reveals that the construction process stage is the main contributor to environmental impacts in four impact categories of the seven assessed in the LCA. Greenhouse gas emissions from reservoirs gives negative impacts in three categories, and the production stage, i.e. manufacturing of construction products and electromechanical equipment, is the main contributor in two impact categories and is relevant in all seven impact categories assessed. The factors that give the highest impact throughout the entire life cycle are the production of cement, production of transformers and electrical equipment, the production and burning of fossil fuels during transport and construction stages and the emissions of greenhouse gases from reservoirs.

The results from the updated LCA are 46% - 78% lower than the results from 2011 for six of the seven impact categories. For the impact category eutrophication, the impact has significantly increased compared to the 2011 results. This is because in the updated LCA, eutrophication in the power stations reservoirs is accounted for, but was excluded in the earlier analysis. The carbon footprint is now estimated to be 54% lower than the

previously published footprint, mainly due to recalculation of greenhouse gas emissions from the reservoirs as well as the increased energy-generating capacity of the station.

The energy returned on energy invested (EROI) for the station has been assessed as 250, i.e. the power station generates 250 times more energy during the 100-year lifetime than is needed to deliver that energy. As such the power station can be considered a viable energy source. The energy payback time for the power station is found to be five months, meaning that after five months in full operation the station has generated as much energy as is needed to construct and operate the station.

The results highlight where the largest improvements can be made in terms of environmental impact from the station's operation and what should be considered when new hydropower stations are designed and constructed. Remedial actions include responsible use of fossil fuel and participation in energy transition for vehicles and machinery, setting environmental requirements that shall be implemented and/or fulfilled by contractors and suppliers, using a sustainable procurement plan for all purchases, minimizing the need for overseas transport and decreasing transport distances as much as possible, as well as carefully selecting future hydropower reservoir sites. In addition, the results can be used for improved design (eco-design) for future power stations, e.g. in terms of material selection and use. For instance, use of concrete and steel are the main construction materials affecting the carbon footprint. Herein lies an opportunity to reduce global warming impacts of new structures by optimizing the use of these materials without compromising other requirements such as the quality and durability.

Further use of the results include publication of Environmental Product Declaration (EPD) for hydroelectric power generation. Such declarations are third party verifications that the LCA fulfils international standards and can be accepted in international databases. That way, the LCA's results can be directly used by Landsvirkjun's customers when estimating their overall environmental impacts.

The results conclude that electricity generation in Fljótsdalur station is viable in terms of the environmental impact categories analysed and compared with other power generation alternatives, whether renewable or non-renewable energy sources. This confirms that Landsvirkjun's energy generation in Fljótsdalur Station is environmentally viable, with a small carbon footprint.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	1
SUMMARY	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	6
TÖFLUSKRÁ	6
ORÐSKÝRINGAR	7
1 INNGANGUR	8
1.1 Bakgrunnur verkefnisins	8
1.2 Uppfærsla á líkani	8
2 UPPFÆRÐ VISTFERILSGREINING FYRIR FLJÓTSDALSTÖÐ	9
2.1 Markmið og umfang	9
2.2 Aðgerðareining og líftími	9
2.3 Kerfismörk	9
2.4 Umhverfisáhrif	11
3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA	12
3.1 Orkuvinnsla í Fljótsdalsstöð	12
3.2 Framleiðslufasi og framkvæmdafasi (A1-A5)	12
3.3 Rekstrarfasi (B1-B6)	14
3.4 Endurvinnsla úrgangs (D)	16
4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR	18
4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Fljótsdalsstöðvar (A-D)	18
4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi	19
4.3 Umhverfisáhrif á mismunandi fösum vistferils	20
4.4 Kolefnisspor	23
4.5 Eyðing jarðefnaeldsneytis	26
4.6 Súrnun lands og vatns	28
4.7 Önnur umhverfisáhrif	30
4.8 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Fljótsdalsstöðvar	30
4.9 Orkubúskapur	32
5 UMRÆÐUR	34
5.1 Uppfærðar niðurstöður	34
5.2 Gæði gagna	35
5.3 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum á norðurslóðum	36
5.4 Hvar losna gróðurhúsalofttegundirnar	37
5.5 Kolefnisspor orkugjafa	38
5.6 Tækifæri til úrbóta	40
6 LOKAORÐ	43
7 HEIMILDASKRÁ	45

MYNDASKRÁ

Mynd 1	Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar fyrir Fljótsdalsstöð	10
Mynd 2	Umhverfisáhrif frá vinnslu á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð	18
Mynd 3	Myndin sýnir innbyrðis vægi sjö flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum	19
Mynd 4	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti á framleiðslu	20
Mynd 5	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti í rekstri	21
Mynd 6	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti við endurvinnslu úrgangs	22
Mynd 7	Kolefnisspor orkuvinnslu Fljótsdalsstöðvar er 1,2 g CO ₂ ígildi fyrir hverja unna kílóvattstund	24
Mynd 8	Hlutdeild einstakra þátta í kolefnisspori Fljótsdalsstöðvar	25
Mynd 9	Hlutdeild einstakra þátta á eyðingu jarðefnaeldsneytis í vistferli Fljótsdalsstöðvar	27
Mynd 10	Hlutdeild einstakra þátta á súrnun lands og vatns í vistferli Fljótsdalsstöðvar	29
Mynd 11	Heildarorkuvinnsla og orkuþörf yfir vistferil Fljótsdalsstöðvar	32
Mynd 12	Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa	33
Mynd 13	Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa	33
Mynd 14	Hlutfallsleg breyting á niðurstöðum vistferilsgreiningar fyrir Fljótsdalsstöð	35
Mynd 15	Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Fljótsdalsstöðvar skiptist	38
Mynd 16	Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum	39
Mynd 17	Niðurstöður vistferilsgreininga fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsafla	40

TÖFLUSKRÁ

Tafla 1	Hlutar vistferils raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð sem liggja innan kerfismarka	10
Tafla 2	Magn sprengiefna sem reiknað var með í greiningunni skipt upp eftir verksamningum	13
Tafla 3	Uppfærðar magntölur vegna orkunotkunar, úrgangs, spilliefna og losunar SF ₆	14
Tafla 4	Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæða Fljótsdalsstöðvar (efstu 30 cm)	15
Tafla 5	Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO ₂ og CH ₄) frá lónum Fljótsdalsstöðvar á 100 árum	15
Tafla 6	Reiknuð súrefnisupptaka vegna losunar CO ₂ í andrúmsloft frá lónum	16
Tafla 7	Yfirlit yfir hvar á vistferlinum mismunandi flokkar úrgangs sem fara til endurvinnslu verða til	16
Tafla 8	Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni	17
Tafla 9	Hlutfallsleg skiptingu áhrifa (%) í metnum flokkum umhverfisáhrifa	31
Tafla 10	Orkubúskapur Fljótsdalsstöðvar á 100 ára líftíma	32
Tafla 11	Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum á hverja unna kWst	36
Tafla 12	Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum	37
Tafla 13	Kolefnisspor vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum	39

ORÐSKÝRINGAR

Aðgerðareining	(<i>e. Functional unit</i>). Viðmiðunareining vistferilsgreiningar. Notuð til samanburðar á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir sambærilega vöru eða þjónustu.
Endurgreiðslutími orku	(<i>e. Energy payback time</i>). Sá tími sem líður þangað til að hlutföll verða 1:1 milli heildarorkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar á líftíma (sjá neðar).
Kerfismörk	(<i>e. System boundaries</i>). Afmörkun þess kerfis sem taka á með í vistferilsgreiningunni.
Kolefnisspor	(<i>e. Carbon footprint</i>). Mælikvarði á gróðurhúsaáhrifum, þ.e. á heildarlosun koltvísýrings (CO ₂) og annarra gróðurhúsalofttegunda sem rekja má til athafna mannsins og hefur áhrif á loftslagsbreytingar. Kolefnisspor er gefið upp í CO ₂ -ígildum.
LCIA	Niðurstöður vistferilsgreiningar (<i>e. Life Cycle Impact Assessment</i>).
Orkuarðsemi	(<i>e. Energy return on investment, EROI, eða Harvest factor</i>). Hlutfall milli heildarorkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar hennar á líftíma. Stærðin er notuð til að bera saman þá orku sem nýtist samfélaginu með orkuvinnslu við þá orku sem þarf til að geta nýtt hana
Orkuþörf yfir vistferil	(<i>e. Primary energy demand, PED, eða Cumulative energy demand, CED</i>). Samanlögð orkuþörf aflstöðvar á öllum vistferli hennar. Orkan er gefin upp í samræmi við orkuinnihald orkugjafa, t.d. orkuinnihaldi eldsneytis eða virkjanlegri fallorku vatns.
Stöðlun	(<i>e. Normalization</i>). Við stöðlun eru niðurstöður settar í samhengi við heildarlosun á ákveðnu svæði eða heildarlosun einstaklings.
Umhverfisáhrifaflokkur	(<i>e. Environmental impact category</i>). Flokkur sem vísar til tegundar umhverfisáhrifa. Dæmi um umhverfisáhrifaflokk eru gróðurhúsaáhrif, eyðing auðlinda, svifryk, visteiturhrif og næringarefnaauðgun.
Umhverfisýfirlýsing (EPD)	(<i>e. Environmental Product Declaration, EPD</i>). Yfirlýsing eða skjal um umhverfisáhrif vöru. Við gerð umhverfisýfirlýsinga er reglum um viðeigandi vöruflokk fylgt (<i>e. Product Category Rules</i>) og er yfirlýsingin tekin út af þriðja aðila skv. staðli (ISO 14025). Skjalið gefur ekki til kynna að varan eða þjónustan sé umhverfisvæn, heldur veitir eingöngu gagnsæjar og samanburðarhæfar upplýsingar um umhverfisáhrif vöru.
Vigtun	(<i>e. Weighting</i>). Staðlaðar niðurstöður eru vigtaðar, en vigtunin byggir á því að hver flokkur umhverfisáhrifa hefur skilgreint ákveðið vægi sem getur t.d. verið byggt á pólitískum markmiðum um lækkun eða á skoðunum sérfræðinga.
Vistferilsgreining (LCA)	(<i>e. Life Cycle Assessment, LCA</i>). Aðferðafræði til þess að meta umhverfisáhrif vöru eða þjónustu yfir allan vistferil hennar, á skilgreindum líftíma. Aðferðin er stöðluð og því má nýta niðurstöður til samanburðar við sambærilega vöru eða þjónustu. Undanfari vistferilsgreiningar er gagnasöfnun (<i>e. Life Cycle Inventory, LCI</i>). Í framhaldinu er lagt mat á umhverfisáhrif vöru eða þjónustu í mismunandi flokkum umhverfisáhrifa (<i>e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA</i>).

1 INNGANGUR

1.1 Bakgrunnur verkefnisins

Í þessari skýrslu er að finna uppfærðar niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir Fljótsdalsstöð, stærstu vatnsaflsstöð Landsvirkjunar. Árið 2011 kom út skýrsla Landsvirkjunar *Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafl, Fljótsdalsstöð (LV-2011-086)* [1]. Í henni er að finna niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir byggingu og rekstur Fljótsdalsstöðvar. Frá útgáfu skýrslunnar hefur þekking á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana Landsvirkjunar aukist og byggir sú nýja þekking á rannsóknum sem unnar voru af Háskóla Íslands og Landgræðslu ríkisins [2]. Þá hefur orðið mikil þróun í gagnagrunnum sem hafa að geyma bakgrunnsgögn fyrir gerð vistferilsgreininga og er nú meira til af gögnum varðandi ýmis ferli [3]. Vegna þessarar þróunar hefur vistferilsgreiningin fyrir Fljótsdalsstöð verið uppfærð. Vísað er til ofangreindrar skýrslu Landvirkjunar varðandi upplýsingar um aðferðarfræði vistferilsgreiningar, bakgrunn verkefnisins og öflun og meðhöndlun upplýsinga fyrir útreikninga. Landsvirkjun vinnur nú að því að kortleggja umhverfisáhrif vegna raforkuvinnslu í aflstöðvum sínum og hafa vistferilsgreiningar einnig verið gefnar út fyrir Búðarhálsstöð [4] og fyrir vindmyllur á Hafinu við Búrfell [5].

1.2 Uppfærsla á líkani

Þeir þættir sem eru uppfærðir eru:

- Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum aflstöðvarinnar í samræmi við aukna þekkingu sem byggir á rannsóknum Háskóla Íslands og Landgræðslu ríkisins.
- Áætluð orkuvinnslugeta Fljótsdalsstöðvar uppfærð í samræmi við endurmat Landsvirkjunar, hækkar úr 4.950 GWst í 5.000 GWst á ári.
- Ferlar í líkani uppfærðir í samræmi við nýjustu útgáfu gagnagrunns hugbúnaðarins GaBi.
- Ferlar settir upp í líkani fyrir framleiðslu sprengiefna, en slíkir ferlar voru ekki aðgengilegir áður.
- Upplýsingar fyrir rekstur stöðvarinnar uppfærðar og byggja upplýsingar nú á lengra tímabili, eða 8 árum, árin 2009 – 2016 í staðin fyrir einu rekstrarári áður.

2 UPPFÆRÐ VISTFERILSGREINING FYRIR FLJÓTSDALSTÖÐ

2.1 Markmið og umfang

Markmið vistferilsgreiningarinnar er að meta umhverfisáhrif og notkun auðlinda við vinnslu raforku í Fljótsdalsstöð. Vistferilsgreiningin nær til vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og vélbúnaðar, flutningsferla, byggingu aflstöðvarinnar sem og rekstur og viðhald hennar. Ekki er tekið tillit til niðurrifs í greiningunni. Matið er framkvæmt með aðferðarfræði vistferilsgreiningar (e. *Life Cycle Assessment, LCA*) í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 [6] og ISO 14044 [7]. Einnig er stuðst við leiðbeiningar um framkvæmd vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsinga (e. *Environmental Product Declaration*) til að tryggja að niðurstöðurnar séu samanburðarhæfar við sambærilegar greiningar sem meðal annars hafa verið gerðar hérlandis og á Norðurlöndunum [8]. Þá er einnig unnið í samræmi við evrópustaðal EN 15978 um sjálfbærni í byggingariðnaði [9].

2.2 Aðgerðareining og líftími

Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er **vinnsla á 1 kWst raforku í Fljótsdalsstöð**. Gert er ráð fyrir 100 ára líftíma aflstöðvarinnar í þessari greiningu [8], en á þessum tíma er gert ráð fyrir að ýmis vél- og rafbúnaður hafi skemmri endingatíma. Umhverfisáhrifin eru reiknuð fyrir 100 ár og er því gert ráð fyrir endurnýjun vél- og rafbúnaðar sem og steypuviðhaldi á rekstrartímanum.

Meðalorkuvinnsla Fljótsdalsstöðvar til lengri tíma hefur verið metin 5.000 GWst á ári og er notast við þá stærð við mat á umhverfisáhrifum fyrir hverja unna orkueiningu í stöðinni á 100 árum.

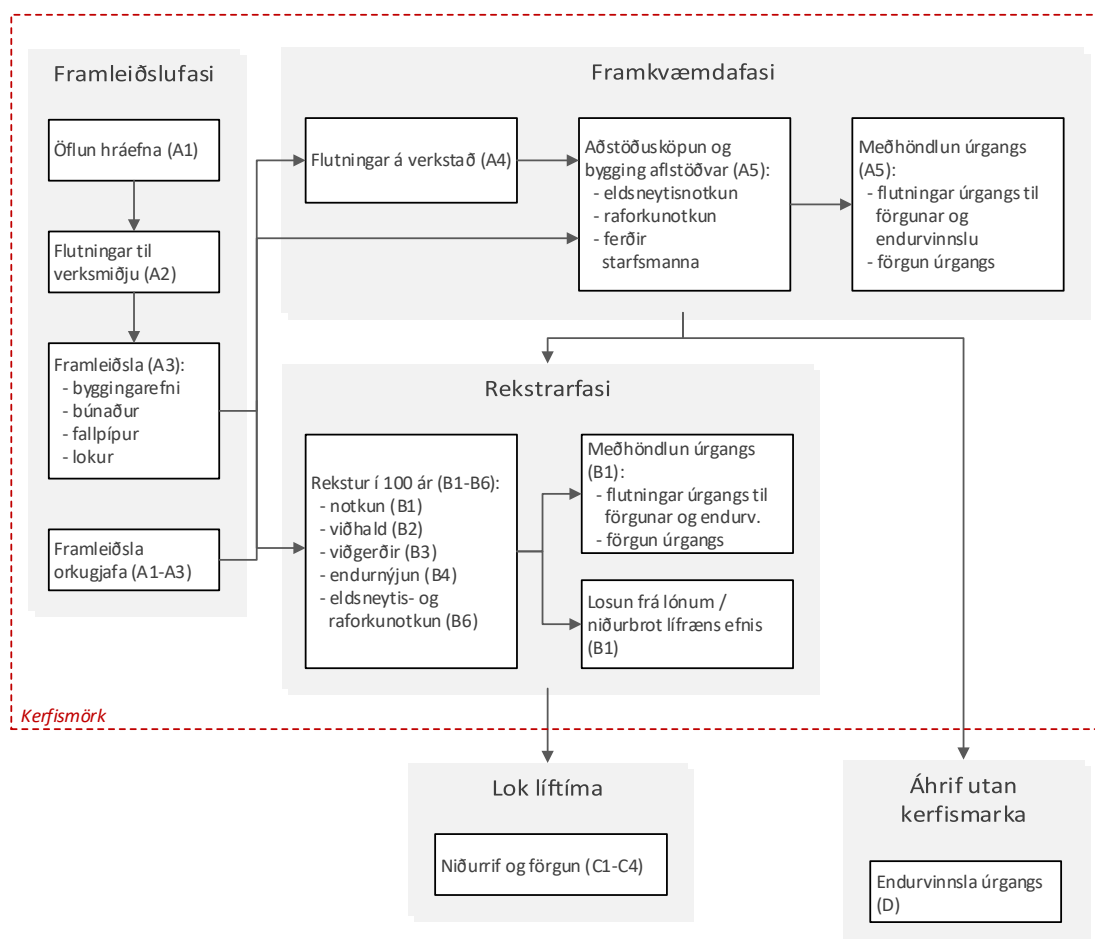
2.3 Kerfismörk

Vistferilsgreiningin nær yfir öflun og vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og vél- og rafbúnaðar, flutninga byggingarefna, búnaðar og starfsfólks, byggingu Fljótsdalsstöðvar sem og rekstur og viðhald stöðvarinnar í 100 ár. Ekki er gert ráð fyrir að aflstöðin sé rifin að loknum 100 ára líftíma, heldur er gert ráð fyrir að aflstöðin sé enn starfhæf eftir 100 ár, enda er gert ráð fyrir viðhaldi stöðvarinnar í greiningunni [8]. Þessi nálgun er í samræmi við aðrar vistferilsgreiningar sem gerðar hafa verið fyrir vatnsaflsstöðvar. Þá sinnir Landsvirkjun viðamiklu viðhaldsstarfi í vatnsaflsstöðvum sínum

og því er það metið að þessi nálgun sé rétt. Í töflu 1 má sjá hvaða hlutar vistferilsins falla innan kerfismarka greiningarinnar og flokkun samkvæmt staðlinum EN 15978. Einfölduð mynd af kerfismörkum þessarar greiningar má sjá á mynd 1. Gert er ráð fyrir að aflstöðin sé enn starfhæf að loknum 100 árum.

TAFLA 1 Hlutar vistferils raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð sem liggja innan kerfismarka og flokkun samkvæmt EN 15978.

Fasar í vistferli	Framleiðslufasi			Framkvæmdafasi		Rekstrarfasi							Lok líftíma				Áhrif utan kerfismarka
	Öflun hráefna	Flutningur til verksmiðju	Framleiðsla vöru	Flutningur á verkstað	Byggingarframkvæmd	Rekstur	Viðhald	Viðgerðir	Endurnýjun	Endurbætur	Orkunotkun í rekstri	Vatnsnotkun í rekstri	Niðurrif	Flutningur til förgunar	Meðhöndlun úrgangs	Förgun	Endurnotkun, endurheimt orku, endurvinnsla
Flokkur skv. EN 15978	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	D
Innan kerfismarka	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x						x



MYND 1 Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar fyrir Fljótsdalsstöð. Greiningin felur í sér vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og búnaðar, flutninga hráefna, byggingarefna, búnaðar og úrgangs, byggingu aflstöðvarinnar sem og rekstur og viðhald hennar á 100 ára líftíma ásamt losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum.

2.4 Umhverfisáhrif

Við mat á umhverfisáhrifum í ólíkum flokkum áhrifa er notast við aðferðarfræði CML [10]. Þetta er í samræmi við þær kröfur sem gerðar eru fyrir birtingu niðurstaða fyrir orkuvinnslu í umhverfisyfirlýsingum og í samræmi við EN 15978. Eftirfarandi flokkar umhverfisáhrifa eru metnir í þessari greiningu:

- Gróðurhúsaáhrif
- Súrnun lands og vatns
- Myndun ósons við yfirborð jarðar
- Næringarefnaauðgun
- Eyðing ósonlagsins
- Eyðing ólífrænna auðlinda
- Eyðing jarðefnaeldsneytis

Þessum flokkum er nánar lýst í viðauka A. Til viðbótar eru einnig metnir mikilvægir þættir sem varða orkubúskap aflstöðvarinnar; þ.e. orkuþörf á líftíma (e. *Primary energy demand, PED*, eða *Cumulated energy demand, CED*), orkuarðsemi (e. *Harvest factor eða Energy return on energy invested, EROI*) og endurgreiðslutími orku (e. *Energy payback time*), sjá kafla 4.9.

3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA

Tölulegum upplýsingum var safnað fyrir þá þætti sem liggja innan kerfismarka greiningarinnar og þær notaðar til að stilla upp líkani og reikna umhverfisáhrif aflstöðvarinnar. Notaður var hugbúnaðurinn GaBi við gerð vistferilsgreiningarinnar. Dæmi um upplýsingar sem var safnað eru notkun eldsneytis og raforku, magn byggingarefna sem og meðhöndlun úrgangs. Vegna framleiðslu hráefna, staðbundinnar orkuvinnslu, flutninga, ýmissa vinnsluferla o.fl. var stuðst við bakgrunnsgögn úr alþjóðlegum gagnabanka frá GaBi [3].

Vísað er í fyrri skýrslu Landsvirkjunar um vistferilsgreiningu fyrir Fljótsdalsstöð ([LV-2011-086](#)) þar sem upplýsingaöflun fyrir hvern þátt vistferilsgreiningarinnar er lýst [1]. Hér verður gert grein fyrir þeim þáttum þar sem breytingar hafa átt sér stað vegna uppfærslu vistferilsgreiningarinnar.

3.1 Orkuvinnsla í Fljótsdalsstöð

Byggt á reynslu af rekstri Fljótsdalsstöðvar hefur áætluð raforkuvinnsla hennar verið endurmetin. Hún er nú áætluð 5.000 GWst á ári til lengri tíma sem er 50 GWst aukning á ári miðað við fyrri greiningu.

3.2 Framleiðslufasi og framkvæmdafasi (A1-A5)

Framleiðslufasi og framkvæmdafasi vegna Fljótsdalsstöðvar eru skilgreindir sem:

- Framleiðsla og flutningar byggingarefna fyrir aðstöðusköpun og byggingu aflstöðvar (A1-A4).
- Framleiðsla og flutningar vél- og rafbúnaðar sem og stöðvarhússkrana, fallpípa og loka (A1-A4).
- Úrgangur frá framkvæmdum (A5).
- Eldsneytis- og raforkunotkun við framkvæmdir (A5).
- Ferðir starfsmanna verktaka og Landsvirkjunar (A5).

3.2.1 Uppfærðir ferlar

Við gerð vistferilsgreiningarinnar er notast við ferla úr gagnabanka GaBi, meðal annars fyrir framleiðslu ólíkra byggingarefna, notkun farartækja, meðhöndlun úrgangs og fleira. Gagnabankar fyrir gerð

vistferilsgreininga eru í sífelldri þróun þar sem stöðugt þarf að bæta gæði þeirra gagna sem nú eru í gagnaböndkunum og stöðugt er unnið að því að búa til ferla fyrir fleiri framleiðsluvörur. Þá er mikilvægt að nýjrir ferlar séu gerðir í samræmi við staðlaðar aðferðir. Töluverð vinna hefur farið fram við að uppfæra ferla í gagnagrunni GaBi fyrir ýmsar byggingavörur í samræmi við Evrópustaðaðlinn EN 15978 [9]. Við uppfærslu vistferilsgreiningarinnar fyrir Fljótsdalsstöð var ferlum skipt út fyrir uppfærða ferla þegar nýjrir og uppfærðir ferlar voru til staðar. Fyrir eftirfarandi byggingarefni var líkan Fljótsdalsstöðvar uppfært vegna þess að tiltækir eru nýjrir og uppfærðir ferlar í samræmi við EN 15978:

- Stál.
- Steypu fyrir framkvæmdir og viðhald.
- Sement.
- Timbur.
- Frárennislagnir úr plasti.
- Kopar fyrir spennu og koparvív fyrir strengi.

3.2.2 Nýjrir ferlar

Strengir frá SAGEM sem liggja í strengjagöngum frá stöðvarhúsi eru samsettir úr áli, tveimur tegundum af plasti, kopar og öðrum hráefnum í litlu magni. Í upphaflegri greiningu var reiknað með að allt plast væri HDPE (High-Density Polyethylene) vegna takmarkana á umfangi gagnagrunns. Í uppfærðri greiningu er nú reiknað með ferlum fyrir annars vegar framleiðslu á HDPE og hins vegar framleiðslu á PEX (Cross-Linked Polyethylene), en strengirnir eru í raun samsettir úr 36% PEX og 18% HDPE.

Þegar vistferilsgreiningin fyrir Fljótsdalsstöð kom út árið 2011 var ekki reiknað með umhverfisáhrifum vegna framleiðslu sprengiefna þar sem upplýsingar voru ekki fáanlegar í gagnagrunnum. Nú liggja fyrir upplýsingar um framleiðslu hráefna fyrir sprengiefni svo að mögulegt er að áætla umhverfisáhrif frá framleiðslu þeirra. Notast var við ANFO sprengiefni, þ.e. ammoníumnítrat blandað olíu og eru magntölur fyrir sprengiefni fengnar úr lokaskýrslum framkvæmda fyrir aðrennislisgöng, stöðvarhús og öll verk Hraunaveitu. Þá var magn sprengiefna í námum fyrir fyllingarefni í Kárahnjúkastíflu, Sauðárdalsstíflu og Desjarárstíflu áætlað af sérfræðingum EFLU. Sjá má magntölur fyrir sprengiefni í töflu 2.

TAFLA 2 Magn sprengiefna sem reiknað var með í greiningunni skipt upp eftir verksamningum.

VERKSAMNINGUR	MAGN SPRENGIEFNA (TONN)	FORSENDUR
Kárahnjúkastífla (KAR 11)	4.250	Að meðaltali 0,5 kg sprengiefni/m ³ af efni og
Sauðárdalsstífla (KAR 12)	653	90% af efni í fyllingu í stíflur sprengt í námum.
Desjarárstífla (KAR 13)	1.396	Áætlað af sérfræðingum EFLU
Aðrennislisgöng (KAR 14)	972	
Stöðvarhús (KAR 15)	516	Að meðaltali 2 kg sprengiefni/m ³ af efni.
Hraunaveita (KAR 21-25)	1.300	Upplýsingar úr lokaskýrslum framkvæmda.
Samtals	9.088	

3.3 Rekstrarfasi (B1-B6)

Rekstur Fljótsdalsstöðvar felur í sér almennan rekstur aflstöðvarinnar og losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum, þar með talið:

- Meðhöndlun úrgangs frá almennum rekstri (B1).
- Losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum (B1).
- Viðhald og viðgerðir mannvirkja (B2-B3).
- Endurnýjun búnaðar (B4).
- Eldsneytis- og raforkunotkun (B6).

Í uppfærðri greiningu hafa magntölur fyrir meðhöndlun úrgangs, orkunotkun og losun á einangrunargasinu SF₆ frá almennum rekstri verið uppfærðar sem og losun gróðurhúsalofttegunda frá uppistöðulónum.

3.3.1 Rekstur aflstöðvar (B1-B6)

Í fyrri vistferilsgreiningu var rekstrarárið 2009 lagt til grundvallar fyrir eldsneytisnotkun, magn úrgangs og spilliefna sem og losun SF₆ í andrúmsloft á rekstrartíma stöðvarinnar. Þessar upplýsingar hafa nú verið uppfærðar og er reiknað með meðaltali árána 2009 – 2016. Í staðin fyrir að reikna með rekstri eitt starfsár er því nú reiknað með meðaltali fyrir átta ár í rekstri. Uppfærðar magntölur vegna reksturs stöðvarinnar má sjá í töflu 3.

TAFLA 3 Uppfærðar magntölur vegna orkunotkunar, úrgangs, spilliefna og losunar SF₆ í andrúmsloft á rekstrartíma Fljótsdalsstöðvar.

ÁÆTLAÐAR REKSTRARTÖLUR FYRIR 100 ÁRA REKSTUR		
Orkunotkun:		
Dísilolía	1.991.500	L
Bensín	44.500	L
Raforkunotkun	718	GWst
Úrgangur:		
Óflokkaður úrgangur	998.300	kg
Flokkaður úrgangur	1.969.000	kg
Hættulegur úrgangur (spilliefni)	96.100	kg
Losun í andrúmsloft:		
SF ₆	40	kg

3.3.2 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum (B1)

3.3.2.1 Endurmat á losun frá uppistöðulónum Fljótsdalsstöðvar

Í ljósi þess að nú liggja fyrir niðurstöður rannsókna á mögulegri losun kolefnis úr jarðvegi í lóni Landsvirkjunar hefur losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar verið endurmetin. Rannsóknirnar hafa leitt í ljós að minna kolefni losnar úr jarðvegi við myndun lóna en gert var ráð fyrir í fyrri greiningu. Áður var metið að helmingur kolefnis í jarðvegi lónstæða (efstu 30 cm) losnaði á 100 ára líftíma í samræmi við leiðbeiningar um gerð umhverfisyfirlýsinga fyrir raforkuvinnslu [8]. Við uppfært mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum var notast við niðurstöður rannsóknar Háskóla Íslands og Landgræðslu ríkisins sem fór fram að Búðarhálsi í lónstæði Sporðöldulóns í

september árið 2013 [2]. Í rannsókninni var jarðvegssýnum safnað á 12 mismunandi stöðum innan lónstæðis áður en land fór undir vatn. Á rannsóknarstofu voru sýni úr jarðvegskjörnum bleytt að „field capacity“ og losun koltvísýrings frá jarðvegi var mæld við staðlaðar aðstæður (25°C) í 365 daga og endurspeglar mælingarnar því hraðaða losun miðað við núverandi umhverfisaðstæður. Niðurstöður rannsóknarinnar leiddu í ljós að samanlögð losun kolefnis var um 10% af heildarkolefni jarðvegsins í efstu 30 cm jarðvegslagsins, en losun var mest í efstu 5 cm jarðvegs og nam allt að 16% af heildarkolefni [2]. Á grundvelli niðurstaða þessarar rannsóknar er í þessari greiningu reiknað með að 10% þess kolefnis sem fyrir finnst í lónstæðum losni úr efstu 30 cm jarðvegslags í andrúmsloft á 100 ára líftímanum..

Magn kolefnis í jarðvegi lónstæða Háslóns, Kelduárlóns, Ufsárlóns og Grjótárlóns var fengið frá Landbúnaðarháskóli Íslands (tafla 4). Upplýsingarnar byggja á mælingum á magni kolefnis í borkjörnum sem teknið voru í lónstæðunum. Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæðanna var svo metið byggt á vegnu meðaltali fyrir mismunandi gróðurþekju lónstæða. Skiptust lónstæðin í algróið, hálfgróið og ógróið land. Þá var hluti lónstæðis Háslóns þakið vatni og þeim hluta lónstæðis fylgir ekki losun en þar er ekki um að ræða breytta landnotkun. Þetta er í samræmi við skil Landbúnaðarháskólans til Loftslagssamningsins og á við á fleiri stöðum á landinu.

Þá er gert ráð fyrir að 10% af kolefninu sem losnar úr jarðveginum losni sem metan (CH₄) og 90% losni sem koltvísýringur (CO₂) [11]. Þetta er í samræmi við mat Landbúnaðarháskóla Íslands á árlegri losun frá lónum Landsvirkjunar sem birt er m.a. í grænu bókhaldi Landsvirkjunar. Samkvæmt ofangreindu er árleg losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar metin 1.532 tonn CO₂ ígildi og því er heildarlosun metin um 153 þúsund tonn CO₂ ígildi á 100 árum (tafla 5). Þess ber að geta að í fimmtu úttektarskýrslu Milliríkjanefndar um loftslagsbreytingar (IPCC) er eingöngu gefin upp losun metans frá lónum, en ekki koltvísýrings. Talið er að kolefni í jarðvegi sem losnar á formi koltvísýrings í andrúmsloft muni oxast og losna óháð myndun lóna [12]. Þar sem stærðargráða þessarar losunar CO₂ er hins vegar ekki þekkt eru báðar lofttegundir teknar inn í kolefnisspor orkuvinnslunnar í þessari greiningu. Því er hér heldur um varfærið mat að ræða.

TAFLA 4 Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæða Fljótsdalsstöðvar (efstu 30 cm), stærð lóna þar sem ekki var vatn fyrir og áætlað magn kolefnis sem losnar í andrúmsloft á 100 árum.

	KOLEFNI Í LÓNSTÆÐI (KG C/M ²)	STÆRÐ LÓNS (KM ²)	ÁÆTLAÐ MAGN KOLEFNIS SEM LOSNAR Í ANDRÚMSLOFT Á 100 ÁRUM (KG C)
Háslón	3,3	55,8	18.246.600
Kelduárlón	6,4	6,4	4.108.800
Ufsárlón	7,5	0,96	720.960
Grjótárlón	2,1	0,08	16.480
Samtals:	3,7*	63,2	23.092.840

* Vegið meðaltal

TAFLA 5 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO₂ og CH₄) frá lónum Fljótsdalsstöðvar á 100 árum.

	LOSUN CO ₂ (TONN)	LOSUN CO ₂ /KWST (g)	LOSUN CH ₄ (TONN)	LOSUN CH ₄ /KWST (g)
Öll lón Fljótsdalsstöðvar	76.206	0,15	3.079	0,006

3.3.2.2 Næringarefnaauðgun og myndun ósons við yfirborð vegna uppistöðulóna

Þegar lífrænt efni í lónstæðum brotnar niður, binst kolefni við súrefni sem er til staðar í vatninu og losnar út í andrúmsloftið sem CO₂. Jafnvægið í vistkerfi vatnsins raskast við þetta sem getur haft í för með sér næringarefnaauðgun sem getur leitt til súrefnisskorts í lóninu. Í vistferilsgreiningunni er tekið tillit til áhrifa losunar kolefnis sem CO₂ á styrk súrefnis í lóninu, í samræmi við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [8]. Súrefnisupptakan er gefin upp sem 2,67 gCOD fyrir hvert gramm kolefnis sem losnar sem CO₂. Í töflu 6 má sjá reiknaða súrefnisupptöku. Ekki var tekið tillit til hugsanlegrar losunar fosfórs í lónið sbr. leiðbeiningar um gerð umhverfisýfirlýsinga [8].

TAFLA 6 Reiknuð súrefnisupptaka vegna losunar CO₂ í andrúmsloft frá lónum [8].

REIKNUÐ SÚREFNISUPPTAKA	MAGN
tonn COD	55.492
g COD/kWst	0,11

Þá er mikilvægt að taka fram að myndun ósons við yfirborð jarðar er meðal annars knúin áfram af rokgjörnum lífrænum efnum, t.a.m. metani. Því hefur losun metans frá uppistöðulónum áhrif á myndun ósons við yfirborð jarðar.

3.4 Endurvinnsla úrgangs (D)

Í fyrri greiningu var ekki reiknaður ávinningur þess að úrgangur var sendur til endurvinnslu, heldur var einungis reiknað með flutningum úrgangsins til þjónustuaðila. Í uppfærslu vistferilsgreiningarinnar hefur ávinningi endurvinnslu verið bætt við. Reiknað er með að stál, kopar, plast og pappír fari í endurvinnslu. Í töflu 7 má sjá hvar á vistferlinum mismunandi úrgangsflokkar myndast.

Aðferðin sem hér er notuð til að meta jákvæð áhrif vegna endurvinnslu gengur út á að með endurvinnslu efna er komið í veg fyrir að framleiða þurfi ný hráefni í önnur vörumerki, með tilheyrandi námuvinnslu og orkunotkun. Úrgangur til endurvinnslu er hér því skilgreindur sem möguleg auðlind til notkunar í framtíðinni. Markaðsverð endurunnins stáls sem hlutfall af verði nýrra hráefna er notað til að reikna það hlutfall stáls sem gert er ráð fyrir að sé endurunnid og spari þá nýtt stál inn í annað vöruferli. Jákvæð umhverfisáhrif endurvinnslu stáls er síðan reiknað þannig að reiknuð eru umhverfisáhrif þess magns af nýju stáli sem sparast í annað vöruferli. [8]. Þessi aðferð er talin henta best við mat á áhrifum endurvinnslu, enda er söluverð endurunninna efna háð eftirspurn. Í þeim tilfellum þar sem hlutfall markaðsverðs og nýrra hráefna lá ekki fyrir var notast við útgefnar upplýsingar um nýtni endurvinnsluferla [13, 14, 15] (tafla 8).

TAFLA 7 Yfirlit yfir hvar á vistferlinum mismunandi flokkar úrgangs sem fara til endurvinnslu verða til.

	FRAMKVÆMDIR	FRAMLEIÐSLA BÚNAÐAR	VIÐHALD MANNVIRKJA	ENDURNÝJUN BÚNAÐAR	REKSTUR
Stál	X	x	x	x	x
Kopar		x		x	
Plast			x		x
Pappír					x

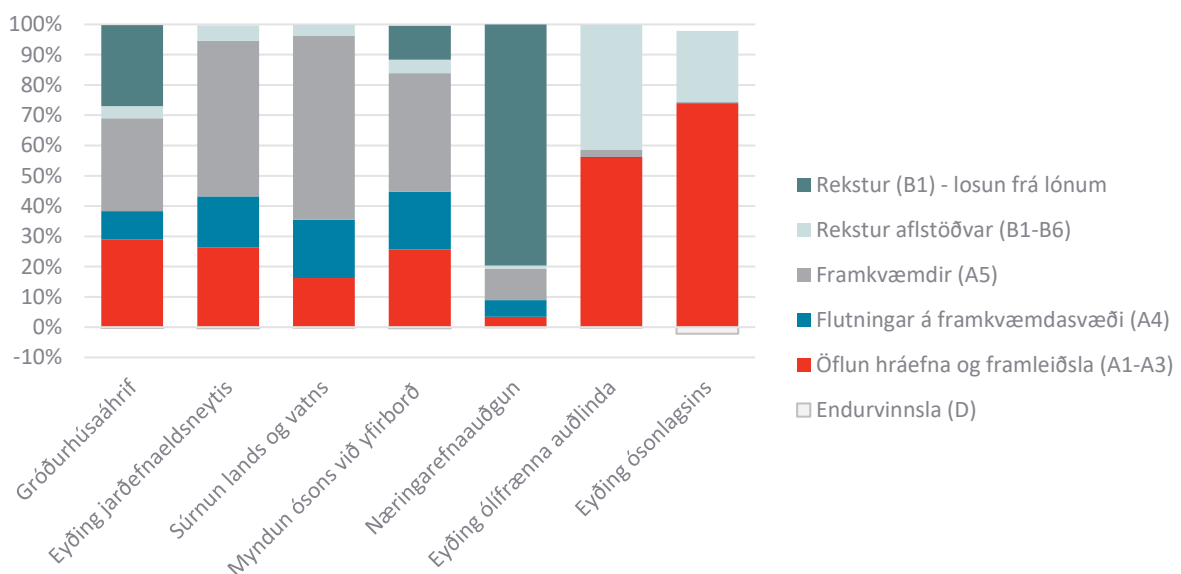
TAFLA 8 Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni.

EFNI TIL ENDURVINNSLU	ENDURVINNSLUHLUTFALL
Stál	37% [8]
Kopar	81% [9]
Plast	75% [11]
Pappír	78% [10]

4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR

4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Fljótisdalsstöðvar (A-D)

Hér eru birtar niðurstöður vistferilsgreiningarinnar (e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA) fyrir vinnslu á 1 kWst af raforku í Fljótisdalsstöð. Á mynd 2 má sjá hvernig umhverfisáhrifin skiptast á milli mismunandi stiga vistferilsins á 100 ára líftíma í þeim sjö flokkum umhverfisáhrifa sem metnir eru. Framkvæmdir á Íslandi veða þungt í fjórum umhverfisáhrifaflokkum þ.e. gróðurhúsaáhrif, eyðing jarðefnaeldsneytis, súrnun lands og vatns og myndun ósons við yfirborð. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum veldur neikvæðum umhverfisáhrifum í flokkunum gróðurhúsaáhrif, myndun ósons við yfirborð og næringarefnaauðgun. Öflun hráefna og framleiðsla búnaðar bæði á framkvæmdatíma og við endurnýjun veldur stærstum hluta umhverfisáhrifa í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og eyðing ósonlagsins og hefur áhrif í öllum flokkum. Þá hefur losun gróðurhúsalofttegunda yfirgnæfandi áhrif í flokknum næringarefnaauðgun sem rekja má til þess að lífrænt efni brotnar niður og kolefni losnar þá úr jarðvegi lónsins og gengur í samband við súrefni úr vatnsbolnum (sjá kafla 3.3.2).

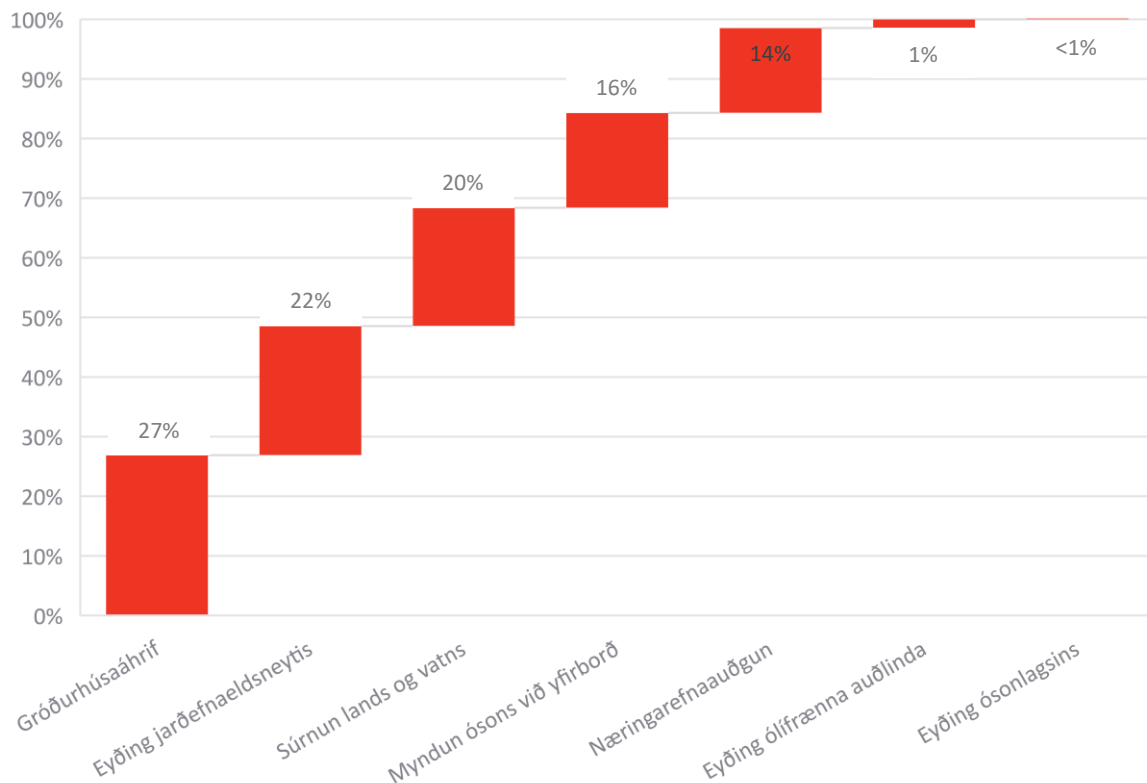


MYND 2 Umhverfisáhrif frá vinnslu á 1 kWst raforku í Fljótisdalsstöð. Á myndinni sést hlutdeild mismunandi þátta vistferils aflstöðvarinnar á 100 ára líftíma fyrir hvern flokk umhverfisáhrifa.

4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru birtar fyrir sjö mismunandi flokka umhverfisáhrifa sem allir hafa mismunandi einingar. Til að greina vægi mismunandi flokka er framkvæmd svokölluð stöðlun og vigtun niðurstaða, en inn í þá aðgerð kemur m.a. inn mannlegt mat á mikilvægi flokka. Við stöðlun eru niðurstöðurnar settar í samhengi við umhverfisáhrif vegna mannglegra athafna sem verða í heiminum eða á ákveðnu svæði, t.d. Evrópu, á einu ári. Vigtun byggir á því að hver flokkur umhverfisáhrifa hefur skilgreint ákveðið vægi sem getur t.d. verið byggt á pólitískum markmiðum um lækkun eða á skoðunum sérfræðinga [16].

Hér var notast við viðurkennda aðferðarfræði CML 2001 og við stöðlunina eru niðurstöðurnar settar í samhengi við árlega heildarlosun vegna mannglegra athafna í Evrópu (EU 25+3) árið 2000. Vigtunin byggir á upplýsingum frá árinu 2012 og er mat sérfræðinga alls staðar að úr heiminum þar sem umhverfisáhrifum var gefið vægi á skalanum frá 1-10. Niðurstöður stöðlunar og vigtunar fyrir Fljótisdalsstöð, þ.e. innbyrðis vægi þeirra sjö flokka sem hér eru metnir, má sjá á mynd 3. Framlag stöðvarinnar til umhverfisáhrifa í Evrópu er hlutfallslega mest í flokkunum gróðurhúsaáhrif, eyðing jarðefnaeldsneytis (auðlindanotkun, þ.e. vinnsla jarðefnaeldsneytis úr jörðu) og súrnun lands og vatns samkvæmt þessari aðferðarfræði. Í ljósi þessara niðurstaða er umhverfisáhrifaflokkum raðað í sömu röð í öllum myndum í þessum kafla frá vinstri til hægri, þ.e. frá því að hafa mest vægi skv. stöðlun og vigtun í að hafa minnst vægi. Fjallað er um þá þrjá flokka sem mest vægi hafa í köflum 4.4 - 4.6, og um aðra umhverfisáhrifaflokka í kafla 4.7.



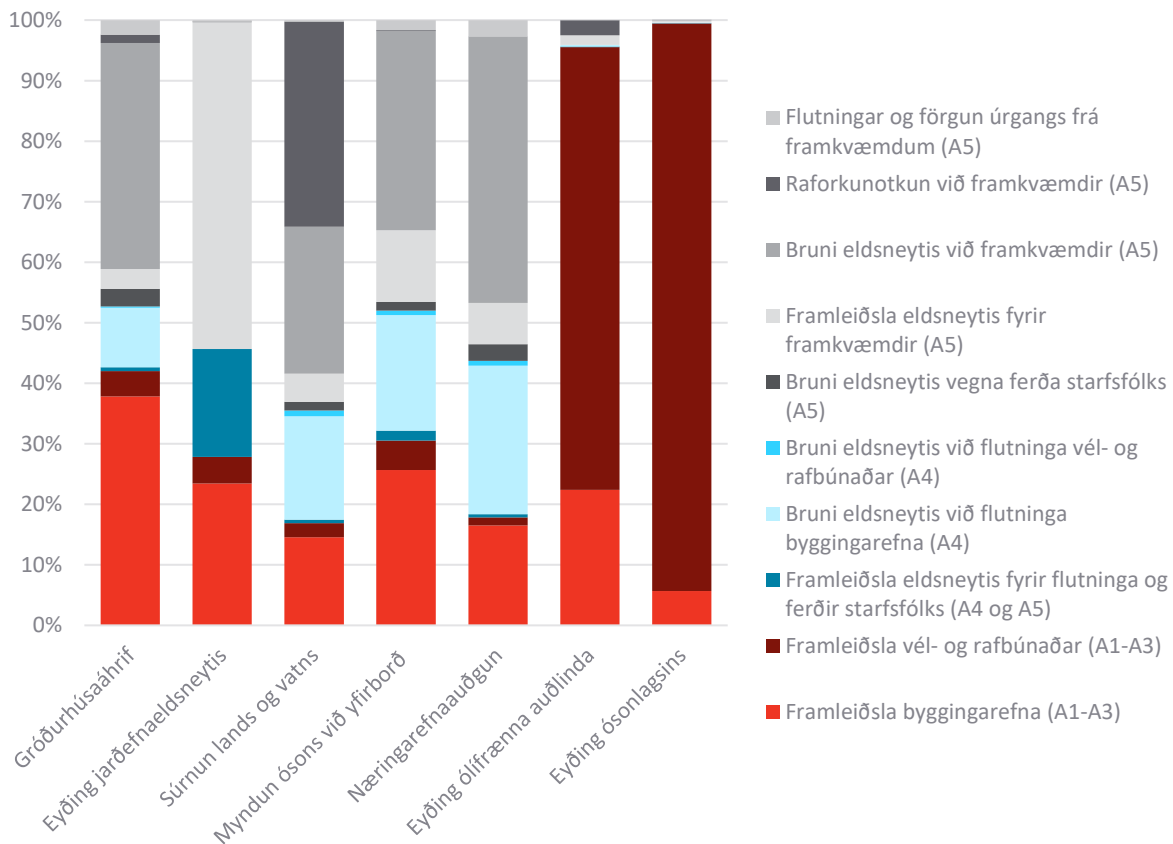
MYND 3 Myndin sýnir innbyrðis vægi sjö flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum við vinnslu raforku í Fljótisdalsstöð yfir 100 ára líftíma. Hér hafa niðurstöður verið staðlaðar og vigtaðar m.v. meðaláhrif vegna mannglegra athafna í Evrópu skv. CML aðferðinni.

4.3 Umhverfisáhrif á mismunandi fösum vistferils

4.3.1 Framleiðslufasi og framkvæmdafasi (A1-A5)

Umvhverfisáhrif frá framleiðslu- og framkvæmdafasa Fljótsdalsstöðvar má sjá á mynd 4 skipt eftir mismunandi þáttum vistferilsins; framleiðslu byggingarefna, framleiðslu vél- og rafbúnaðar, framleiðslu eldsneytis; bruna eldsneytis vegna flutninga byggingarefna, flutninga búnaðar frá framleiðendum á framkvæmdasvæði og ferða starfsfólks verktaka; bruna eldsneytis og raforkunotkun við framkvæmdir og flutninga og förgun úrgangs. Ávinningur vegna endurvinnslu úrgangs frá framkvæmdum er sýndur sérstaklega í kafla 4.3.3.

Umvhverfisáhrif frá framleiðslu- og framkvæmdafasa má helst rekja til framleiðslu og bruna eldsneytis vegna framkvæmda, framleiðslu byggingarefna sem og framleiðslu vél- og rafbúnaðar. Framleiðsla vél- og rafbúnaðar veldur stærstum hluta áhrifa í flokknum eyðing ólífrænna auðlinda vegna námuvinnslu málma fyrir búnaðinn. Þá veldur framleiðsla eldsneytis tæplega helmingi áhrifa í flokknum eyðing jarðefnaeldsneytis, en þar er tekið tillit til vinnslu olíu úr jörðu sem og meðhöndlun í olíuhreinsistöð. Bruni eldsneytis vegna flutninga byggingarefna hefur hér töluverð áhrif í fjórum flokkum og má að stærstum hluta rekja það til aksturs til og frá jarðvegsnámum. Raforkunotkun við framkvæmdir veldur þriðjungu losunar í flokknum súrnun lands og vatns, en þau áhrif má rekja til raforku sem unnin er með jarðvarma.

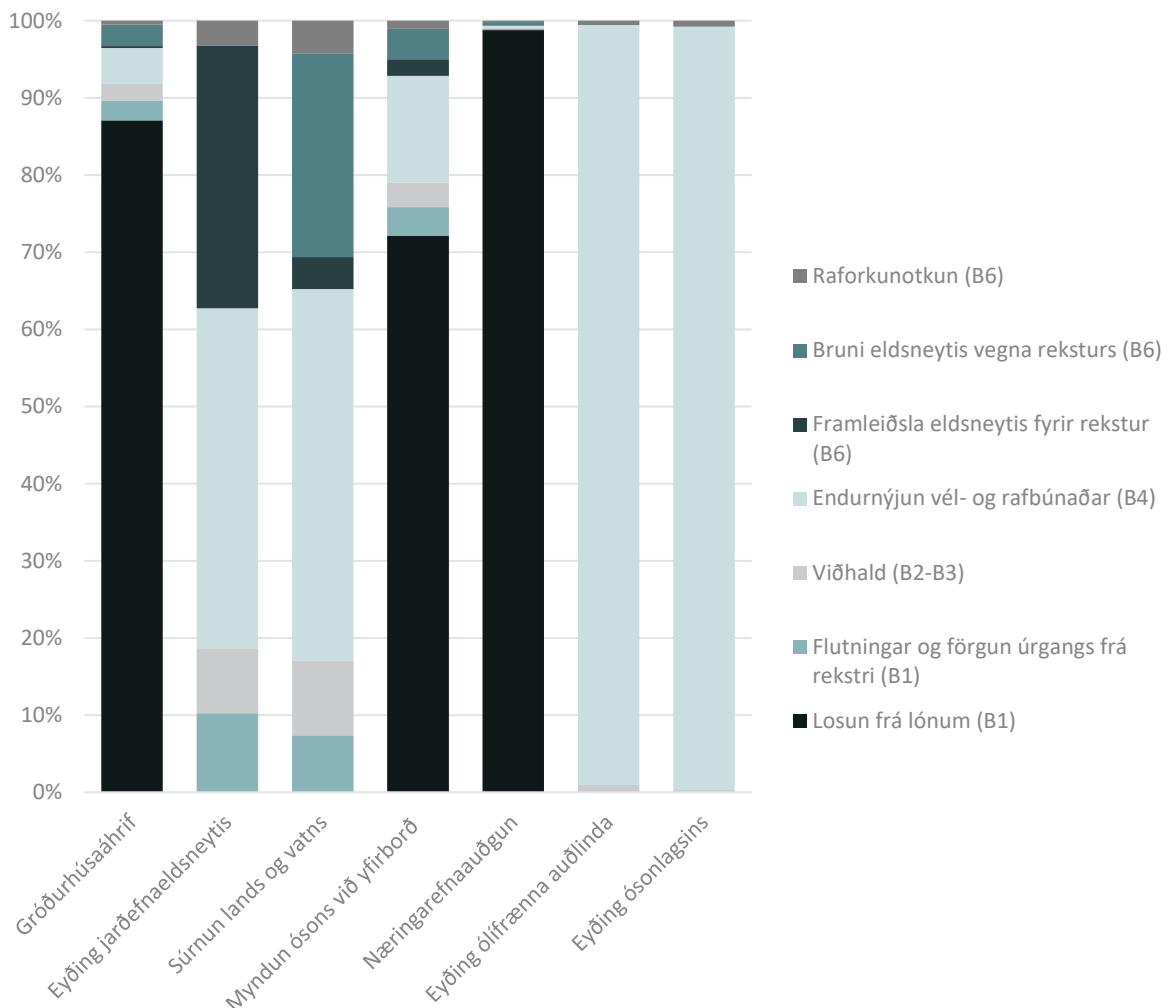


MYND 4 Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti á framleiðslu- og framkvæmdafasa fyrir Fljótsdalsstöð (A1-A5) m.v. vinnslu á 1 kWst raforku. Á myndinni má sjá niðurstöður fyrir þá 7 flokka umhverfisáhrifa sem reiknað er fyrir á 100 ára líftíma.

4.3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)

Umhverfisáhrif frá rekstri Fljótsdalsstöðvar, þ.e. mismunandi þáttum í rekstri aflstöðvarinnar má sjá á mynd 5. Rekstur aflstöðvarinnar felur í sér losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum, flutninga og förgun úrgangs, viðhald mannvirkja og endurnýjun búnaðar, framleiðsla og bruna eldsneytis og eigin raforkunotkun aflstöðvarinnar. Ávinningur vegna endurvinnslu úrgangs frá rekstri er ekki sýndur hér, heldur sýndur sérstaklega í kafla 4.3.3.

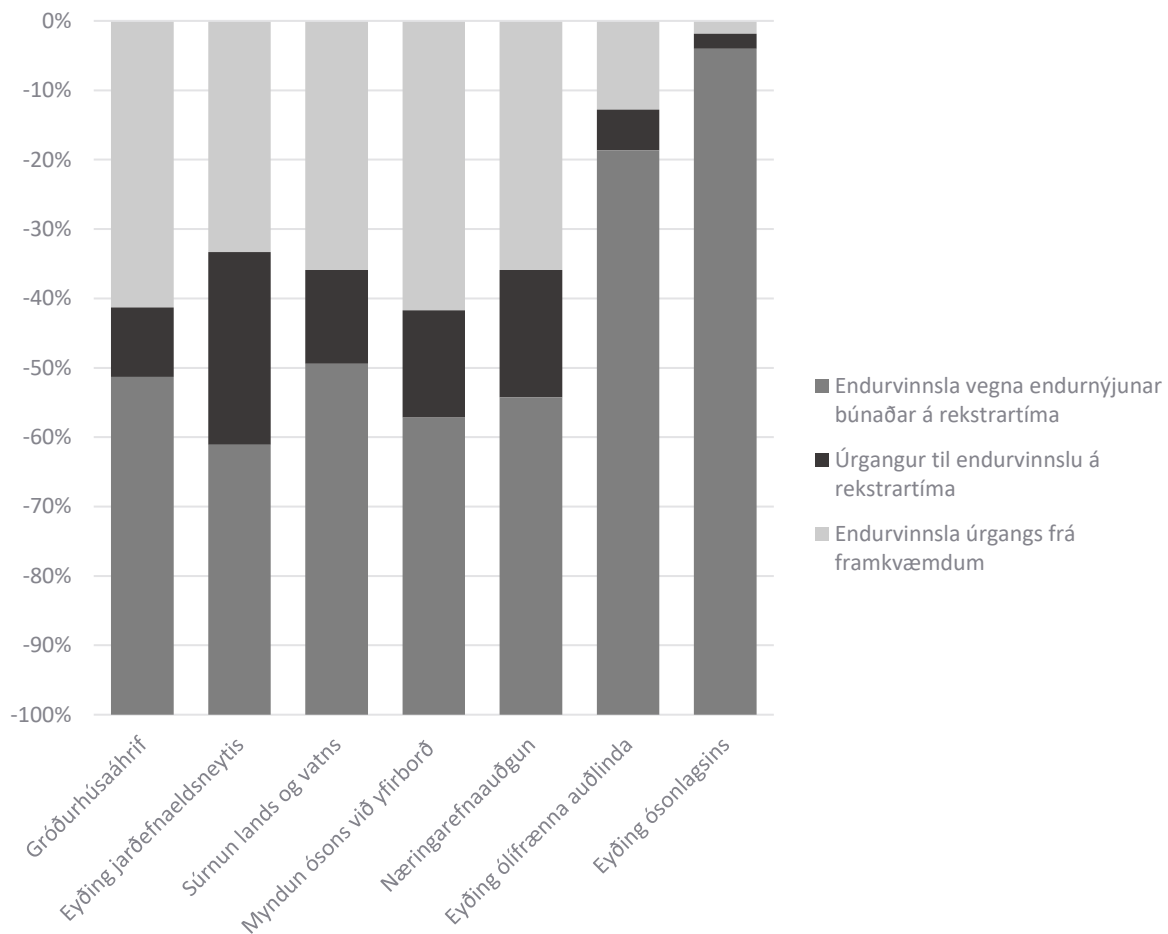
Á rekstartíma er það endurnýjun búnaðar eftir 60 ár í rekstri og losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum sem vega hvað þyngst þegar litið er til allra flokka umhverfisáhrifa. Fyrir endurnýjun búnaðar skiptir mestu máli framleiðsla á stáli í nýjar túrbínur sem og vinnsla kopars fyrir rafbúnað og spenna. Þá hefur losun frá lónum mikil áhrif í flokkunum gróðurhúsaáhrif og næringarefnaauðgun. Fjallað er sérstaklega um áhrif vegna losunar frá lónum í kafla 5.3. Þá veldur framleiðsla eldsneytis fyrir rekstur stöðvarinnar stórum hluta áhrifa í flokknum eyðing jarðefnaeldsneytis og brunni eldsneytis á rekstartíma umtalsverðum áhrifum í flokknum súrnun lands og vatns.



MYND 5 Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti í rekstri Fljótsdalsstöðvar (B1-B6) m.v. vinnslu á 1 kWst raforku. Á myndinni má sjá niðurstöður fyrir þá 7 flokka umhverfisáhrifa sem reiknað er fyrir á 100 ára líftíma.

4.3.3 Endurvinnsla (D)

Með endurvinnslu er dregið úr heildarumhverfisáhrifum í öllum sjö flokkum umhverfisáhrifa og mest í flokknum eyðing ósonlagsins um allt að 2,2% (mynd 2) allt eftir því hvaða flokkur áhrifa er skoðaður. Vegur þar þyngst endurvinnsla málma á rekstrartíma, þegar búnaður er endurnýjaður eftir 60 ár. Á mynd 6 má sjá umhverfisáhrif endurvinnslu mismunandi þátta. Í flokknum gróðurhúsaáhrif er dregið úr heildaráhrifum um tæplega 1.400 tonn af CO₂ ígildum á vistferli Fljótsdalsstöðvar. Þetta samsvarar því að komið sé í veg fyrir losun gróðurhúsalofttegunda sem nemur losun vegna um það bil 6.400 ferða um hringveginn á meðalfólksbíl (bensínbíl).



MYND 6 Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti við endurvinnslu úrgangs frá framkvæmdum og rekstri sem og framleiðslu og endurnýjun búnaðar á 100 ára líftíma.

4.4 Kolefnisspor

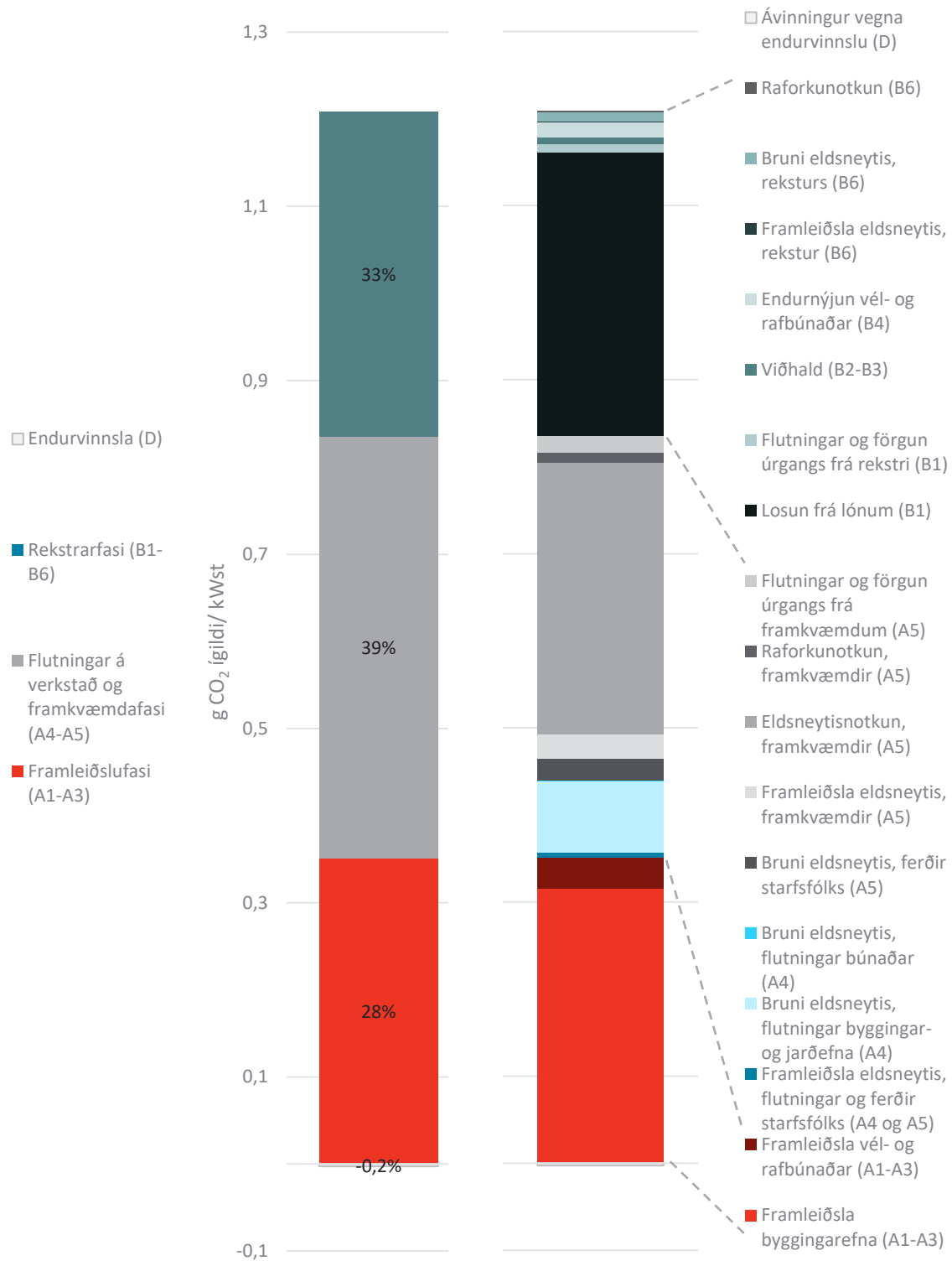
Kolefnisspor fyrir vistferil Fljótsdalsstöðvar miðað við 100 ára líftíma er 603.144 tonn CO₂ ígildi, sem samsvarar 1,2 g CO₂ ígilda á hverja unna kWst. Heildarlosun Íslands árið 2016 var 4.669 kílótonn af CO₂ ígildum [17] og samsvarar því heildarlosun yfir allt vistferli Fljótsdalsstöðvar um 13% af losun Íslands fyrir það ár.

Sjá má hvernig kolefnisspor aflstöðvarinnar skiptist á milli framleiðslufasa, flutninga, framkvæmdafasa og rekstrarfasa á mynd 7. Kolefnisspor vegna framleiðslu byggingarefna og búnaðar og framkvæmda á virkjanasvæðinu er 0,8 g CO₂ ígildi á hverja unna kWst og kolefnisspor frá rekstri aflstöðvarinnar í 100 ár er 0,4 g CO₂ ígildi/kWst. Þá er dregið úr kolefnissporinu um 0,2% vegna endurvinnslu.

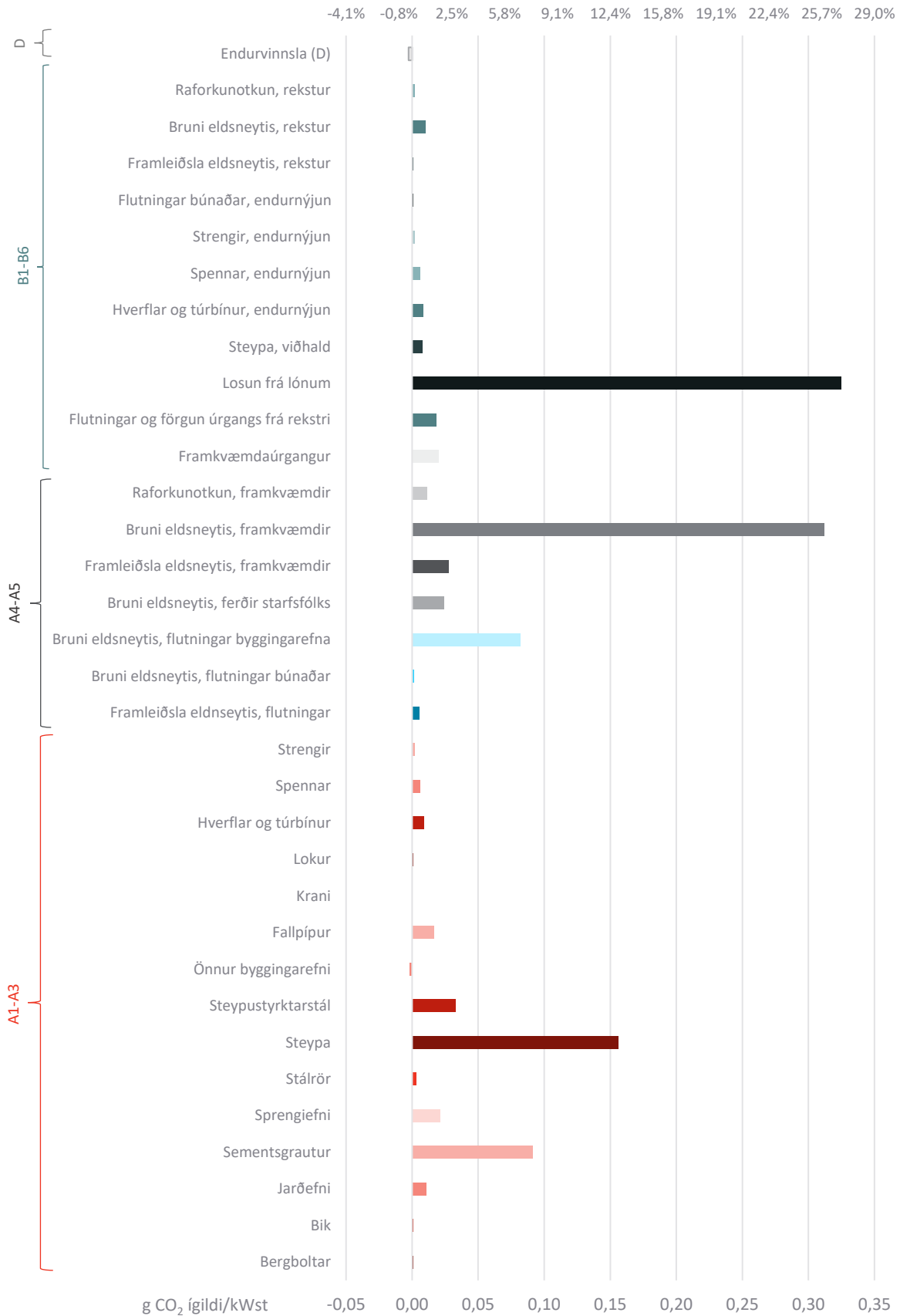
Kolefnisspor mismunandi þátta í vistferli Fljótsdalsstöðvar má sjá á mynd 8 sem og hlutdeild þeirra í heildarkolefnisspori aflstöðvarinnar. Framleiðsla byggingarefna, bruni eldsneytis við framkvæmdir og losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum eru þeir þættir sem vega þyngst í kolefnissporinu.

Þeir þættir sem valda stærstum hluta gróðurhúsaáhrifa í framleiðslu- og framkvæmdafasa eru bruni jarðefnaeldsneytis vegna byggingar aflstöðvar (26%) og aðflutning efnis (7%), framleiðsla steypu og sprautusteypu (13%) og sementsgrauts (8%). Í síðastnefndu tilfellunum má rekja megin áhrifin til framleiðslu sements. Aðrir þættir vega hlutfallslega minna og má nefna að framleiðsla annarra byggingarefna vega samtals tæplega 6% af kolefnissporinu, að mestu vegna framleiðslu steypustyrktarstáls og sprengiefna.

Í rekstrarfasa aflstöðvarinnar er það losun koltvísýrings og metans frá lónum (27%) sem hefur mest áhrif. Þar á eftir koma flutningar og förgun úrgangs (2%) og bruni eldsneytis á rekstartíma (1%).



MYND 7 Kolefnisspor orkuvinnslu Fljótsdalsstöðvar er 1,2 g CO₂ ígildi fyrir hverja unna kílóvattstund í stöðinni. Myndin til vinstri sýnir skiptingu kolefnissporsins milli fasa vistferils (A-D) og til hægri er nánari skipting í einstaka þætti innan hvers fasa. Neikvætt gildi (mínustala) fyrir endurvinnslu tákna að dregið sé úr umhverfisáhrifum, þ.e. umhverfislegan ávinning.



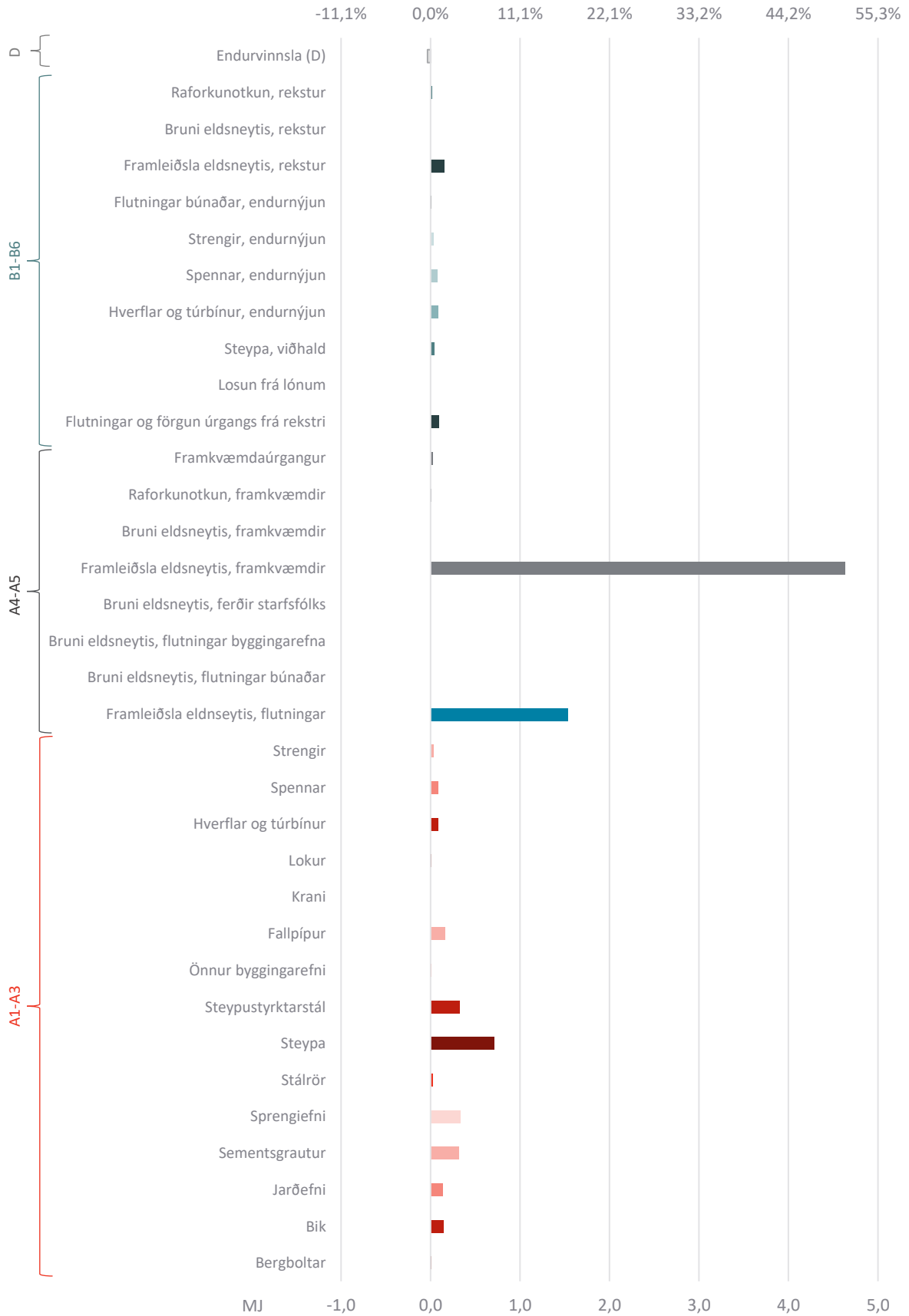
MYND 8 Hlutdeild einstakra þátta í kolefnisspori Fljótsdalsstöðvar.

4.5 Eyðing jarðefnaeldsneytis

Í flokknum eyðing jarðefnaeldsneytis er tekin saman öll auðlindanotkun jarðefnaeldsneytis á vistferlinum (vinnsla þess úr jörðu), hvort sem um er að ræða fyrir notkun í ökutækjum á framkvæmdastað eða t.d. fyrir raforku sem unnin er með kolum eða olíu og notuð er við framleiðslu byggingarefna eða búnaðar erlendis.

Fyrir umhverfisáhrifaflokkinn er hlutdeild eldsneytis sem notað er í framkvæmdafasa ráðandi í heildaráhrifum flokksins á vistferlinum (51%) sem og eldsneyti fyrir flutninga byggingarefna og jarðefna (17%) (mynd 9). Framleiðsla steypu fyrir framkvæmdir veldur einnig stórum hluta áhrifa innan flokksins, 8%, sem má meðal annars rekja til notkunar kola við framleiðslu sements. Þá veldur framleiðsla steypustyrktarstáls, sprengiefna og sementsgrauts hvert um sig um 4% af áhrifum í flokknum sem og framleiðsla vél- og rafbúnaðar á framleiðslufasa. Við framleiðslu sprengiefna má rekja áhrifin til orkufrekrar framleiðslu á ammóníum nitrati, en í heild voru notuð rúmlega 9.000 tonn af sprengiefnum við framkvæmdina.

Í rekstrarfasa er það framleiðsla eldsneytis fyrir rekstur (2%) og flutninga og förgun úrgangs (1%) sem gefa stærsta útslagið innan flokksins. Framleiðsla á hverflum, túrbínnum, spennum og strengjum veldur samtals rúmlega 2% af áhrifum í flokknum á rekstartíma þegar búnaður er endurnýjaður.

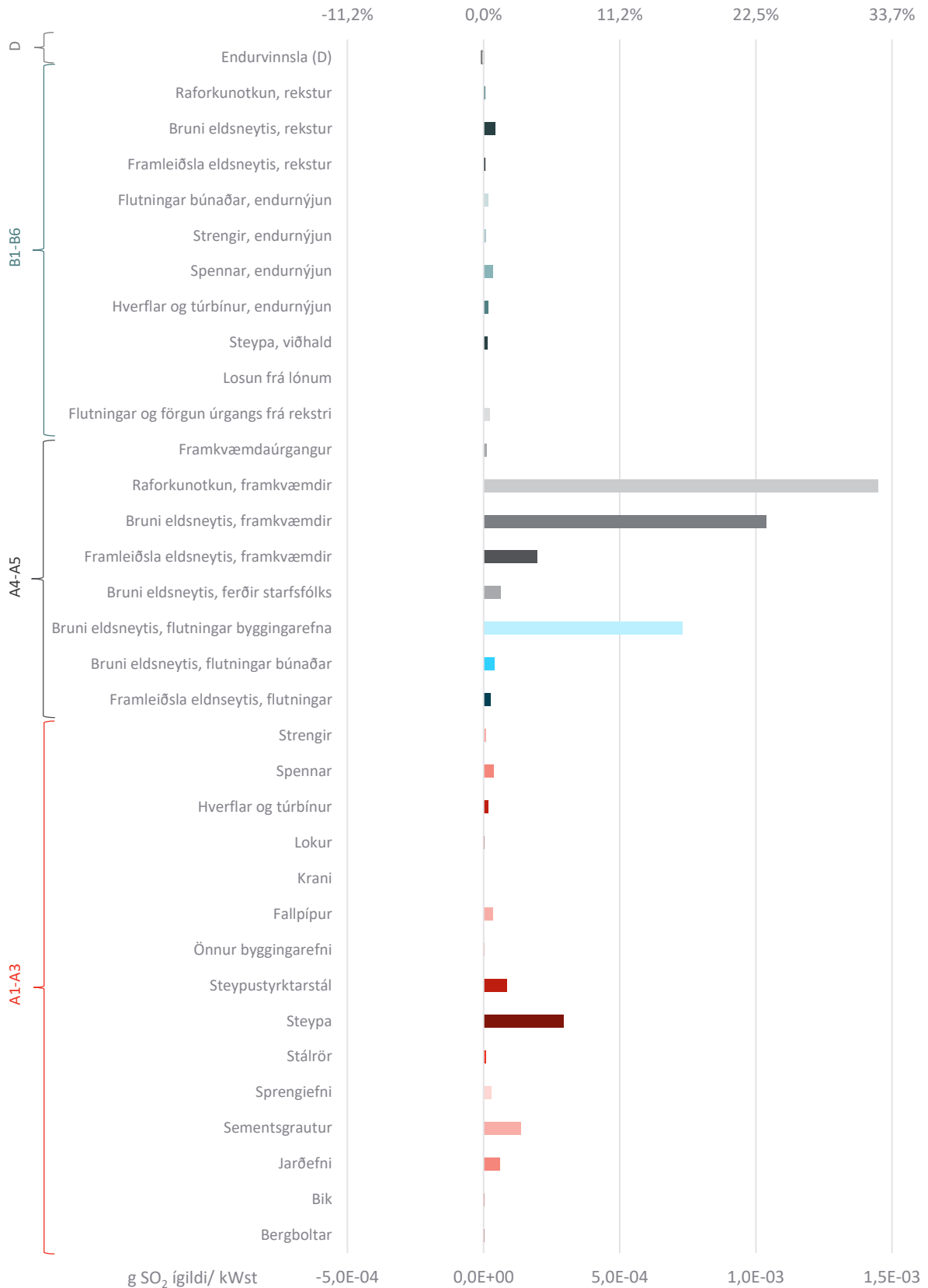


MYND 9 Hlutdeild einstakra þátta á eyðingu jarðefnaeldsneytis í vistferli Fljótsdalsstöðvar.

4.6 Súrnun lands og vatns

Orkunotkun er sá þáttur sem hefur mest áhrif í flokknum súrnun lands og vatns. Áhrifin má að stærstum hluta rekja til raforkunotkunar við framkvæmdir (33%) og brennslu jarðefnaeldsneytis á verkstað (23%) og við flutninga jarðefna og byggingarefna (16%). Áhrifin vegna raforkunotkunar eru til komin vegna íslenska raforkukerfisins og þeim hluta raforkunnar sem unnin er í jarðvarmavirkjunum og orsakast áhrifin af losun brennisteinsvetnis (H_2S) í andrúmsloft. Hér er reiknað með að notast sé við íslenska raforku á framkvæmdatíma sem samanstendur af um það bil fjórðungi af jarðhita og afgangurinn sé unnin með vatnsafl.

Steypan er það byggingarefni sem veldur mestum áhrifum í flokknum (7%) sem og sementsgrautur (3%) vegna framleiðslu sements, en losun í andrúmsloftið af lofttegundum sem valda súrnun má rekja til losunar frá hráefnum og kolum sem brennd eru í sementsofni. Raforkunotkun við rekstur stöðvarinnar hefur lítil áhrif í flokknum þar sem aðeins er notast við vatnsafl en ekki raforku af íslenska raforkukerfinu.



MYND 10 Hlutdeild einstakra þátta á súrnun lands og vatns í vistferli Fljótsdalsstöðvar.

4.7 Önnur umhverfisáhrif

Í köflum 4.4 - 4.6 hér á undan hefur verið fjallað um þá þrjá umhverfisáhrifaflokka sem eru metnir hafa mest vægi samkvæmt stöðlun og vigtun niðurstaðanna (sjá kafla 4.2). Hér er samantekt á því hvað það er sem skiptir mestu máli fyrir hina fjóra umhverfisáhrifaflokkana á vistferlinum, þ.e. myndun ósons við yfirborð jarðar, næringarefnaauðgun, eyðingu ólífrænna auðlinda og eyðingu ósonlagsins. Samantekt á hlutdeild ólíkra þátta innan hvers áhrifaflokks má sjá í töflu 9, kafla 4.8.

Í flokknum **myndun ósons við yfirborð** er það eldsneytisnotkun við framkvæmdir, þ.e. framleiðsla eldsneytis (10%) sem og brennsla eldsneytis við framkvæmdir (28%) og aðflutninga jarðefna og byggingarefna (16%) sem hefur mest áhrif. Þá veldur losun frá lónum 11% áhrifa í flokknum og framleiðsla steypu tæplega 10%. Í flokknum **næringarefnaauðgun** má rekja helstu áhrifin til losunar frá lónum (80%), þ.e. þegar lífrænt efni brotnar niður sem verður til þess að kolefni losnar úr jarðvegi lónsins og gengur í samband við súrefni úr vatnsbolnum. Einnig hefur jarðefnaeldsneyti sem brennt er á framkvæmdastað (9%) og til flutninga jarðefna og byggingarefna (5%) merkjanleg áhrif í flokknum.

Umhverfisáhrif í flokknum **eyðing ólífrænna auðlinda** má að stærstum hluta rekja til framleiðslu vél- og rafbúnaðar. Aðrir þættir vega um 17% af áhrifunum í flokknum. Í þessum flokki er verið að skoða hráefnanotkun, þ.e. vinnslu hráefna úr jörðu annarra en jarðefnaeldsneytis. Útreikningar á eyðingu auðlinda byggja á hlutfalli milli þess magns auðlindarinnar sem notuð er í framleiðslunni og forða auðlindar á jörðinni. Forði auðlindarinnar er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og er hagkvæmt að nýta. Forði er stærð sem breytist yfir tíma eftir því sem tæknilegar og efnahagslegar forsendur breytast. Niðurstöðurnar vísa því til þeirra auðlinda sem helst er gengið á yfir vistferilinn.

Framleiðsla vél- og rafbúnaðar, bæði á framleiðslufasa og rekstrarfasa, eru ráðandi í flokkunum **eyðing ósonlagsins**. Tekið skal fram að flokkurinn eyðing ósonlagsins hefur lítið vægi í vigtun niðurstaða. Þá er mikilvægt að hafa í huga að notkun á ósoneyðandi efnum hefur verið bönnuð og því hefur dregið mjög úr notkun þeirra, því getur losun fyrir einstaka fasa gefið hlutfallslega hátt útslag.

4.8 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Fljótsdalsstöðvar

Samantekt á hlutfallslegri skiptingu áhrifa frá vistferli Fljótsdalsstöðvar má sjá í töflu 9. Við framleiðslu byggingarefna má sjá að það er framleiðsla steypu og sementsgrauts sem veldur hvað mestum umhverfisáhrifum þegar lítið er til allra flokka. Þá hefur framleiðsla á stáli og sprengiefnum töluverð áhrif innan ákveðinna áhrifaflokka. Eldsneytisnotkun, þ.e. framleiðsla og bruni eldsneytis í vélum og tækjum fyrir aðflutninga og byggingu aflstöðvarinnar vegur þungt í fimm flokkum. Endurnýjun búnaðar og losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum eru þeir þættir sem hafa mest áhrif á rekstrartímanum. Jákvæð áhrif vegna endurvinnslu koma fram í öllum flokkum. Tölulegar niðurstöður fyrir alla flokka má sjá í viðauka C.

TAFLA 9 Hlutfallsleg skiptingu áhrifa (%) í metnum flokkum umhverfisáhrifa frá vistferli Fljótsdalsstöðvar (A-D). Þættir sem hafa meira en 15% áhrif í einstaka flokki eru skáletraðir *rauðir*. (Prósentur sem birtast sem 0,0 eru < 0,1%).

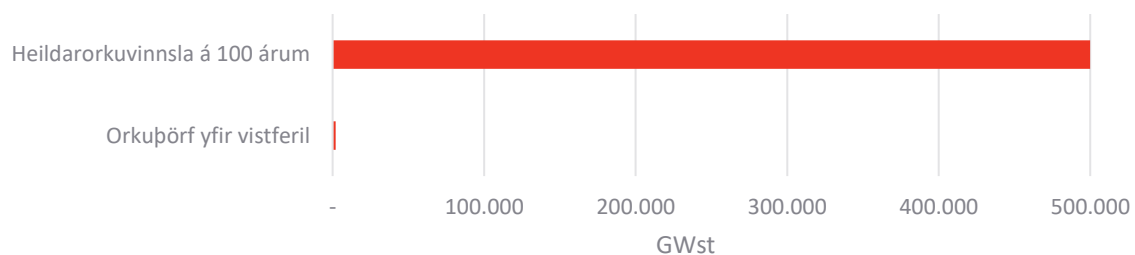
	50-100%	5-50%	0-5%	GRÓÐUR- HÚSÁHRIF	EYÐING JARDEFNA- ELDSNEYTIS	SÚRNUN LANDS OG VATNS	MYNDUN ÓSONS VIÐ YFIRBORD	NÆRINGAR- EFNA- AUGGUN	EYÐING ÖLIFRÆNNA AUÐLINDA	EYÐING ÓSON- LAGSINS
Framleiðsla byggingarefna										
				0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
				0,1	1,6	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0
				7,5	3,5	3,1	5,1	0,6	4,8	0,9
A 1-3				1,8	3,7	0,6	0,7	0,3	0,1	0,0
				0,3	0,3	0,2	0,3	0,0	0,1	0,0
				12,9	7,9	6,6	9,5	1,5	7,9	1,6
				2,7	3,6	1,9	4,0	0,3	0,1	1,2
				0,7	1,6	1,4	1,8	0,4	0,1	0,6
Framleiðsla vél- og rafbúnaðar										
				1,4	1,8	0,8	2,0	0,1	0,1	44,0
				0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
A 1-3				0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	2,8
				0,7	0,9	0,4	0,9	0,1	0,1	15,3
				0,5	0,9	0,8	0,9	0,1	42,5	8,1
				0,2	0,4	0,2	0,2	0,0	0,2	2,0
Flutningar á framkvæmdastað (framleiðsla og bruni eldsneytis)										
				0,5	7,5	0,6	1,4	0,1	0,1	0,0
A 4				0,1	0,0	0,9	0,7	0,1	0,0	0,0
				6,8	9,5	16,5	16,1	4,7	0,2	0,1
				2,0	0,0	1,4	1,2	0,5	0,0	0,0
Framkvæmdir										
				2,3	51,4	4,5	10,0	1,3	0,9	0,3
A 5				25,8	0,0	23,5	27,9	8,5	0,0	0,0
				0,9	0,1	32,7	0,1	0,0	1,5	0,0
				1,7	0,2	0,3	1,4	0,5	0,0	0,0
Rekstur										
B1				1,5	1,0	0,5	1,1	0,3	0,0	0,0
				26,9	0,0	0,0	11,4	79,7	0,0	0,0
Viðhald og viðgerðir										
B2-3				0,7	0,4	0,4	0,5	0,1	0,4	0,1
Endurnýjun búnaðar eftir 60 ár										
				0,1	0,1	0,4	0,3	0,1	0,0	0,0
B4				0,7	0,9	0,4	0,9	0,1	0,1	14,7
				0,5	0,9	0,8	0,8	0,1	40,6	7,7
				0,2	0,3	0,2	0,2	0,0	0,2	1,9
Orkunotkun á rekstrartíma										
B6				0,1	1,7	0,2	0,3	0,0	0,0	0,0
				0,9	0,0	1,0	0,6	0,4	0,0	0,0
				0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
D				-0,2	-0,4	-0,2	-0,4	0,0	-0,1	-2,2

4.9 Orkubúskapur

Orkuþörf yfir vistferil (PED, Primary Energy Demand) er samanlögð orkuþörf Fljótsdalsstöðvar yfir vistferil hennar, þ.e. vegna framleiðslu-, framkvæmda- og rekstrarfasa (A-D). Um er að ræða orkuþörf frá endurnýjanlegum og óendurnýjanlegum orkugjöfum, t.d. jarðefnaeldsneyti, vatnsorka, kjarnorku o.s.frv. Orkuþörf Fljótsdalsstöðvar á vistferlinum er 2.000 GWst.

Heildarorkuvinnsla Fljótsdalsstöðvar á 100 ára líftímanum er 500.000 GWst. Orkuarðsemi (e. *Harvest factor/EROI*) er hlutfallið milli heildarorkuvinnslu og orkuþarfar yfir vistferilinn og er í tilfelli Fljótsdalsstöðvar 250. Fljótsdalsstöð vinnur m.ö.o. 250 sinnum meiri orku á líftíma sínum en þarf fyrir framkvæmd hennar og rekstur (mynd 11). Til samanburðar þá liggur orkuarðsemi vatnsaflsstöðva á heimsvísu á bilinu 6 – 280 (mynd 12) [14].

$$\text{Orkuarðsemi} = \frac{\text{Heildarorkuvinnsla [kWst]}}{\text{Orkuþörf yfir vistferil [kWst]}}$$



MYND 11 Heildarorkuvinnsla og orkuþörf yfir vistferil Fljótsdalsstöðvar.

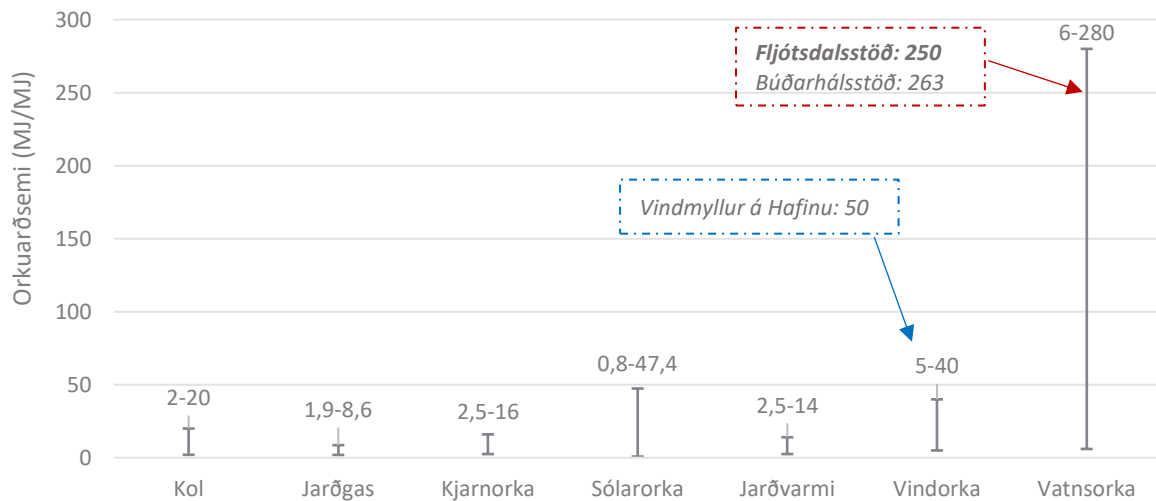
Endurgreiðslutími orku (e. *Energy payback time*) er sá tími sem líður áður en að hlutföllin verða 1:1 milli orkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar yfir vistferil hennar. Endurgreiðslutími orku er í tilfelli Fljótsdalsstöðvar tæplega 5 mánuðir (0,40 ár), þ.e. að þessum tíma loknum í rekstri er aflstöðin búin að vinna jafnmikla orku og hún þarf yfir vistferil sinn (tafla 10). Frá og með þessum tíma byrjar aflstöðin að borga sig í raforkuvinnslu. Endurgreiðslutími orku fyrir vatnsaflsstöðvar á heimsvísu liggur á bilinu 0,1 – 3,5 ár [14].

$$\text{Endurgreiðslutími orku [ár]} = \frac{\text{Orkuþörf yfir vistferil [kWst]}}{\text{Heildarorkuvinnsla [kWst]}} \times \text{líftími} = \frac{\text{líftími [ár]}}{\text{Orkuarðsemi}}$$

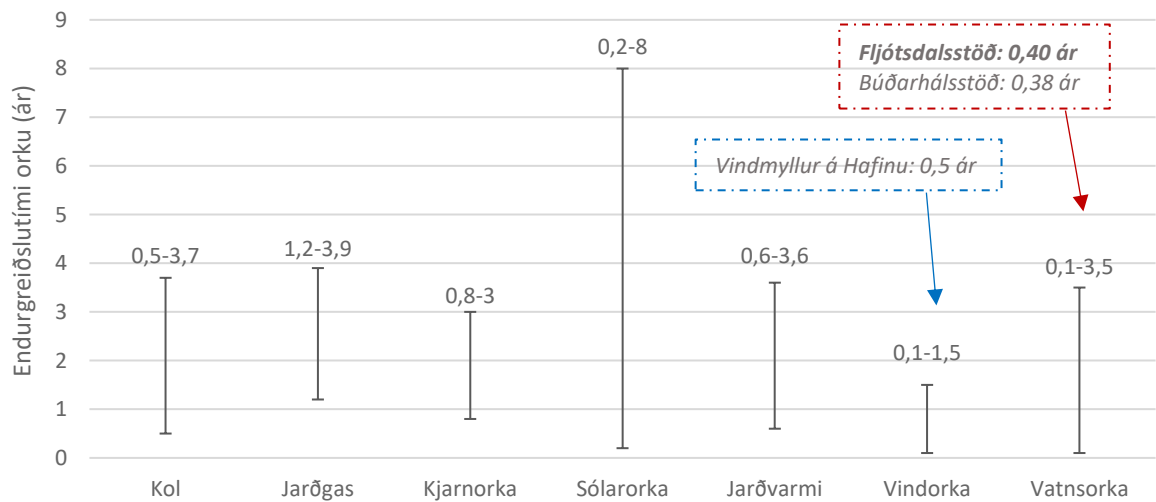
TAFLA 10 Orkubúskapur Fljótsdalsstöðvar á 100 ára líftíma.

Orkuþörf yfir vistferil (PED)	2.000	GWst
Heildarorkuvinnsla á 100 árum	500.000	GWst
Orkuarðsemi (EROI)	250	
Endurgreiðslutími orku	5	mánuðir

Birtar niðurstöður fyrir endurgreiðslutíma orku sýna að neðri mörk endurgreiðslutíma vatns-, vind- og sólarorku er styttri en fyrir aðra orkugjafa, sjá á mynd 13. Hvað varðar orkuarðsemi þá sýna birtar niðurstöður að orkuarðsemi er hvað hæst fyrir þessa sömu orkugjafa. Hins vegar er ljóst að orkuarðsemi vatnsorku liggur á mjög stóru bili, eða frá 6-280, eins og áður er nefnt.



MYND 12 Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa [14]



MYND 13 Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa [14]

5 UMRÆÐUR

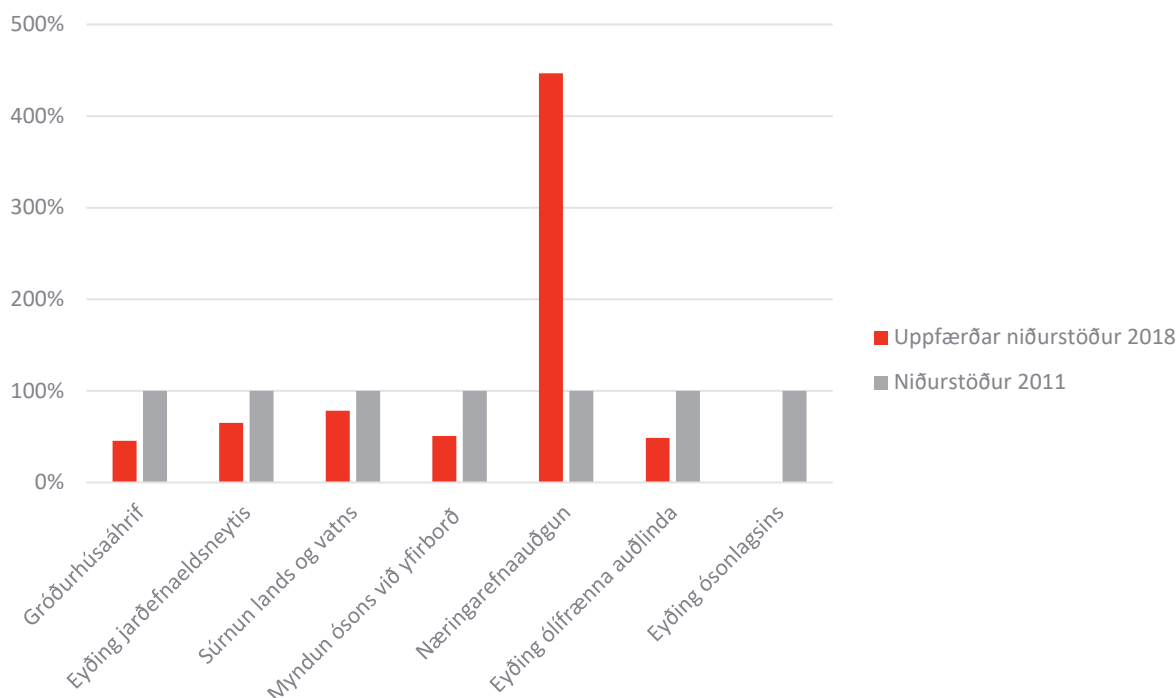
5.1 Uppfærðar niðurstöður

Niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir Fljótsdalsstöð hafa nú verið uppfærðar í samræmi við nýja þekkingu á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Landsvirkjunar, uppfærða gagnagrunna fyrir gerð vistferilsgreininga og uppfært mat á áætlaðri orkuvinnslugetu stöðvarinnar til lengri tíma.

Markverðar breytingar á niðurstöðum eru fyrst og fremst að kolefnissporið lækkar um 54%, þ.e. fer úr 2,6 g CO₂ ígilda á framleidda kWst niður í 1,2 g CO₂ ígildi á framleidda kWst. Hefur hér mest áhrif uppfærðar losunartölur fyrir lón aflstöðvarinnar sem nú byggja á rannsóknum frá Sporðöldulóni við Búðarhálsstöð. Hér hafa niðurstöður þeirrar rannsóknar verið yfirfærðar á uppistöðulón Fljótsdalsstöðvar. Áður var metið að helmingur kolefnis í jarðvegi lónstæða (efstu 30 cm) losnaði á 100 ára líftíma í samræmi við leiðbeiningar um gerð umhverfisyfirlýsinga fyrir raforkuvinnslu [8]. Í uppfærðri greiningu var reiknað með að 10% kolefnis úr efstu 30 cm jarðvegsins í lónstæðinu losnaði, í samræmi við niðurstöður fyrr greindrar rannsóknar. Notaðar voru niðurstöður mælinga á magni kolefnis í jarðvegi lónstæða Fljótsdalsstöðvar líkt og í fyrri greiningu. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum aflstöðvarinnar lækkar nú um 80% og er metin 0,3 g CO₂ ígildi á hverja unna kWst (var áður metin 1,6 g CO₂ ígildi/kWst).

Þá hafa niðurstöður lækkað frá fyrri greiningu fyrir áhrifaflokkana eyðing jarðefnaeldsneytis, súrnun lands og vatns, myndun ósons við yfirborð, eyðing ólífrænna auðlinda og eyðingu ósonlagsins (mynd 15). Ástæður þess eru þríþættar, í fyrsta lagi vegna þess að nú er reiknað með aukinni orkuvinnslugetu, í öðru lagi vegna aukinna gæða gagna og því að fleiri gögn eru tiltæk í gagnagrunnum sem notaðir eru fyrir gerð vistferilgreiningarinnar og í þriðja lagi má rekja breytingarnar til uppfærðra talna fyrir losun frá lónum stöðvarinnar. Niðurstöður í flokknum næringarefnaauðgun hafa hækkað saman borið við fyrri greiningu, en nú er reiknað með áhrifum vegna losunar kolefnis sem CO₂ á styrk súrefnis í lónum aflstöðvarinnar, í samræmi við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [6].

Nú hefur orkubúskapur Fljótsdalsstöðvar einnig verið reiknaður og telst hann góður þar sem orkuarðsemi stöðvarinnar er 250, þ.e. 250 sinnum meiri orka er unnin í stöðinni en þarf til að byggja og reka stöðina í 100 ár. Þá er endurgreiðslutími orku tæplega 5 mánuðir (0,40 ár), þ.e. að þeim tíma loknum í rekstri er aflstöðin búin að vinna jafnmikla orku og hún þarf yfir vistferil sinn.



MYND 14 Hlutfallsleg breyting á niðurstöðum vistferilsgreiningar fyrir Fljótsdalsstöð, þ.e. samanburður á uppfærðum niðurstöðum framkvæmdar á árinu 2018 og niðurstöðum greiningar frá árinu 2011.

5.2 Gæði gagna

Gæði gagna fyrir vistferilsgreininguna eru góð. Þeim var safnað úr lokaskýrslum framkvæmda, frá Landsvirkjun og framleiðeindum búnaðar, þá voru notaðar rauntölur frá reksti Fljótsdalsstöðvar á 8 ára tímabili og fyrir losun frá lónum er byggt á rannsóknum á eiginleikum jarðvegs í lónstæðum Fljótsdalsstöðvar og rannsóknum á mögulegri losun frá Sporðöldulóni. Því er um að ræða bestu fánlegu gögn um mögulega losun úr lónstæðinu á líftímanum. Þá var í fyrri útgáfu ekki til upplýsingar í gagnagrunni GaBi um umhverfisáhrif frá framleiðslu sprengiefna, því hefur verið bætt úr í uppfærðum niðurstöðum. En vert er að nefna að gagnagrunnar fyrir gerð vistferilsgreininga eru í sífelldri þróun og magn bakgrunnsgagna mun halda áfram að aukast á komandi árum.

Ákveðin óvissa ríkir í útreikningum varðandi nokkra þætti í vistferli Fljótsdalsstöðvar. Má þar nefna áætlaðan líftíma, umfang viðhalds á rekstrartíma, þörf fyrir endurnýjun búnaðar sem og endurvinnslu. Í greiningunni er ekki notast við reynslu Landsvirkjunar þegar kemur að áætlaðri viðhalds- og endurnýjunarþörf heldur notast við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga til að áætla þessa þætti [6]. Þar sem þessir þættir hafa marktæk áhrif í niðurstöðum greiningarinnar væri æskilegt að taka saman reynslu Landsvirkjunar á þessum þáttum og skoða næmni niðurstaðanna með tilliti til raun þarfar á viðhaldi og endurnýjun. Þá skal nefna að magn og flokkun úrgangs sem myndaðist við framkvæmdir og framleiðslu búnaðar fyrir Fljótsdalsstöð var ekki skráð eins ítarlega og gert var fyrir Búðarhálsstöð [15]. Í kjölfar reynslu við söfnun upplýsinga fyrir vistferilsgreiningu Fljótsdalsstöðvar hafa verið gerðar auknar kröfur um skráningar sem hafa skilað sér í betri gögnum í þeim greiningum sem á eftir hafa komið. Því er hlutfallslega minna magni af úrgangi til förgunar og endurvinnslu í greiningunni fyrir Fljótsdalsstöð en í greiningunni fyrir Búðarhálsstöð. Niðurstöður um umhverfisáhrif

vegna förgunar eru þar af leiðandi vanmetin og þau lægri á hverja kWst fyrir Fljótsdalsstöð en fyrir Búðarhálsstöð, en að sama skapi er hlutfallslegur ávinningur vegna endurvinnslu einnig vanmetin fyrir Fljótsdalsstöð.

5.3 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum á norðurlöðum

Í þremur flokkum umhverfisáhrifa má sjá áhrif vegna myndunar lóna Fljótsdalsstöðvar: gróðurhúsaáhrif, myndun ósons við yfirborð og næringarefnaauðgun. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum er háð mörgum þáttum, m.a. gróðurþekju lónstæðis, magni kolefnis í jarðvegi, veðurfari og fleiru. Í töflu 11 má sjá reiknaða losun frá lónum Fljótsdalsstöðvar, lóni Búðarhálsstöðvar [15] og útgefna losun frá lónum vatnsaflsvirkjana í Svíþjóð [16] og Noregi [17, 18]. Losun frá lónum Fljótsdalsstöðvar á hverja unna kWst er mun lægri en losun frá lónum í Svíþjóð og Noregi samkvæmt töflu 11. Taka skal fram að losun frá lónum Vattenfall er ekki byggð á rannsóknum heldur á reikniaðferð sem gefin er út í leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga [6]. Losun frá norsku lónunum byggir á bráðabirgðaniðurstöðum rannsókna sem gerðar hafa verið í Noregi og eru ekki sértækar upplýsingar fyrir þau lón sem verið er að skoða í greiningunum.

Í töflu 12 má sjá áætlaða losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar og Búðarhálsstöðvar, og til viðmiðunar mælda losun frá lónum í norðurhluta Svíþjóðar [19, 20], mælda losun frá lónum í svissnesku Ölpunum [21] sem og áætlaða meðallosun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum [22]. Losun koltvísýrings og metans er gefin upp á hvern m² lónstæðis á sólarhring. Lónin í Svíþjóð eru öll staðsett á svipaðri breiddargráðu og lón Fljótsdalsstöðvar og meðal árshitastig og úrkoma eru sambærileg. Lónin í Sviss eru staðsett í svissnesku Ölpunum. Áætluð losun CO₂ frá lónum Fljótsdalsstöðvar er hærra en áætluð losun frá lóni Búðarhálsstöðvar, en er mun lægri en útgefin losun frá öðrum lónum í töflu 12. Ástæða þess að losun frá lónum Fljótsdalsstöðvar er hærri en losun frá lóni Búðarhálsstöðvar er mismunandi kolefnisinnihald í jarðvegi lónstæðanna. Meðal kolefnisinnihald jarðvegs í lónstæði Sporðöldulóns er 1,92 kg C/m² en vegið meðaltal fyrir kolefni í jarðvegi í lónstæðum lóna Fljótsdalsstöðvar er 3,65 kg C/m². Margir samverkandi þættir hafa áhrif á magn gróðurhúsalofttegunda sem losna frá lónum og eins og sjá má í töflu 12 er ekki hægt að draga ályktun um losun byggð á hnattstöðu, meðalhitastigi eða meðalúrkomu á þeim svæðum sem lón eru mynduð, fleira kemur til, t.d. magn kolefnis í jarðvegi og gróðri í lónstæðum.

TAFLA 11 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum á hverja unna kWst.

Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum g CO ₂ /kWst	
Búðarhálsstöð	0,2
Fljótsdalsstöð	0,3
Vattenfall, Svíþjóð*	7,1
Statkraft, Noregi	1,2
Agder Energy AS, Noregi	1,9

* Meðaltal 14 vatnsaflsvirkjana í eigu Vattenfall

TAFLA 12 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar og Búðarhálstöðvar, mæld losun frá lónum í norður Svíþjóð og svissnesku Ölpunum og áætluð losun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum.

	Losun CO ₂	Losun CH ₄	Breiddargráða	Meðal hitastig	Meðal úrkoma
	mg CO ₂ /m ² /d	mg CH ₄ /m ² /d	°N	°C	mm
Lón Búðarhálstöðvar	19	1	64	1,5	726
Lón Fljótsdalsstöðvar	33	1,3	64	-1	800
Svíþjóð, meðaltal*	128		62 - 66	1,2 - 3,5	490 - 674
Skinmuddselet (N-Svíþjóð)**	1.095		64	1,2	603
Sviss, meðaltal***	1.030	0,2	46 - 50	-1,3 - 7,9	739 - 1870
Meðallosun, norðlægar slóðir****	753	9,1	~ 50 - 70	-	-

* Meðaltal frá 7 lónum í norður Svíþjóð þar sem losunin liggur á bilinu 45 – 250 mg CO₂/m²/d [22], ** Liggur ekki inni í meðaltalinu frá Svíþjóð ([23]), *** Meðaltal frá 11 lónum ([24]), **** [25].

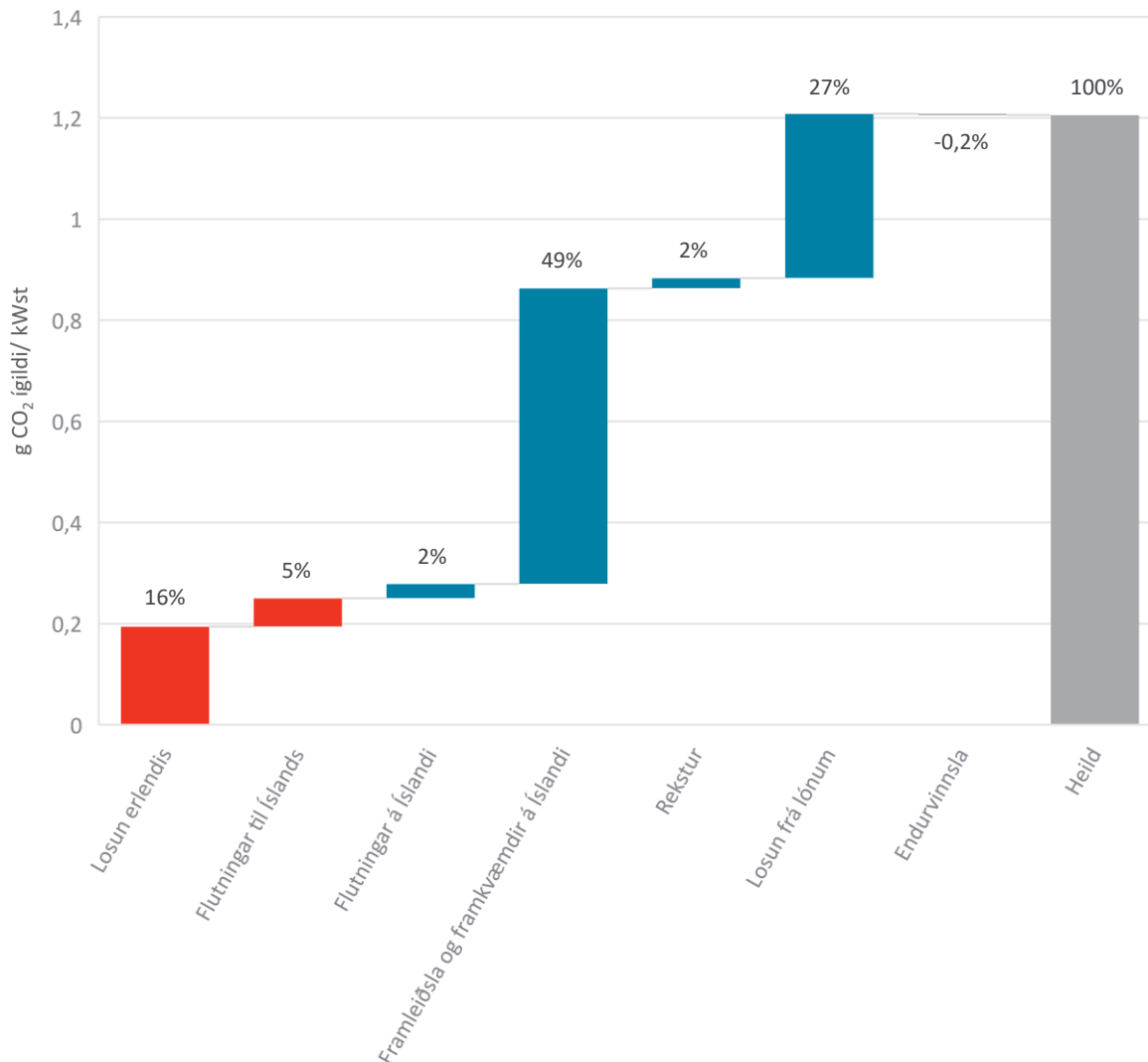
5.4 Hvar losna gróðurhúsalofttegundirnar

Gróðurhúsaáhrif eru hnattræn umhverfisáhrif og því hefur losun gróðurhúsalofttegunda ekki einungis áhrif á þeim stað þar sem losun þeirra á sér stað. Hins vegar er mikilvægt að átta sig á hvar losunin verður til að auðvelda mönnum að draga úr henni. Á mynd 15 má sjá hvar losun gróðurhúsalofttegunda á sér stað á vistferli Fljótsdalsstöðvar. Rúmlega 16% losunarinnar verður erlendis, tæp 5% við flutninga til landsins og tæplega 80% losunar gróðurhúsalofttegunda á sér stað á Íslandi. Þá dregur endurvinnsla úr losun um 0,2% á vistferlinum miðað við þær forsendur sem reiknað er með í greiningunni.

Sá hluti losunarinnar sem á sér stað utan Íslands er vegna framleiðslu byggingarefna að undanskildri framleiðslu á sementi og plaströrum fyrir ræsi og strengjalagnir sem fram fer á Íslandi. Enn fremur var vél- og rafbúnaðar og eldsneyti sem notað er við framkvæmdir og rekstur héraðs framleitt erlendis. Þá má sjá að sú losun sem rekja má til flutninga á aðföngum og starfsfólki á framkvæmdasvæði og flutningar úrgangs frá svæðinu á framkvæmdar- og rekstrarfasa veldur um 7% losunarinnar, að mestu leyti vegna aðflutninga til Íslands. Framleiðsla sements, steypu, plaströra og framkvæmdafasinn á Íslandi veldur tæplega 49% af heildarlosuninni. Að stærstum hluta er þar um að ræða framleiðslu á sementi í sementsgraut og steypu sem og brennslu á jarðefnaeldsneyti, en framleiðsla eldsneytisins fellur undir losun erlendis. Sá hluti losunar sem á sér stað á rekstartíma héraðs er að lang stærstum hluta vegna losunar frá lónum (27%) en einnig frá almennum rekstri (2%). Almennur rekstur felur í sér orkunotkun og förgun úrgangs.

Staðsetning losunar á vistferli Fljótsdalsstöðvar er nokkuð ólík því sem gerist í Búðarhálstöð [15]. Það sem aðallega veldur þessum mun er að sement var innflutt fyrir Búðarhálstöð og þá er losun gróðurhúsalofttegunda frá Sporðöldulóni þriðjungi lægra á hverja unna kWst en losunin frá lónum Fljótsdalsstöðvar. Þá hafa aðflutningar til Íslands mun stærra vægi í kolefnisspori Fljótsdalsstöðvar en í kolefnisspor Búðarhálstöðvar. Ástæðu þess er m.a. að rekja til ferða starfsmanna erlendra verktaka¹ og eftirlitsmanna til og frá vinnusvæði og þá var töluvert magn af stáli innflutt frá Kína fyrir Fljótsdalsstöð.

¹ Í heild voru 79% starfsmanna verktaka af erlendum uppruna (43% Evrópubúar, 36% utan Evrópu).



MYND 15 Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Fljótsdalsstöðvar skiptist á milli losunar erlendis (sýnt í rauðu) og á Íslandi (sýnt í bláu). Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á hverja kWst er sýnd með gráum lit.

5.5 Kolefnisspor orkugjafa

Kolefnisspor raforkuvinnslu Fljótsdalsstöðvar er lágt líkt og kolefnisspor sem reiknuð hafa verið fyrir byggingu og rekstur Búðarhálsstöðvar [15] og fyrir vatnsaflsstöðvar í Svíþjóð [16] og Noregi [17, 18] (tafla 13). Kolefnisspor raforkuvinnslu með óendurnýjanlegum orkugjöfum (kol, gas og lífmassi og kol saman) eru mun hærri en fyrir vinnslu með endurnýjanlegum orkugjöfum. Á mynd 16 má sjá samanburð á kolefnisspori mismunandi orkugjafa [23]. Gögnin sem myndin byggir á eru fyrir a.m.k. fimm mismunandi vistferilsgreiningar raforkuvinnslu fyrir hvern orkugjafa og sýnir miðgildi, há- og lággildi hvers orkugjafa. Miðgildi losunar fyrir vatnsafl er 24 gCO₂ ígildi/kWst² og er kolefnisspor Fljótsdalsstöðvar mun lægra, eða 1,2 gCO₂ ígildi/kWst. Kolefnisspor fyrir vatnsafl er mjög háð aðstæðum á hverjum stað fyrir sig og hefur losun á vistferli orkuvinnslu í vatnsaflsstöðvum verið fundin liggja á bilinu 1 – 2.200 g CO₂ ígildi/kWst. Skiptir mestu það magn lífræns kolefnis sem brotnar niður í

² Hér er aðeins reiknað með losun metans (CH₄) frá lónum, en engri losun koltvísýrings (CO₂).

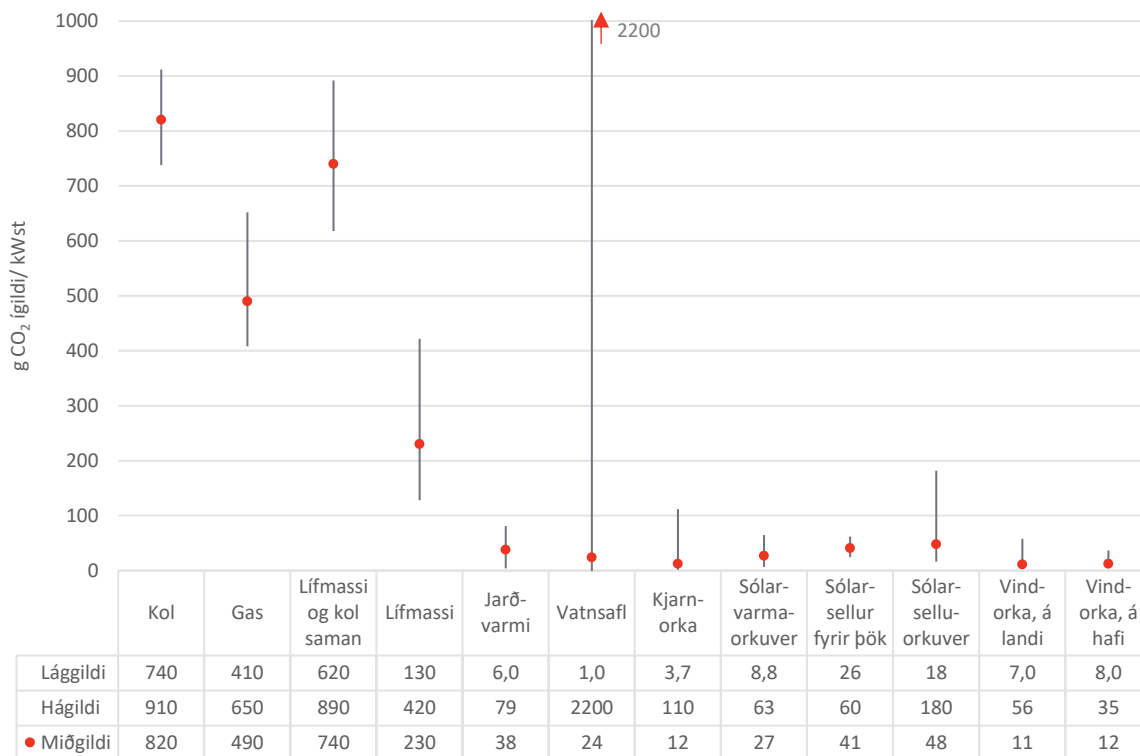
lónum aflstöðvanna og stærðargráða orkuvinnslunnar. Niðurstöður yfirlitsrannsóknar fyrir 80 uppistöðulón benda til þess að losun metans frá lónum sé í flestum tilvikum undir 20 g CO₂ ígilda/kWst [24]. Rekja má birta losun upp á um 2.200 g CO₂ ígildi/kWst til lóna aflstöðva í hitabeltislöndum með stórt yfirborðsflatarmál og hlutfallslega litla orkuvinnslu [25, 26, 27]. Á mynd 17 má sjá hvernig birtar niðurstöður fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsafli sem sýnd er á mynd 16 dreifast. Sjá má að 50% birtra niðurstaða eru lægri en 24 g CO₂ ígildi/kWst og 75% eru lægri en um 250 g CO₂ ígildi/kWst. Hæstu 25% af niðurstöðum liggja þar fyrir ofan með þrjár niðurstöður sem sína kolefnisspor upp á allt að 2.200 g CO₂ ígildi/kWst eins og áður er nefnt.

Af þeim orkugjöfum sem hér eru skoðaðir (mynd 16) má sjá að vindorka, sólarorka, kjarnorka og vatnsorka geta unnið raforku með kolefnisspori sem er minna en 5% af kolefnisspori raforkuvinnslu með kolum [23].

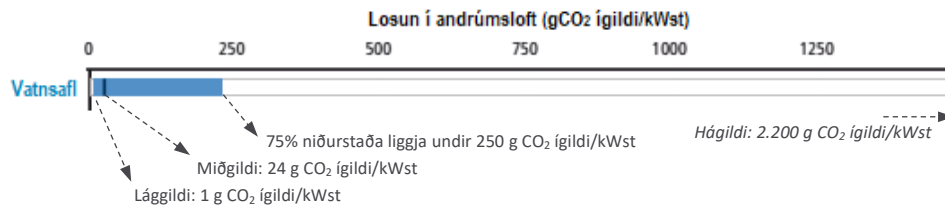
TAFLA 13 Kolefnisspor vatnsafsvirkjana á Norðurlöndum.

	Kolefnisspor g CO ₂ /kWst
Fljótsdalsstöð	1,2
Búðarhálsstöð	1,5
Vattenfall, Svíþjóð*	8,6
Statkraft, Noregi	2,7
Agder Energy AS, Noregi	2,8

* Meðaltal 14 vatnsafsvirkjana í eigu Vattenfall



MYND 16 Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum í grömmum CO₂ ígilda fyrir unna kWst. Myndin sýnir miðgildi (rauður punktur), há- og lággildi frá niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir hvern orkugjafa [23]. Kolefnisspor Fljótsdalsstöðvar er 1,2 g CO₂ ígildi/kWst.



MYND 17 Niðurstöður vistferilsgreininga fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsafla liggja á stóru bili (1 – 2.200 g CO₂ ígildi/kWst). Myndin sýnir að miðgildi niðurstaða er 24 g CO₂ ígildi/kWst og 75% niðurstaða eru lægri en 250 g CO₂ ígildi/kWst. Kolefnissporið er mjög háð aðstæðum á hverjum stað. Myndin er aðlöguð frá fimmtu úttektarskýrslu IPCC [23].

5.6 Tækifæri til úrbóta

Þrátt fyrir að umhverfisáhrif frá vinnslu raforku í Fljótsdalsstöð sé með því minnsta sem gerist við raforkuvinnslu almennt þegar litið er til þeirra áhrifa sem hér eru metin þá eru tækifæri til að gera enn betur. Í flestum áhrifaflokkum eru það framleiðslu- og framkvæmdafasi sem vege þyngra en rekstrarfasi stöðvarinnar á 100 ára líftíma hennar. Má rekja áhrifin að mestu til framleiðslu byggingarefna, og þá sérstaklega vegna framleiðslu sements í steypu sem og framleiðslu jarðefnaeldsneytis og bruna þess í vélum og ökutækjum.

5.6.1 Eldsneyti

Á öllum stigum vistferilsins er mikilvægt að hugað sé að ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis, en eldsneytisnotkun á vistferlinu veldur allt að 68% áhrifa innan áhrifaflokks (tafla 9). Ábyrg notkun felur m.a. í sér að slökkt sé á tækjum þegar þau eru ekki í notkun, að komið sé í veg fyrir lausagang, að biðtími sé lágmarkaður t.d. í námum og að kappkostað sé að tæki sem valin eru séu orkunýtin. Einnig getur skipt máli að viðhald tækja sé gott og vélar séu stilltar þannig að bruni vélarinnar verði sem bestur. Einnig hefur náðst árangur af því að þjálfa ökumenn í vistakstri. Þá er mikilvægt að fylgjast með framþróun í tækjakosti t.d. er varðar notkun véla og tækja sem knúin eru umhverfisvænni orkugjöfum. Einnig er vert að skoða hvort umhverfisleg hagkvæmni fáið með notkun annarra orkugjafa, t.d. lífdísil, í þeim tækjum og ökutækjum sem nú eru í notkun. Má nefna að í Noregi hafa verið gefnar út leiðbeiningar um aðgerðir fyrir framkvæmdaaðila til að reka framkvæmdasvæði án notkunar jarðefnaeldsneytis [31].

5.6.2 Innkaup

Framleiðsla byggingarefna sem og vél- og rafbúnaðar hefur töluverð áhrif á vistferlinum og því er mikilvægur þáttur í að draga úr umhverfisáhrifum að haga innkaupum með þeim hætti að umhverfisvænsti kosturinn sé valinn hverju sinni. Niðurstöðurnar sýna að mikilvægt er að huga að því hvernig staðið er að vali á steypu með tilliti til sementsinnihalds. Hvað varðar innkaup, hvort sem er á byggingarefnum eða vél- og rafbúnaði, er mikilvægt að litið sé til þess að framleiðandinn hafi ábyrga umhverfisstjórnun í starfsemi sinni. Dæmi um ábyrga umhverfisstjórnun er t.d. rekstur með vottað umhverfisstjórnunarkerfi (t.d. ISO 14001) og útgáfa framleiðanda á umhverfisyfirlýsingum (ISO 14025 EPD) fyrir vörur og búnað sem gefur upplýsingar um umhverfisáhrif vörunnar yfir allt vistferlið. Með slíkum upplýsingum er hægt að bera saman mismunandi valkosti út frá umhverfisáhrifum. Hægt er að

huga sér að óskað verði t.d. eftir umhverfisyfirlýsingum frá sementsframleiðendum og innkaupum hagað þannig að umhverfisáhrif séu lágörkuð. Framleiðendur á sementi vinna nú að því að draga úr gróðurhúsaáhrifum frá framleiðslu sinni, en sementsframleiðsla notar nú um 7% af allri orku sem notaður er í iðnaði á heimsvísu [30]. Þá skal hafa í huga að velja byggingarefni sem hafa hlotið umhverfissvottun, svo sem Svaninn, Evrópublómíð eða sambærileg merki. Sérstaklega ætti að huga að því við innkaup að velja kosti sem hafa minni umhverfisáhrif, t.d. lægra kolefnisspor, að því gefnu að aðrar kröfur Landsvirkjunar séu sömuleiðis uppfylltar.

5.6.3 Aðflutningar til Íslands

Starfsmenn verktaka við framkvæmdir voru að stærstum hluta af erlendum uppruna og því töluvert um flugferðir til og frá Íslandi. Einnig var töluvert magn stáls flutt inn frá Kína. Á Búðarhálsi var hlutfall starfsmanna af erlendum uppruna mun lægra (5%) og byggingastál var flutt um styttri veg en fyrir Fljótsdalsstöð. Niðurstöðurnar sýna að kolefnisspor aðflutninga til Íslands er rúmlega tvisvar sinnum stærra fyrir orkuvinnslu í Fljótsdalsstöð en í Búðarhálsstöð. Tækifæri er til staðar til að lækka áhrif flutninga, sérstaklega með því að líta til þess að lágmarka þörf fyrir flugferðir og stytta flutningsvegalengdir eins og mögulegt er.

5.6.4 Viðhald og endurnýjun á rekstrartíma

Rekstur stöðvarinnar vegur almennt minna í heildarumhverfisáhrifum í hverjum flokki heldur en framleiðslu- og framkvæmdafasi, að undanskildum flokknum næringarefnanaúðgun. Umhverfisvænn rekstur skiptir þó máli til að lágmarka umhverfisáhrif á líftímanum og einnig fyrir kolefnishlutleysi Landsvirkjunar á ársgrundvelli. Í flestum tilvikum er það viðhald mannvirkja og framleiðsla á nýjum búnaði vegna áætlaðrar endurnýjunar sem og brennsla jarðefnaeldsneytis sem skiptir mestu máli. Gott viðhald búnaðar og þannig lengri endingartími skiptir verulegu máli til að draga úr umhverfisáhrifum. Áætluð viðhalds- og endurnýjunarþörf í vistferilsgreiningunni byggir á leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [3] en ekki reynslutölum Landsvirkjunar. Því eru ekki fjallað frekar um viðhald og rekstur hér. Dregið er úr umhverfisáhrifum í öllum flokkum með endurvinnslu vegna endurnýjunar búnaðar og því mikilvægt að huga að því þegar kemur að endurnýjun í afstöðvum.

5.6.5 Mat og val á lónstæði fyrirhugaðra virkjunarkosta

Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar er um það bil tvöfalt hærra fyrir hverja unna orkueiningu en losunin er frá lóni Búðarhálsstöðvar. Ástæðan fyrir því er að magn kolefnis í jarðvegi lónstæða Fljótsdalsstöðvar er tvöfalt hærra að meðaltali en í lóni Búðarhálsstöðvar. Fyrir framtíðar virkjunarkosti Landsvirkjunar er tækifæri til að draga úr umhverfisáhrifum með því að huga snemma að vali á lónstæði, þar sem jarðvegur sem fer undir vatn er kolefnisrýr og gróðurþekja er í lágmarki. Þá mætti einnig skoða hvort það geti verið umhverfislega hagkvæmt að fjarlægja lífrænan hluta jarðvegs í fyrirhuguðum lónstæðum.

Alþjóðabankastofnunin (World Bank Group) hefur gefið út skýrslu þar sem er að finna tillögur varðandi losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsframkvæmda í undirbúningi [31]. Þar er lagt til að mat sé lagt á losun gróðurhúsalofttegunda frá fyrirhuguðum lónum sem hluti af mati á umhverfisáhrifum

framkvæmda. Í skýrslunni er einnig að finna tillögu að því hvernig slíkt mat fer fram, t.a.m. með notkun líkans (G-res Tool) sem gefið hefur verið út af UNESCO og IHA, en Landsvirkjun studdi þróun líkansins [32, 33]. Megintilgangur með slíku mati er að skera úr um hvaða fyrirhuguðu lónstæði eru líkleg til að valda óverulegri losun. Rannsóknir sem Landsvirkjun hefur m.a. unnið að til að meta raunlosun frá lónum aflstöðva sinna eru mikilvægur þáttur í áframhaldandi uppbyggingu á þekkingu í þessum málaflokki.

5.6.6 Vistvæn hönnun með tilliti til byggingarefna

Vistvæn hönnun mannvirkja hefur það að leiðarljósi að lágmarka umhverfisáhrif á sama tíma og allar kröfur um gæði og endingu eru uppfylltar. Vistferilsgreiningin dregur fram hvaða byggingarefni það eru sem valda mestum umhverfisáhrifum yfir vistferilinn. Nú liggja fyrir upplýsingar þannig að hægt er að vinna að vistvænni hönnun fyrir ný mannvirki aflstöðva Landsvirkjunar. Framleiðsla sements hefur mikil áhrif sem og framleiðsla steypustyrktarstáls og sprengiefna. Til mikils er að vinna ef hægt er að draga úr magni sements.

6 LOKAORÐ

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar leiða í ljós að umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu í Fljótsdalsstöð er með því minnsta sem gerist við raforkuvinnslu á heimsvísu. Kolefnisspor raforkuvinnslu í stöðinni er lágt, 1,2 gCO₂ ígildi á kWst, en niðurstöður mismunandi vistferilsgreininga fyrir vatnsafl víðs vegar um heiminn sína að kolefnisspor vatnsaflsstöðva liggja á bilinu frá 1 og upp í 2.200 g CO₂ ígildi/kWst (miðgildi 24 g CO₂ ígildi/kWst). Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Fljótsdalsstöðvar er 50% hærra en losun frá uppistöðulóni Búðarhálsstöðvar fyrir hverja unna kWst. Skiptir þar mestu magn kolefnis í jarðvegi sem losnar við breytta landnotkun, þ.e. að land fer undir vatn. Þrátt fyrir að losunin frá lónum er hærri á hverja unna kWst í Fljótsdalsstöð þá er heildarkolefnisspor Fljótsdalsstöðvar tæplega 20% lægra en kolefnisspor orkuvinnslu í Búðarhálsstöð (1,5 g CO₂ ígildi/kWst). Aðal ástæða þess er hagkvæmni í stærðinni, þ.e. umfang mannvirkja í samhengi við orkuvinnslugetu stöðvarinnar. En ljóst er að kolefnisspor raforkuvinnslu í báðum þessum aflstöðvum er mjög lítið samanborið við raforkuvinnslu almennt.

Orkubúskapur Fljótsdalsstöðvar er hagkvæmur. Á 100 ára líftíma vinnur stöðin 250 sinnum meiri orku en þarf til að byggja og reka stöðina. Þá tók tæplega 5 mánuði í rekstri stöðvarinnar að vinna jafnmikla orku og stöðin þarf á vistferli sínum, þ.e. vegna framleiðslu-, framkvæmda- og rekstrarfasa. Niðurstöður greiningarinnar leiða í ljós að orkuvinnsla í Fljótsdalsstöð er umhverfislega hagkvæm í samanburði við aðra orkuvinnslu og orkugjafa og hún gefur einnig upplýsingar um það hvar á vistferlinum umhverfisáhrifin verða.

Í skýrslu vísindanefndar Sameinuðu Þjóðanna um loftslagsmál (IPCC) frá haustinu 2018 [37] kemur fram hversu aðkallandi það er að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda með öllum tiltækum ráðum á næstu árum til að sporna við hlýnun jarðar umfram 1,5°C. Þörf er á umfangsmiklum aðgerðum að hálfu stjórnvalda, fyrirtækja og einstaklinga til þess að þetta takmark náist. Niðurstöður þessarar greiningar hafa dregið fram hvaða þættir það eru sem hafa mest áhrif á vistferli aflstöðvarinnar og hvar fyrirtækið getur náð mestum árangri í að draga úr umhverfisáhrifum. Í mörgum tilfellum má ráðast í aðgerðir nú þegar. Mögulegt er að vinna að úrbótum á rekstartíma stöðvarinnar og þegar nýjar vatnsaflsstöðvar eru hannaðar og byggðar. Tækifæri til úrbóta liggja m.a. í:

- Ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis og því að taka þátt í orkuskiptum í samgöngum og tækjabúnaði.
- Að settar séu kröfur er varða umhverfismál við innkaup.
- Að lágmarka þörf fyrir aðflutninga og stytta flutningsvegalengdir.
- Huga vel að vali á lónstæðum í framtíðar vatnsaflsvirkjunum fyrirtækisins.
- Að vinna að vistvænni hönnun fyrir ný mannvirki aflstöðva Landsvirkjunar með réttum áherslum.

Þannig má nýta niðurstöður greiningarinnar til að hefja samtal í virðisreðu Landsvirkjunar, við birgja um kaup á vörum og þjónustu með minna vistspor. Vistferilsgreiningin er leiðbeinandi um hvar ber helst að hefja það samtal. Þá eru niðurstöðurnar grunnur fyrir umhverfisyfirlýsingu (Environmental Product Declaration, EPD) fyrir framleiðslu raforku með vatnsafl og er hægt að leggja slíkar upplýsingar inn í alþjóðlega gagnabanka um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar og nýtast þannig viðskiptavinum Landsvirkjunar og notendum raforkunnar við útreikninga á umhverfisáhrifum sinnar vöru eða í loftslagsbókhald viðkomandi reksturs.

Niðurstöðurnar sem hér eru birtar eru uppfærsla á eldri vistferilsgreiningu, og byggja þær á aukinni þekkingu á losun frá lónum, umfangsmeiri gagnagrunnum fyrir gerð slíkra greininga og uppfærðu mati á orkuvinnslugetu stöðvarinnar til lengri tíma. Allt hefur þetta áhrif á niðurstöðurnar og í sex af þeim sjö flokkum sem skoðaðir voru eru áhrifin metin á bilinu 46% - 78% minni, en í flokknum næringarefnaauðgun hafa áhrifin aukist talsvert, en nú er tekið tillit til áhrifa í lóni aflstöðvarinnar sem ekki var reiknað með í fyrri greiningu.

Verkefnið er liður í því að fá vitneskju um raunáhrif raforkuvinnslu hjá Landsvirkjun. Gerðar hafa verið sambærilegar greiningar fyrir Búðahálsstöð [15] og vindmyllur á Hafinu [28] og á næstu misserum munu liggja fyrir niðurstöður fyrir raforkuvinnslu í fleiri vatnsaflstöðvum sem og jarðvarmavirkjun Landsvirkjunar. Upplýsingar sem notaðar voru við gerð greiningarinnar eru góðar og eru að mestu rauntölur frá byggingarframkvæmdum og rekstri. Nokkur óvissa er þó í upplýsingum varðandi endurnýjun og viðhald stöðvarinnar og væri áhugavert að skoða í framhaldinu næmni niðurstaða vistferilsgreininganna fyrir aflstöðvar Landsvirkjunar með tilliti til þessa. Að auki mætti skoða áhrif breytts líftíma á t.d. kolefnissporið og orkuarðsemina.

Niðurstöður greiningarinnar eru gott verkfæri fyrir Landsvirkjun í þeirri virku umhverfisstjórnun sem fyrirtækið vinnur eftir í samræmi við alþjóðlega umhverfisstjórnunarstaðalinn ISO 14001:2015. Einnig sannreyna niðurstöðurnar það sem hefur verið haldið fram, að orkuvinnsla Landsvirkjunar í Fljótsdalsstöð er umhverfislega hagkvæm, að minnsta kosti hvað varðar þá sjö flokka umhverfisáhrifa sem metnir eru hér sem og orkubúskap, hvort sem borið er saman við endurnýjanlega eða óendurnýjanlega orkugjafa. Þá liggja nú fyrir tölulegar upplýsingar sem hægt er að nota í markaðssetningu á raforkunni sem endurnýjanlegur orkugjafi með lítið kolefnisspor.

7 HEIMILDASKRÁ

- [1] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli,“ Landsvirkjun, LV-2011-086, 2011.

- [2] Guðrún Gísladóttir, Utra Mankasingh, Jóhann Þórsson, *Physical and chemical soil properties of different land cover types, related to soil carbon, at Sporðöldulón*, Háskóli Íslands og Landgræðsla ríkisins, 2017.

- [3] Thinkstep, *GaBi databases*, Thinkstep, 2018.

- [4] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Búðarhálstöð,“ Landsvirkjun LV-2018-048, 2018.

- [5] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með rannsóknarvindmyllum á Hafinu við Búrfell,“ Landsvirkjun LV-2015-129, 2015.

- [6] ISO, *ISO 14040: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, International Organization for Standardization, Second edition, 2006.

- [7] ISO, *ISO 14044: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, International Organization for Standardization, First edition, 2006.

- [8] The International EPD System, *Product Group Classification: UN CPC 171 and 173 Electricity, Steam and Hot/Cold Water Generation and Distribution. PCR 2007:08*, The International EPD system, 2015.

- [9] ÍST EN 15978:2011, „Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method,“ 2011.
- [10] Leiden University, „CML-IA Characterisation Factors,“ CML - Department of Industrial Ecology, 05 09 2016. [Á neti]. Available: <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>.
- [11] J. Guðmundsson, *Óútgefið efni*, LBHÍ. Tölvupóstsamskipti, 5. febrúar 2018.
- [12] Krey, Masera, Blanford, Bruckner, Cooke, Fisher-Vanden, Haberl, Hertwich, Kriegler, Mueller, Paltsev, Price, Schlömer, v. V. Ürge-Vorsatz og Zwickel, „Annex II: Metrics & Methodology. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,“ Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2014.
- [13] Thinkstep AG, *GaBi databases*, 2017.
- [14] S. Glöser, M. Soulier og L. A. Tercero Espinoza, „Dynamic Analysis of Global Copper Flows. Global Stocks, Postconsumer Material Flows, Recycling Indicators, and Uncertainty Evaluation,“ *Environmental Science and Technology*, b. 47, pp. 6564-6572, 2013.
- [15] Confederation of European paper industries, *Resource efficiency in the pulp and paper industry. Making more from our natural resources.*, Brussels: CEPI.
- [16] L. Rigamonti, M. Grosso og M. C. Sunseri, „Influence of assumptions about selection and recycling efficiencies on the LCA of integrated waste management systems,“ *The International Journal of Life Cycle Assessment*, b. 14, pp. 411-419, 2009.
- [17] Dr. Thilo Kupfer; Dr. Martin Baitz; Dr. Cecilia Makishi Colodel; Morten Kokborg; Steffen Schöll; Matthias Rudolf; Dr. Lionel Thellier; Maria Gonzalez, Dr. Oliver Schuller; Jasmin Hengstler; Alexander Stoffregen; Dr. Annette Köhler; Daniel Thylmann, *GaBi Database & Modelling Principles. 2017 Edition - January 2017*, thinkstep, 2017.
- [18] Umhverfisstofnun, „Losun Íslands,“ [Á neti]. Available: <https://www.ust.is/einstaklingar/loftslagsbreytingar/losun-islands/>. [Skoðað 4 Júlí 2018].
- [19] Sathaye, J; O. Lucon; A. Rahman; J. Christensen; F. Denton; J. Fujino; G. Heath; S. Kadner; M. Mirza; H. Rudnick; A. Schlaepfer; A. Shmakin, „Renewable Energy in the Context of Sustainable

- Development. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation,“ Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2011.
- [20] Vattenfall, *EPD of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower*, The International EPD System, 2018.
- [21] Agder Energi AS, *Environmental Product Declaration. Hydroelectricity from Skjerka power station*, The Norwegian EPD Foundation, 2016.
- [22] Statkraft, *Hydroelectricity from Trollheim Power Station*, The Norwegian EPD Foundation, 2013.
- [23] Bergström AK, Algesten G, Sobek S, Tranvik L, Jansson M, *Emission of CO₂ from hydroelectric reservoirs in northern Sweden*, Archiv fur hydrobiologie, 2004.
- [24] Åberg J, Bergström AK, Algesten G, Söderback K, Jansson M, *A comparison of the carbon balances of a natural lake(L. Örträsket) and a hydroelectric reservoir (L.Skinmuddselet) in northern Sweden.*, Water Research (38) 531-538, 2003.
- [25] Diem T, Koch S, Schwarzenbach S, Wehrli B, Schubert CJ , *Greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄ and N₂O) from perialpine and alpine hydropower reservoirs*, Biogeoscience Discuss, 5, 3699-3736, 2008.
- [26] Li S, Zhang Q , *Carbon emission from global hydroelectric reservoirs revisited.*, Environmental Science and Pollution Research 21: 13636-13641, 2014.
- [27] Bruckner, Bashmakov, Mulugetta, Chum, d. I. V. Navarro, Edmonds, Faaij, Fungtammasan, Garg, Hertwich, Honnery, Infield, Kainuma, Khennas, Kim, Nimir, Riahi, Strachan, Wisser og Zhang, „Energy Systems. In: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change,“ Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA., 2014.
- [28] H. EG, „Addressing Biogenic Greenhouse Gas Emissions from Hydropower in LCA,“ *Environmental Science & Technology* , b. 47, pp. 9604-9611, 2013.
- [29] A. G, F. Guérin, S. Richard, R. Delmas, C. Galy-Lacaux, P. Gosse, A. Tremblay, L. Varfalvy, M. D. Santos og B. Matvienko, „Carbon dioxide and methane emissions and the carbon budget of a 10-year old tropical reservoir (Petit Saut, French Guiana),“ *Global Biogeochem. Cycles*, b. 19, 2005.

- [30] K. A. B. Forsberg og J. Melack, „Methane release below a tropical hydroelectric dam,“ *Geophysical Research Letters*, b. 34, 2007.
- [31] K. A. B. Forsberg og J. Melack, „CO2 emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil),“ *Journal of Geophysical Research*, b. 116, 2011.
- [32] Energy Norway, the Norwegian District Heating Organization, ENOVA, Federation of Norwegian Construction Industries (BNL), Norwegian Contractors Association Oslo, Akershus and Ostfold (EBAO), Climate Agency, City of Oslo and Nelfo, „Guide to arranging fossil- and emission- free solutions on building sites,“ DNV GL AS Energy, Oslo, 2018.
- [33] IEA; WBCSD; CSI, *Technology Roadmap. Low-Carbon Transition in the Cement Industry*, Paris: International Energy Agency (IEA) and the World Business Council for Sustainable Development’s (WBCSD) Cement Sustainability Initiative (CSI) , 2018.
- [34] The International EPD System, *Product Group Classification: UN CPC 171 and 173 Electricity, Steam and Hot/Cold Water Generation and Distribution. PCR 2007:08*, The International EPD system, 2015.
- [35] World Bank Group, *Greenhouse Gases from Reservoir Caused by Biogeochemical Processes*, World Bank Group, 2017.
- [36] UNESCO/IHA, „Research Project on the GHG Status of Freshwater Reservoirs, The GHG Reservoir Tool (G-res),“ 2017. [Á neti]. Available: www.hydropower.org/gres-tool.
- [37] P. YT, A. J, H. A, M.-B. S og N. R, *The GHG Reservoir Tool (G-res). Technical documentation. UNESCO/IHA research project on the GHG status of freshwater reservoirs.*, Joint publication of the UNESCO Chair in Global Environmental Change and the International Hydropower Association, 2017.
- [38] IPCC, WG I, WG II, WG III, *Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways...*, IPCC, 2018.
- [39] JRC-IEC, *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, 2011.

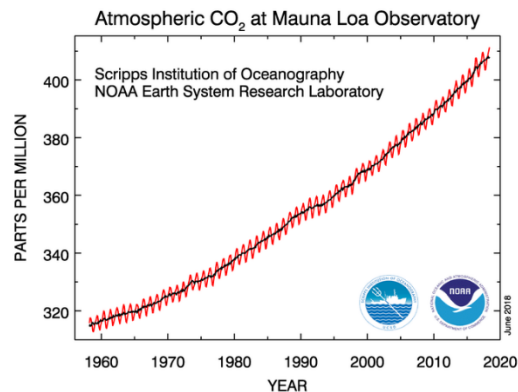
- [40] National Oceanic and Atmospheric Administration , „Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide,“ U.S. Department of Commerce, [Á neti]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>. [Skoðað 2 July 2018].
- [41] NASA Ozone Watch, „National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center,“ 17 October 2016. [Á neti]. Available: https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history_SH.html. [Skoðað 2 July 2018].
- [42] Umhverfisstofnun, „Óson,“ [Á neti]. Available: <https://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/oson/>. [Skoðað 2 July 2018].

VIÐAUKI A UMHVERFISÁHRIF

Í eftirfarandi töflu er þeim umhverfisáhrifum sem metin eru í greiningunni lýst í stuttu máli. Upplýsingar eru aðlagðar frá GaBi Database & Modelling Principles [12] og ILCD Handbook. International Reference Life Cycle Data System. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context [29].

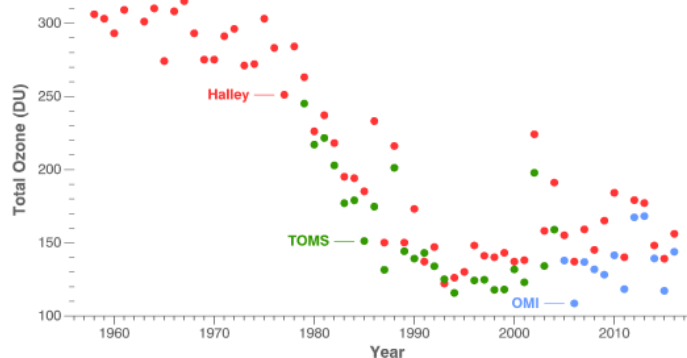
Gróðurhúsaáhrif valda breytingu á meðalhita jarðarinnar sem rekja má til losunar gróðurhúsalofttegunda af manna völdum, t.d. koltvísýrings (CO_2), metans (CH_4) og brennisteinshexaflúoríðs (SF_6). Búist er við að hækkun meðalhita jarðar muni m.a. hafa í för með sér miklar breytingar á loftslagi og veðurfari, valda eyðimerkurmyndun (e. Desertification), hækkun á yfirborði sjávar og aukningu í útbreiðslu sjúkdóma. Styrkur CO_2 í andrúmslofti hefur verið mældur á Mauna Loa í Hawaii frá árinu 1958 og sýnir greinilega aukinn styrk lofttegundarinnar í lofthjúpnunum [30]. Grafið að neðan sýnir styrk CO_2 í andrúmslofti sem fall af tíma.

Gróðurhúsaáhrif (e. Global warming, GWP 100 years)



Eyðing ósons í heiðhvolfinu eða eyðing ósonlagsins stafar af völdum klór- og brómsambanda sem berast upp í heiðhvolfið, sem er í um 10 – 50 km hæð yfir yfirborði jarðar. 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. Mælingar á styrk ósons í heiðhvolfinu yfir Suðurskautslandinu hafa verið gerðar frá árinu 1956. Árið 1985 fóru mælingar að sýna töluverða lækkun á styrk ósons, í kjölfarið var undirrituð s.k. Montreal bókun um efni sem valda rýrnun ósonlagsins þar sem kveðið er á um að horfið verði frá notkun ósoneyðandi efna [31]. Grafið að neðan sýnir heildarmagn ósons í DU einingum sem fall af tíma.

Eyðing ósonlagsins (e. ozone depletion)



<p>Myndun ósons við yfirborð jarðar (e. photochemical ozone formation)</p>	<p>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. Um er að ræða staðbundin umhverfisáhrif þar sem auknum styrk ósons við yfirborð, við ákveðnar verðuraðstæður, getur fylgt mikið hitamystur og kallast fyrirbrigðið photochemical smog á ensku. Þetta er mjög þekkt fyrirbæri í stórborgum heimsins, en hefur minnkað nokkuð á vesturlöndum á allra síðustu áratugum vegna kröftugra mótvægisáðgerða. Talið er að mengun frá umferð og orkuverum hafi hækkað bakgrunnstyrk ósons niður við jörð á stórum svæðum í Evrópu og Norður Ameríku og er t.d. styrkur ósons yfir Atlantshafi helmingi hærri á norðurhveli jarðar en suðurhvelinu [32].</p>
<p>Súrnun lands og vatns (e. acidification)</p>	<p>Súrnun lands og vatns á sér stað þegar súrt regn myndast er regn hvarfast við mengandi lofttegundir í andrúmsloftinu. Hér er ekki um að ræða súrnun sjávar af völdum gróðurhúsaáhrifa. Þær lofttegundir sem helst valda myndun súrs regns eru ammoníak (NH₃), köfnunarefnisoxíð (NO_x) og brennisteinstvíoxíð (SO₂). Þar sem súrt regn fellur til jarðar, oft töluverða vegalengd frá uppsprettu mengunarinnar, veldur það oft á 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.</p>
<p>Næringarefnaauðgun (e. eutrophication)</p>	<p>Næringarefnaauðgun getur átt sér stað í vatni eða í jarðvegi. Nítröt og fosföt eru nauðsynleg öllu lífi, hins vegar getur háur styrkur næringarefna, t.d. í vatni valdið óhóflægum þörungavexti sem leiðir af sér lækkaðan styrk súrefnis í vatninu. Næringarefnaauðgun getur valdið miklum skaða í vistkerfum með aukinni dánartíðni lífvera og lífverur sem krefjast lágs styrks næringarefna geta horfið úr vistkerfinu. Losun ammoníaks, nítрата, nituroxíða og fosfórs í andrúmsloft og vötn geta valdið næringarefnaauðgun. Næringarefnaauðgun veldur staðbundnum umhverfisáhrifum og dæmi um slík áhrif eru t.d. næringarefnaauðgun í Mývatni sem rekja má til ófullnægjandi hreinsunar á fráveituvatni sem losað er í vatnið.</p>
<p>Eyðing auðlinda (e. resource depletion)</p>	<p>Hér er átt við eyðingu auðlinda, svo sem málmgrýti, hráolíu og önnur hráefni sem unnin eru úr námum og eru óendurnýjanleg. Þessi flokkur umhverfisáhrifa tekur tillit til minnkunar á forða óendurnýjanlegra hráefna sem verður við vinnslu þeirra og notkun. Forði auðlindar er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og er hagkvæmt að nýta.</p>
<p>Orkuþörf yfir vistferil (e. primary energy demand)</p>	<p>Orkuþörf yfir vistferil (PED) er magn orku frá endurnýjanlegum og óendurnýjanlegum orkugjöfum sem notuð er yfir allan vistferilinn. Orkan er gefin upp í samræmi við orkuinnihald orkugjafanna, t.d. orkuinnihaldi eldsneytis eða virkjanlegri fallorku vatns. Gerður er greinarmunur á óendurnýjanlegum og endurnýjanlegum orkugjöfum, þ.e. jarðefnaeldsneyti, hráolía, brúnkol og úran annars vegar, og orka frá vatni, vindi, sól og lífmassa hins vegar.</p>

VIÐAUKI B TÖLULEGAR NIÐURSTÖÐUR

Tölulegar niðurstöður fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa frá vinnslu á 1 kWst af raforku í Fljótsdalsstöð á vistferli aflstöðvarinnar (A-D)

	Eining/kwst	Alls	Öflun hráefna og framleiðsla (A1-A3)		Flutningar á framkvæmdasvæði (A4)		Framkvæmdir (A5)		Rekstur aflstöðvar (B1-B6)		Rekstur, losun frá lónum (B1)		Endurvinnsla (D)	
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	1,2,E+00	3,5,E-01	29%	1,1,E-01	9%	3,7,E-01	31%	4,8,E-02	4%	3,3,E-01	27%	-2,7,E-03	-0,2%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	9,0,E-03	2,4,E-03	27%	1,5,E-03	17%	4,7,E-03	52%	4,6,E-04	5%	0,0,E+00	0%	-3,4,E-05	-0,4%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	4,4,E-06	7,2,E-07	16%	8,6,E-07	19%	2,7,E-06	61%	1,6,E-07	4%	0,0,E+00	0%	-7,8,E-09	-0,2%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	3,2,E-07	8,4,E-08	26%	6,3,E-08	19%	1,3,E-07	39%	1,4,E-08	4%	3,7,E-08	11%	-1,4,E-09	-0,4%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	3,1,E-06	1,1,E-07	3%	1,7,E-07	6%	3,2,E-07	10%	3,0,E-08	1%	2,4,E-06	80%	-8,9,E-10	0,0%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	3,1,E-09	1,7,E-09	56%	7,5,E-12	0%	7,4,E-11	2%	1,3,E-09	41%	0,0,E+00	0%	-4,1,E-12	-0,1%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	3,0,E-15	2,3,E-15	77%	3,0,E-18	0%	9,8,E-18	0%	7,4,E-16	25%	0,0,E+00	0%	-6,7,E-17	-2,2%

Tölulegar niðurstöður fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa frá vinnslu á 1 kWst af raforku í Fljótsdalsstöð á framleiðslu- og framkvæmdastigi (A1-A5) og hlutfallsleg áhrif á heildar vistferlinum.

	Eining/kwst	Alls (A1-A5)	Framleiðsla byggingarefna (A1-A3)	Framleiðsla vél- og rafbúnaðar (A1-A3)	Framleiðsla eldsneytis fyrir flutninga og ferðir starfsfólks (A4 og A5)	Bruni eldsneytis við flutninga byggingarefna (A4)	Bruni eldsneytis við flutninga vél- og rafbúnaðar (A4)	Bruni eldsneytis vegna ferða starfsfólks (A5)	Framleiðsla eldsneytis fyrir framkvæmdir (A5)	Bruni eldsneytis við framkvæmdir (A5)	Raforkunotkun við framkvæmdir (A5)	Flutningar og förgun úrgangs frá framkvæmdum (A5)
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	8,4,E-01	3,2,E-01 26%	3,5,E-02 3%	5,5,E-03 0%	8,2,E-02 7%	1,5,E-03 0%	2,4,E-02 2%	2,8,E-02 2%	3,1,E-01 26%	1,1,E-02 1%	2,0,E-02 1,7%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	8,6,E-03	2,0,E-03 22%	3,8,E-04 4%	1,5,E-03 17%	0,0,E+00 0%	0,0,E+00 0%	0,0,E+00 0%	4,6,E-03 51%	0,0,E+00 0%	8,3,E-06 0%	2,2,E-05 0,2%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	4,3,E-06	6,2,E-07 14%	1,0,E-07 2%	2,5,E-08 1%	7,3,E-07 16%	4,1,E-08 1%	6,3,E-08 1%	2,0,E-07 4%	1,0,E-06 23%	1,5,E-06 33%	1,1,E-08 0,3%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	2,7,E-07	7,0,E-08 22%	1,3,E-08 4%	4,6,E-09 1%	5,2,E-08 16%	2,2,E-09 1%	3,9,E-09 1%	3,2,E-08 10%	9,0,E-08 28%	3,3,E-10 0%	4,6,E-09 1,4%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	5,9,E-07	9,8,E-08 3%	8,0,E-09 0%	3,1,E-09 0%	1,5,E-07 5%	4,5,E-09 0%	1,6,E-08 1%	4,0,E-08 1%	2,6,E-07 8%	4,1,E-10 0%	1,6,E-08 0,5%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	1,8,E-09	4,0,E-10 13%	1,3,E-09 43%	2,3,E-12 0%	5,2,E-12 0%	0,0,E+00 0%	0,0,E+00 0%	2,8,E-11 1%	0,0,E+00 0%	4,5,E-11 1%	3,0,E-13 0,0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	2,3,E-15	1,3,E-16 4%	2,2,E-15 73%	1,2,E-18 0%	1,7,E-18 0%	0,0,E+00 0%	0,0,E+00 0%	9,3,E-18 0%	0,0,E+00 0%	1,5,E-19 0%	3,3,E-19 0,0%

Tölulegar niðurstöður fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa frá vinnslu á 1 kWst af raforku í Fljótsdalsstöð á rekstrarfasa (B1-B6) og hlutfallsleg áhrif á heildar vistferlinum.

	Eining/kwst	Alls (B1-B6)	Flutningar og förgun úrgangs frá rekstri (B1)	Losun frá lónum (B1)	Viðhald (B2-B3)	Endurnýjun vél- og rafbúnaðar (B4)	Framleiðsla eldsneytis fyrir rekstur (B6)	Bruni eldsneytis vegna reksturs (B6)	Raforkunotkun (B6)
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	3,7E-01	9,5E-03 1%	3,3E-01 27%	8,2E-03 1%	1,7E-02 1%	9,9E-04 0%	1,0E-02 1%	1,9E-03 0,2%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	4,6E-04	4,7E-05 1%	0,0E+00 0%	3,9E-05 0%	2,0E-04 2%	1,6E-04 2%	0,0E+00 0%	1,5E-05 0,2%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	1,6E-07	1,2E-08 0%	0,0E+00 0%	1,6E-08 0%	7,9E-08 2%	6,8E-09 0%	4,3E-08 1%	7,1E-09 0,2%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	5,1E-08	1,9E-09 1%	3,7E-08 11%	1,6E-09 1%	7,1E-09 2%	1,1E-09 0%	2,0E-09 1%	5,4E-10 0,2%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	2,5E-06	4,5E-09 0%	2,4E-06 80%	2,5E-09 0%	6,2E-09 0%	1,4E-09 0%	1,1E-08 0%	4,4E-09 0,1%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	1,3E-09	1,9E-13 0%	0,0E+00 0%	1,2E-11 0%	1,3E-09 41%	9,4E-13 0%	0,0E+00 0%	5,9E-12 0,2%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	7,4E-16	1,3E-19 0%	0,0E+00 0%	1,8E-18 0%	7,3E-16 24%	3,3E-19 0%	0,0E+00 0%	5,3E-18 0,2%

Tölulegar niðurstöður fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa frá vinnslu á 1 kWst af raforku í Fljótsdalsstöð frá endurvinnslu (D) og hlutfallsleg áhrif á heildar vistferlinum.

	Eining/kwst	Alls (D)	Endurvinnsla úrgangs frá framkvæmdum	Úrgangur til endurvinnslu á rekstartíma	Endurvinnsla vegna endurnýjunar búnaðar á rekstartíma
Gróðurhúsaáhrif	g CO2 ígildi	-2,7E-03	-1,1E-03 -0,1%	-2,7E-04 0,0%	-1,3E-03 -0,1%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	-3,4E-05	-1,1E-05 -0,1%	-9,4E-06 0,1%	-1,3E-05 -0,1%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	-7,8E-09	-2,8E-09 -0,1%	-1,1E-09 0,0%	-3,9E-09 -0,1%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	-1,4E-09	-5,8E-10 -0,2%	-2,1E-10 0,1%	-5,9E-10 -0,2%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	-8,9E-10	-3,2E-10 0,0%	-1,6E-10 0,0%	-4,1E-10 0,0%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	-4,1E-12	-5,2E-13 0,0%	-2,4E-13 0,0%	-3,3E-12 -0,1%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	-6,7E-17	-1,3E-18 0,0%	-1,4E-18 0,0%	-6,4E-17 -2,1%



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

