



Landsvirkjun

LV-2020-035

Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Búrfellsstöð II



Lykilsíða



Skýrsla LV nr: LV-2020-035

Dags: 1. desember 2020

Fjöldi síðna: 71

Upplag:

Dreifing:

- Birt á vef LV
 Opin
 Takmörkuð til

Titill: Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafl. Búrfellsstöð II

Höfundar/fyrirtæki: EFLA verkfræðistofa: Stefán Þór Kristinsson, Alexandra Kjeld, Helga J. Bjarnadóttir, Þorbjörg A. Sigurbjörnsdóttir

Verkefnisstjóri: Björn Halldórsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun

Útdráttur: Í þessari skýrslu er að finna niðurstöður vistferilsgreiningar á Búrfellsstöð II, 700 GWst vatnsaflsstöð Landsvirkjunar sem gangsett var árið 2018 og er 300 GWst nettó aflaukning við Búrfellsstöð sem hefur verið í rekstri frá árinu 1969. Aðgerðareining þessarar greiningar er 1 kWst raforka unnin í Búrfellsstöð II. Metin eru umhverfisáhrif frá framleiðslu og flutningum byggingarefna, framleiðslu og flutningum vél- og rafbúnaðar, orkunotkun og úrgangi vegna framkvæmda, ferðum starfsmanna verktaka ásamt rekstri stöðvarinnar á 100 ára vistferli hennar. Þar með talið er mat á losun frá lóni virkjunarinnar. Kolefnisspor Búrfellsstöðvar II er 0,5 g CO₂ ígildi/kWst en sem aflaukning Búrfellsstöðvar er stöðin með kolefnissporið 1,2 g CO₂-ígildi/kWst. Bæði þessi gildi eru lág, hvort sem miðað er við erlendar vatnsaflsstöðvar eða við fyrri greiningar sem EFLA hefur unnið fyrir Landsvirkjun, ss. fyrir Búðarhálsstöð, Blöndustöð og Fljótsdalsstöð. Ef nýting fyrirbyggjandi innviða er möguleg sýnir þessi vistferilsgreining að aflaukning getur verið umhverfislega ákjósanlegri en nýbygging.

Lykilorð: Vistferilsgreining, Life Cycle Assessment, LCA, kolefnisspor, vatnsafl, vatnsorka, Búrfellsstöð II

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Búrfellsstöð II

SAMANTEKT

Markmið þessa verkefnis er greining og mat á umhverfisáhrifum frá raforkuvinnslu í Búrfellsstöð II, vatnsaflsstöð Landsvirkjunar sem gangsett var árið 2018 og er aflaukning við Búrfellsstöð sem hefur verið í rekstri frá árinu 1969. Verkefnið er liður í að meta umhverfisáhrif aflstöðva í eigu Landsvirkjunar. Matið er framkvæmt með aðferðarfræði vistferilsgreiningar í samræmi við staðla ISO 14040 og ISO 14044 og Evrópustaðalinn EN 15804 sem varðar sjálfbærni í byggingariðnaði. Einnig er stuðst við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsinga (e. *Environmental Product Declaration, EPD*). Auk þess er tekið mið af vöruflokkareglum (e. *Product Category Rules, PCR*) varðandi vottaðar umhverfisýfirlýsingar af gerð III samkvæmt staðli ISO 14025.

Niðurstöður verkefnisins getur Landsvirkjun m.a. notað til að veita raforkunotendum áreiðanlegar upplýsingar um umhverfisáhrif frá vinnslu orkunnar og sem verkfæri í virkri umhverfisstjórnun fyrirtækisins þar sem stöðugt er leitað leiða til úrbóta. Vistferilsgreining er aðferðarfræði sem er notuð til þess að meta staðbundin og hnattræn umhverfisáhrif vöru, framleiðsluferils eða þjónustu yfir allan vistferilinn. Greiningin nær því yfir alla virðiskeðju vörunnar, þ.e. allt frá öflun hráefna og framleiðsluferli hennar, auk notkunar og meðhöndlunar efna í lok skilgreinds líftíma. Með aðferðinni má greina hvar í vistferlinum mestu umhverfisáhrifin verða, en slíkar upplýsingar má nota til að bæta ákveðna vöru eða þjónustu, í samræmi við ISO 14001:2015 umhverfisstjórnunarstaðalinn sem gerir kröfu um að hugað sé að umhverfisáhrifum yfir allan vistferilinn. Aðferðin er stöðluð og birtast niðurstöður vistferilsgreininga á formi tölulegra upplýsinga, t.d. kolefnisspor, sem nota má til samanburðar á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir sambærilegar vörur eða þjónustu.

Aðgerðareining þessarar greiningar er 1 kWst raforka unnin í Búrfellsstöð II. Í greiningunni er horft á Búrfellsstöð II sem sjálfstæða aflstöð með árlega orkuvinnslugetu upp á 700 GWst og niðurstöður umhverfisáhrifa metnar því til samræmis. Við gangsetningu þessarar stöðvar var dregið úr orkuvinnslu í Búrfellsstöð I, svo samanlagt er um að ræða aflaukningu upp á 300 GWst. Metin eru umhverfisáhrif frá framleiðslu og flutningum byggingarefna, framleiðslu og flutningum vél- og rafbúnaðar, orkunotkun og úrgangi vegna framkvæmda, ferðum starfsmannaverktaka ásamt rekstri stöðvarinnar á 100 ára vistferli hennar. Þar með talið er mat á losun frá lóni virkjunarinnar. Gögnin sem vistferilsgreiningin byggir á eru góð. Þau eru fengin úr gögnum verktaka, úr framkvæmda- og lokaskýrslum framkvæmda, frá umhverfisýfirlýsingum efna, frá framleiðendum búnaðar og notaðar eru rauntölur frá rekstri aflstöðva Landsvirkjunar á Þjórsársvæðinu. Stuðst er við vottaðar umhverfisýfirlýsingar fyrir stál og sement í steypu í samræmi við steypuflokka sem notaðir voru við framkvæmdirnar samkvæmt skýrslu steypuframleiðanda. Mat á losun frá uppistöðulónum er byggt á rannsóknum Háskóla Íslands, Landgræðslu ríkisins og Landbúnaðarháskóla Íslands.

Í öllum sjö flokkum umhverfisáhrifa sem reiknað var fyrir er það framleiðslu- og framkvæmdarfasi stöðvarinnar sem vegur þyngst á 100 ára líftíma hennar. Í þeim fasa má að stærstum hluta rekja umhverfisáhrif til framleiðslu á steypu sem og framleiðslu og brennslu jarðefnaeldsneytis. Rekstur stöðvarinnar vegur almennt minna en í öðrum sambærilegum greiningum þegar kemur að umhverfisáhrifum, en þó eru tækifæri til úrbóta til staðar þar, sérstaklega með skynsamlegri þróun í notkun á jarðefnaeldsneyti og steypunotkun í viðhaldi. Kolefnisspor Búrfellsstöðvar II, með árlega orkuvinnslugetu upp á 700 GWst, er 0,5 g CO₂ ígildi/kWst án flutnings raforkunnar. Kolefnisspor aflaukningar við Búrfellsstöð I upp á 300 GWst er 1,2 g CO₂ ígildi/kWst. Hvort tveggja gildanna er lágt, bæði miðað við erlendar vatnsaflsstöðvar og greiningar sem hafa verið gerðar á Íslandi fyrir til dæmis Búðarhálsstöð, Blöndustöð og Fljótsdalsstöð. Hluti framleiðslu og framkvæmdar er um 68% og um 32% kolefnissporsins er á rekstrarstigi.

Samanborið við t.d. Búðarhálsstöð, þá eru gróðurhúsaáhrif einstakra þátta, eins og steypu og stáli, hlutfallslega hærrí fyrir Búrfellsstöð II. Þrátt fyrir það eru gróðurhúsaáhrif á heildina um þrefalt minni á framleidda kWst fyrir Búrfellsstöð II samanborið við Búðarhálsstöð, og minnkar munurinn ef tekið er tillit til orkuvinnslulækkunar í Búrfellsstöð I. Greiningin bendir til þess að það sé umhverfislega mun hagkvæmara að framkvæma aflaukningar á stöðvum þar sem það er möguleiki, þar sem nýr vélbúnaður og stöðvarhús nýtir fyrirfram byggð mannvirki svo sem stíflu, tengivirki og lón, heldur en að ráðast í framkvæmdir á fyrirfram ónýttum svæðum með tilheyrandi umhverfisáhrifum framleiðslu, framkvæmdum og röskun á landi. Það er að segja, ef nýta má innviði án mikilla viðbótarframkvæmda sýnir þessi vistferilsgreining að aflaukning getur verið umhverfislega ákjósanlegri miðað við ný verkefni.

Greining á orkubúskap stöðvarinnar leiðir í ljós að orkuarðsemi stöðvarinnar er 653, þ.e. stöðin framleiðir á líftíma sínum 653 sinnum meiri orku en þarf til að byggja og reka hana. Þá er endurgreiðslutími orku 0,15 ár, þ.e. að eftir um tveggja mánaða rekstur er Búrfellsstöð II búin að vinna jafnmikla orku og hún þarf yfir líftíma sinn. Niðurstöður greiningarinnar eru tölulegar upplýsingar um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar. Landsvirkjun getur fengið þessar upplýsingar vottaðar af þriðja aðila, t.d. fyrir útgáfu umhverfisýfirlýsingar raforkuvinnslu. Þannig eru upplýsingarnar viðurkenndar inn í alþjóðlega gagnabanka sem nýtist í markaðslegu samhengi og í gerð loftslagsbókhalds viðskiptavina Landsvirkjunar.

SUMMARY

The objective of this project is to assess the environmental impacts of generating electricity from Búrfell II Power Station, a hydropower plant which has been in operation by Landsvirkjun since 2018. The plant is an extension of an existing power station in operation since 1969. The project is part of an ongoing assessment in which the company's electricity generation via hydropower, geothermal and wind power sources is assessed in terms of its environmental impact. The methodology used for the Life Cycle Assessment (LCA) is in accordance with the international standards ISO 14040 and ISO 14044 as well as the European standard EN 15804, which is the standard for sustainability of construction works and services used for the production of environmental product declarations (EPD). Additionally, Product Category Rules (PCR) according to ISO 14025 for Type III environmental declarations have been taken into consideration.

The results of this assessment can be used to provide customers with reliable information on the environmental performance of the electricity generation and is a tool for the environmental management system of the company. Life Cycle Assessment is a methodology to assess local and global environmental impacts of a product or service, encompassing the whole life cycle ("cradle to grave"). The environmental impacts of a product or service are hence evaluated over its entire value chain, from the initial resource extraction to material production, product manufacturing, use of the product and down to the disposal of materials at the end of its life cycle. Using the methodology, environmental hot spots can be identified and the information can be used to improve the product or service. The standardized methodology provides numerical results on environmental impacts, e.g. the carbon footprint, which can then be used for comparison purposes with other similar products or services.

The functional unit is 1 kWh of generated electricity from Búrfell II Power Station. For this study, Búrfell II is assessed independently of neighbouring power stations, with a yearly generation capacity of 700 GWh, and the results of the assessment are presented in accordance with this definition. However, with Búrfell II Power Station, the yearly generation capacity at Búrfell I was decreased, which means that the overall generation output of the stations combined increased by 300 GWh. The environmental impacts are assessed for the production and transport of construction materials and electromechanical equipment, the use of energy and waste management during the construction process, the transport of personnel and the operation of the power station over 100 years. The assessment includes the estimated emissions from the hydropower reservoir. The inventory data for the analysis is of high quality and obtained directly from the contractors, the final construction reports, the manufacturers of relevant equipment and real figures registered from the operations of Landsvirkjun's power stations in the Þjórsá area. Additionally EPDs were used for the assessment of Global warming potential (GWP) of steel and cement used to model different types of concrete used in the construction. An estimate of emissions from the reservoir are based on research carried out by the University of Iceland, The Soil Conservation Service of Iceland and the Agricultural University of Iceland.

In all environmental impact categories examined, the impact of the production and construction phase was dominant for the station's 100 year lifetime. Within this phase, impacts can mainly be traced to concrete production and the refinement and combustion of fossil fuels. The operation of the station has overall less environmental impacts, while still presenting opportunities for improvement, e.g. by switching to alternative fuel

sources and reducing the amount of cement in concrete for general maintenance purposes over the lifetime of the station. The carbon footprint of a kWh generated in Búrfell II is 0.5 g CO₂ equivalents, excluding electricity transmission (68% from raw material extraction, production and construction and 32% from operation and maintenance). The carbon footprint of the net output increase in electricity generation due to Búrfell II is 1.2 g CO₂. The values are low, not only compared to hydroelectric generation around the world, but also compared to assessments that have been carried out for other hydroelectric stations in Iceland, such as Búðarháls and Fljótsdalur.

The assessment presents opportunities for improvement in operation and for future hydropower ventures with regards to environmental impacts. During procurement, the suppliers can be required to comply with operational environmental management requirements and require certain environmental performance of the products and services. This complies with ISO 14001:2015 where environmental impacts are to be considered throughout the whole value chain. Compared to Búðarháls, although individual components such as concrete and steel have a higher global warming potential, Búrfell II has overall only a third of its impacts, despite a higher production capacity. This suggests that a power capacity increase and extensions to already existing hydropower plants, utilizing already constructed components such as dams, substations and reservoirs, is environmentally preferable to that of hydropower development in greenfield areas.

The power station's energy return on investment is 653 and the payback time is 0,15 years (2 months). This means that the power station generates 653 times more energy over a 100 year lifetime than is required to construct and operate the station during the same period. The energy used to build and operate the station is generated in only 2 months of operation. The results of this assessment provides numerical information on the environmental impact of electricity generation from a renewable source with a low carbon footprint. Landsvirkjun can get these results certified by a third party, e.g. to publish a verified Environmental Product Declaration for electricity generation in its hydropower stations. The results would subsequently be recognized in international life cycle databases, proving useful for marketing or communication purposes and for corporate greenhouse gas accounting for Landsvirkjun's customers.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	1
SUMMARY	3
1 INNGANGUR	11
1.1 Bakgrunnur verkefnisins	11
1.2 Búrfellsstöð II	11
2 VISTFERILSGREINING FYRIR BÚRFELLSSTÖÐ II	13
2.1 Markmið og umfang	13
2.2 Aðgerðareining og líftími	13
2.3 Kerfismörk	13
2.4 Umhverfisáhrif	15
3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA	16
3.1 Mannvirki, búnaður og framkvæmdir	16
3.1.1 Aðstöðusköpun (A1-A3)	17
3.1.2 Mannvirki (A1-A3)	17
3.1.3 Vél- og rafbúnaður (A1-A3)	20
3.1.4 Ferðir starfsfólks (A4)	23
3.1.5 Framkvæmdir (A5) - Úrgangur frá byggingu aflstöðvar	24
3.1.6 Framkvæmdir (A5) - Orkunotkun	24
3.2 Rekstur	25
3.2.1 Rekstur aflstöðvar	25
3.2.2 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum (B1)	26
3.3 Förgun og endurvinnsla úrgangs	28
4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR	30
4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Búrfellsstöðvar II	30
4.2 Vægi umhverfisáhrifa í evrópsku samhengi	31
4.3 Umhverfisáhrif eftir fasa vistferils	32
4.3.1 Framleiðslufasi og framkvæmdarfasi (A1-A5)	32
4.3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)	33
4.3.3 Endurvinnsla (D)	34
4.4 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Búrfellsstöðvar II	35
4.4.1 Gróðurhúsaáhrif	35
4.4.2 Súrnun lands og vatns	39
4.4.3 Eyðing jarðefnaeldsneytis	40
4.4.4 Myndun ósons við yfirborðið	40
4.4.5 Næringarefnaauðgun	40
4.4.6 Eyðing ólífrænna auðlinda	41
4.4.7 Eyðing ósónlagsins	41
4.4.8 Samantekt áhrifa	41
4.5 Orkubúskapur	43
5 UMRÆÐUR	45
5.1 Gæði gagna	45

5.2	Tækifæri til úrbóta	45
5.2.1	Vistvænni steypa	46
5.2.2	Umhverfisvænna stál	51
5.2.3	Takmörkun á eldsneytisnotkun	55
5.3	Aflaukning	58
5.4	Kolefnisspor vatnsafls	59
5.5	Umhverfisáhrif vatnsaflstöðva Þjórsárssvæðisins	62
6	HEIMILDASKRÁ	63
VIÐAUKI A	UMHVERFISÁHRIF	67
VIÐAUKI B	PCR FLOKKUN	69
VIÐAUKI C	TÖLULEGAR NIÐURSTÖÐUR	71

MYNDASKRÁ

MYND 1	Yfirlitsmynd af svæðinu eftir stækkun Búrfellsvirkjunar. _____	12
MYND 2	Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar. _____	14
MYND 3	Helstu mannvirkjahlutar Búrfellsstöðvar II. _____	17
MYND 4	Stöðvarhús Búrfellsstöðvar II. _____	22
MYND 5	Heildarniðurstöður vistferilsgreiningar á vinnslu á 1 kWst frá Búrfellsstöð II. _____	30
MYND 6	Vegin og stöðluð áhrif umhverfisáhrifaflokka _____	31
MYND 7	Hlutfallsleg umhverfisáhrif ólíkra þátta á framleiðslu- og framkvæmdarfasa stöðvarinnar _____	32
MYND 8	Hlutfallsleg umhverfisáhrif eftir flokkum og verkþáttum mannvirkjagerðar. _____	33
MYND 9	Hlutfallsleg umhverfisáhrif eftir flokkum á rekstrarstigi (B1-B6). _____	34
MYND 10	Hlutfallslegur umhverfislegur ávinningur endurvinnslu eftir flokkun og tegund _____	35
MYND 11	Gróðurhúsaáhrif Búrfellsstöðvar II á unna kWst eftir fasa vistferils. _____	36
MYND 12	Gróðurhúsaáhrif Búrfellsstöðvar II á framleidda kWst, skipt eftir efnisnotkun og verkþætti. _____	37
MYND 13	Gróðurhúsaáhrif skipt eftir mannvirkjum, að meðtalinni eldsneytisnotkun. _____	38
MYND 14	Gróðurhúsaáhrif mannvirkja án áhrifa eldsneytisnotkunar. _____	38
MYND 15	Gróðurhúsaáhrif á framleidda kWst fyrir mismunandi þætti vistferilsins. . _____	38
MYND 16	Súrnunaráhrif Búrfellsstöðvar II á kWst framleidda eftir efnisnotkun og verkþætti. _____	39
MYND 17	Heildarorkuvinnsla og orkuþörf á 100 ára líftíma Búrfellsstöðvar II. _____	43
MYND 18	Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa [28]. _____	44
MYND 19	Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa [28]. _____	44
MYND 20	Gróðurhúsaáhrif steypu tegunda sem notaðar voru í Búrfellsstöð II _____	46
MYND 21	Gróðurhúsaáhrif steypu tegunda (alls kg CO ₂ -ígildi) sem notaðar eru í Búrfellsstöð II _____	47
MYND 22	Breyting á gróðurhúsaáhrifum miðað við breytingu á sementsinnihaldi _____	48
MYND 23	Aðkomugöng Búrfellsstöðvar II úr vistvænni steypu _____	48
MYND 24	Hlutfall gróðurhúsaáhrifa steypu í stöðvarhúsi Búrfellsstöðvar II _____	50
MYND 25	Teikning af stöðvarhúsi Búrfellsstöðvar II. _____	50
MYND 26	Magn stáltegunda og gróðurhúsaáhrif þeirra í stöðvarhúsi. _____	54
MYND 27	Hlutfallsleg umhverfisáhrif framleiðslu og bruna eldsneytis _____	55
MYND 28	Eldsneytisnotkun og gróðurhúsaáhrif hennar skipt upp eftir verkþáttum. _____	56
MYND 29	Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum _____	60
MYND 30	Niðurstöður vistferilsgreininga fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsafli _____	60
MYND 31	Kolefnisspor (g CO ₂ -ígildi/kWst) sem fall af orkuvinnslugetu vatnsaflsverkefna (W/m ²). _____	61
MYND 32	Styrkur CO ₂ í andrúmslofti sem fall af tíma. _____	67
MYND 33	Heildarmagn ósons í DU einingum sem fall af tíma. _____	68
MYND 34	Niðurstöður flokkaðar í kjarnamannvirki og kjarnastarfsemi án raforkuflutninga _____	70
MYND 35	Niðurstöður flokkaðar í kjarnamannvirki og kjarnastarfsemi auk raforkuflutninga _____	70

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1	Helstu kennistærðir Búrfellsstöðvar II. _____	12
TAFLA 2	Hlutar vistferils raforkuvinnslu Búrfellsstöðvar II sem liggja innan kerfismarka og flokkun _____	15
TAFLA 3	Verkþættir við framkvæmd Búrfellsstöðvar II og framkvæmdaraðilar. _____	16
TAFLA 4	Yfirlit yfir helstu mannvirki Búrfellsstöðvar II, skipt eftir verkhluta. _____	18
TAFLA 5	Lykiltölur byggingarefna í mannvirki Búrfellsstöðvar II. _____	18
TAFLA 6	Lykiltölur fyrir framkvæmdir við byggingu mannvirkja við Búrfellsstöð II. _____	19
TAFLA 7	Uppruni og flutningaleiðir byggingarefna _____	20
TAFLA 8	Byggingarefni notuð við framleiðslu vél- og rafbúnaðar í Búrfellsstöð II. _____	21
TAFLA 9	Uppruni og flutningaleiðir búnaðar sem notaður er í Búrfellsstöð II. _____	21
TAFLA 10	Efnisnotkun í lengdarmetra af aflstreng. _____	23
TAFLA 11	Ferðir starfsmanna verktaka og eftirlitsaðila við byggingu Búrfellsstöðvar II. _____	24
TAFLA 12	Lykiltölur fyrir úrgang við byggingu aflstöðvar Búrfellsstöðvar II. _____	24
TAFLA 13	Orkunotkun við aðstöðusköpun og byggingu aflstöðvar. _____	24
TAFLA 14	Áætlaðar rekstrartölur fyrir Búrfellsstöð II yfir 100 ára vistferil. _____	25
TAFLA 15	Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæðis Bjarnalóns (efstu 30 cm) _____	27
TAFLA 16	Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO ₂ og CH ₄) frá lóni Búrfellsstöðva _____	27
TAFLA 17	Reiknuð súrefnisupptaka frá Bjarnalóni vegna Búrfellsstöðvar II _____	27
TAFLA 18	Meðhöndlun og förgun úrgangs sem myndast við byggingu og rekstur Búrfellsstöðvar II. _____	28
TAFLA 19	Lykiltölur fyrir flokkaðan úrgang _____	29
TAFLA 20	Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni _____	29
TAFLA 21	Samantekt á hlutfallslegum umhverfisáhrifum á vistferli Búrfellsstöðvar II. _____	42
TAFLA 22	Orkubúskapur Búrfellsstöðvar á 100 ára líftíma. _____	44
TAFLA 23	Sparnaður á gróðurhúsaáhrifum í steinsetyputegundum. _____	49
TAFLA 24	Gróðurhúsaáhrif stálflokka og uppruni þeirra _____	52
TAFLA 25	Samantekt notkunar á bergfestingum. _____	52
TAFLA 26	Umhverfisáhrif af stálframleiðslu ArcelorMittal [33]. _____	53
TAFLA 27	Kolefnisspor vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum og samanburður við Búrfellsstöð II. _____	59
TAFLA 28	Vatnsaflsvirkjanir á Þjórsársvæðinu. _____	62
TAFLA 29	Tölulegar niðurstöður fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa _____	71
TAFLA 30	Tölulegar upplýsingar um gróðurhúsaáhrif steypu tegunda. _____	71

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	(<i>e. Life Cycle Impact Assessment</i>). Niðurstöður vistferilsgreiningar.
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.
Umhverfisyfirlýsing (EPD)	(<i>e. Environmental Product Declaration, EPD</i>). Yfirlýsing eða skjal um umhverfisáhrif vöru. Við gerð umhverfisyfirlýsinga 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

Markmið þessa verkefnis er að meta umhverfisáhrif raforkuvinnslu í vatnsaflsstöð Landsvirkjunar, Búrfellsstöð II, greina eftir áhrifaflokkum, verkþáttum og stigum vistferils stöðvarinnar. Framkvæmdir við Búrfellsvirkjun II hófust um mitt ár 2016 og var stöðin gangsett með formlegum hætti í júní 2018. Verkefnið er liður í að meta umhverfisáhrif raforkuvinnslu fyrir allar tegundir orkuauðlinda og allar aflstöðvar Landsvirkjunar [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Matið er framkvæmt með aðferðarfræði vistferilsgreiningar (e. *Life Cycle Assessment, LCA*) í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 [7] og ISO 14044 [8].

Vistferilsgreining er aðferðarfræði sem er notuð til þess að meta staðbundin og hnattræn umhverfisáhrif vöru, framleiðsluferils eða þjónustu yfir allan vistferilinn. Greiningin nær því yfir alla virðisdeju vörunnar, þ.e. allt frá öflun hráefna og framleiðsluferli hennar, auk notkunar og meðhöndlunar í lok líftíma. Með aðferðinni má greina hvar í vistferlinum mestu umhverfisáhrifin verða, en slíkar upplýsingar má nota til að bæta ákveðna vöru eða þjónustu. Aðferðin er stöðluð og birtast niðurstöður vistferilsgreininga á formi tölulegra upplýsingar um umhverfisáhrif fyrir svokallaða aðgerðareiningu (e. *functional unit*) sem nota má til samanburðar á niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir sambærilegar vörur eða þjónustu. Kerfismörk (e. *system boundaries*) eru skilgreind, en þau eru afmörkun þess kerfis sem greiningin nær yfir.

Niðurstöður verkefnisins er m.a. hægt að nýta til að meta vistspor (e. *ecological footprint*) og kolefnisspor (e. *carbon footprint*) raforkuvinnslu Landsvirkjunar og veita frekari upplýsingar um umhverfisáhrif vinnslunnar. Þannig getur Landsvirkjun veitt raforkunotendum áreiðanlegar upplýsingar um umhverfisáhrif orkuvinnslunnar.

1.2 Búrfellsstöð II

Þegar Búrfellsstöð II var gangsett 28. júní 2018, varð hún sjöunda vatnsaflsvirkjunin á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár, en fyrir voru á svæðinu Búrfellsstöð, Sigöldustöð, Hrauneyjafosstöð, Sultartangastöð, Vatnsfellsstöð og Búðarhálsstöð sem höfðu samtals uppsett afl upp á 940 MW. Búrfellsstöð II nýtir sama miðlunarlón, mannvirki og tengingar við raforkukerfið og Búrfellsstöð I og er hlutverk hennar því

að styrkja og hámarka nýtingu rennslis Þjórsár við Búrfell. Tafla 1 sýnir helstu kennistærðir stöðvarinnar.

TAFLA 1 Helstu kennistærðir Búrfellsstöðvar II.

BÚRFELLSSTÖÐ II	
Uppsett afl	100 MW
Orkuvinnslugeta	700 GWst á ári
Samanlögð aukning við Búrfellsstöð I	300 GWst á ári
Heildarfallhæð	110 m
Hámarksrennslí	92 m ³ /sek
Gangsetning	28. júní 2018

Uppsett afl Búrfellsstöðvar II er 100 MW sem byggir á einum Francis hverfli og orkuvinnslugeta stöðvarinnar er 700 GWst á ári. Búrfellsstöð II nýtir Bjarnalón sem var myndað fyrir Búrfellsstöð I sem gangsett var 1969, 49 árum fyrir gangsetningu nýju stöðvarinnar. Við gangsetningu Búrfellsstöðvar II, var dregið úr orkuvinnslu í Búrfellsstöð I svo heildarorkuvinnsluaukning sem hefur átt sér stað er um 300 GWst á ári. Stöðin hefur fallgöng upp á 110 m með hámarksrennslí 92 m³/sek. Sá möguleiki að auka uppsett afl upp í 140 MW er til staðar [9]. Mynd 1 er yfirlitsmynd af svæðinu og sýnir því hvernig Búrfell II tengist Búrfellsstöð og hvernig frárennisskurður flytur vatn sem rennur um nýtt stöðvarhús Brúfellsstöðvar II að Fossá og sameinast öðru vatni úr Bjarnalóni.



MYND 1 Yfirlitsmynd af svæðinu eftir stækkun Búrfellsvirkjunar. Mynd: Landsvirkjun [10].

2 VISTFERILSGREINING FYRIR BÚRFELLSSTÖÐ II

2.1 Markmið og umfang

Markmið vistferilsgreiningarinnar er að meta umhverfisáhrif og notkun auðlinda við vinnslu raforku í Búrfellsstöð II. Vistferilsgreiningin nær til vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og vélbúnaðar, flutningsferla, byggingu Búrfellsstöðvar II sem og rekstur og viðhald stöðvarinnar. Ekki er tekið tillit til niðurrifs stöðvarinnar í greiningunni.

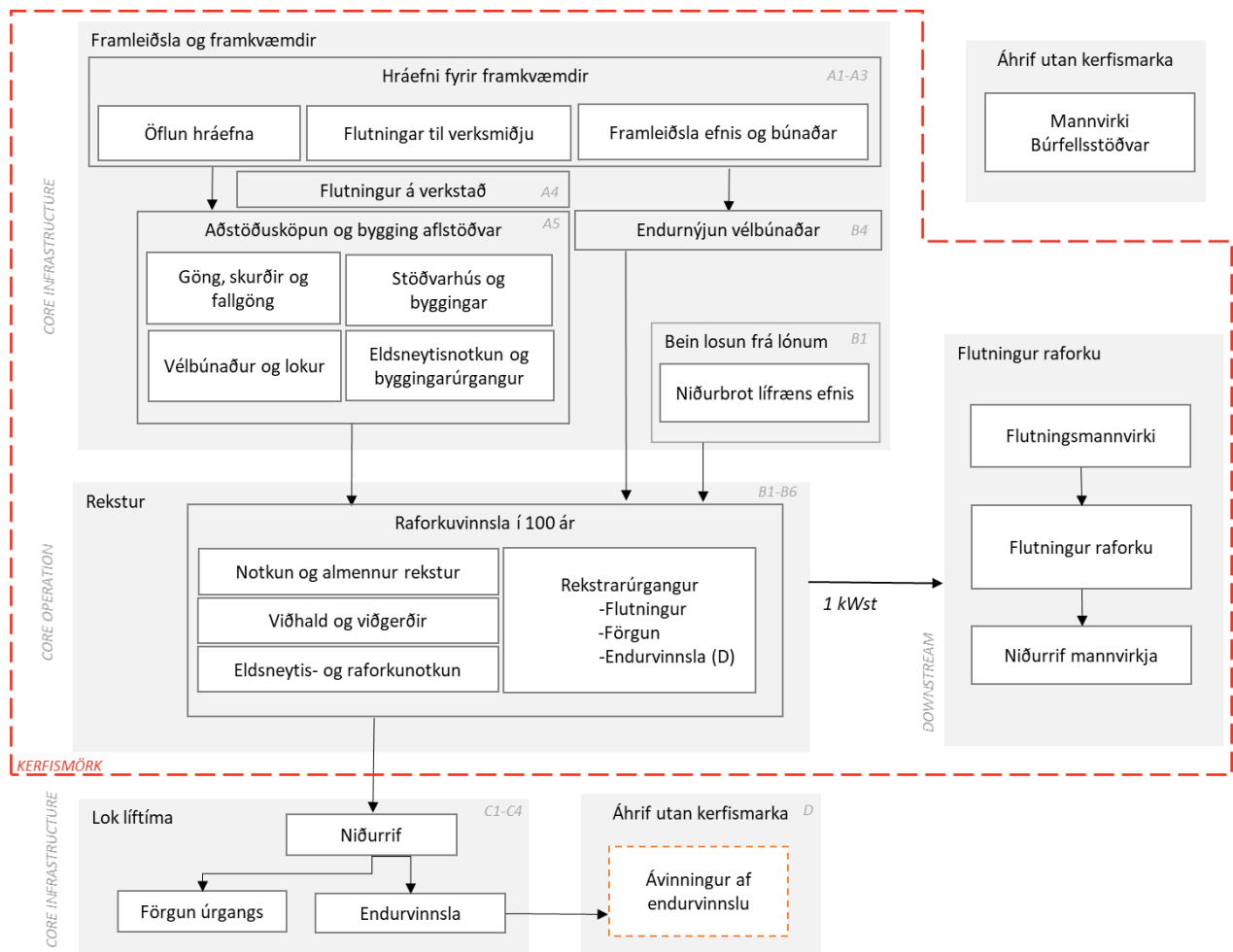
Greiningin er unnin í samræmi við staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga [7, 8]. Einnig er fylgt leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsinga (e. *Environmental Product Declaration*) til að tryggja að niðurstöðurnar séu samanburðarhæfar við sambærilegar greiningar sem m.a. eru gerðar á Norðurlöndunum [11]. Ýmis mannvirki, tengingar, lón og fleira sem gerð voru fyrir Búrfellsstöð, sem gangsett var árið 1969, eru ekki tekin inn í vistferil Búrfellsstöðvar II, þó að stöðin gæti ekki verið til án þeirra. Ef gera á umhverfisýfirlýsingu fyrir aflstöð sem nýtir sömu mannvirki eða vatnsvegi og aðrar aflstöðvar, skal taka mið af kerfinu öllu og færa rök fyrir skiptingu áhrifa milli stöðva [11]. Þá er einnig unnið í samræmi við Evrópustaðlana EN 15978 og EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði [12, 13].

2.2 Aðgerðareining og líftími

Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er skilgreind **1 kWst raforka unnin í Búrfellsstöð II**. Í greiningunni er litið á Búrfellsstöð II sem sjálfstæða aflstöð sem nýtir mannvirki sem þegar hafa verið reist fyrir Búrfellsstöð I, sem er utan kerfismarka þessarar rannsóknar. Orkuvinnslugeta stöðvarinnar er 700 GWst á ári og er því reiknað með að orkuvinnslan sé 70 TWst á 100 ára líftíma stöðvarinnar. Umhverfisáhrif og notkun auðlinda við vinnslu raforkunnar eru reiknuð fyrir hverja unna kWst í stöðinni [11].

2.3 Kerfismörk

Mynd 2 sýnir einfaldað niðurbrot á kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar.



MYND 2 Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar. Greiningin felur í sér vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og búnaðar, flutninga hráefna, byggingarefna og búnaðar, byggingu Búrfellsstöðvar II sem og rekstur og viðhald stöðvarinnar. Þá er flutningur raforku til notanda einnig innan kerfismarkna. Lóðréttur texti táknar flokkun þátta skv. leiðbeiningum fyrir orkuvinnslu- og orkuflutningsfyrirtæki um gerð umhverfisyfirlýsinga [11]. Bókstafir vísa í samsvarandi fasa vistferils skv. EN 15804 [13]. Flutningur á raforku er innan kerfismarkna, en almennt ekki notaður í niðurstöðum. Mannvirki gerð fyrir Búrfellsstöð eru utan kerfismarkna.

Kerfismörk vistferilsgreiningarinnar fela í sér vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og búnaðar, flutninga hráefna, byggingarefna, búnaðar og úrgangs, byggingu Búrfellsstöðvar II sem og rekstur og viðhald stöðvarinnar á 100 ára líftíma, ásamt losun frá lónum. 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 [11]. 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 3 má sjá hvaða hlutar vistferilsins falla innan kerfismarkna greiningarinnar og flokkun samkvæmt EN 15978 og EN15804.

Samkvæmt nágildandi reglum við gerð umhverfisyfirlýsinga (e. Product Category Rules, PCR) fyrir orkuvinnslu er vistferlinum skipt upp í kjarnamannvirki (e. core infrastructure) og kjarnastarfsemi (e. core operation) og þá er tekið inn í vistferil stöðvarinnar ílags- (e. upstream) og frálagsferli (e. downstream) raforkuvinnslunnar. Fyrir vatnsaflsvirkjanir er almennt ekki mikið sem getur flokkast sem ílagsferli, sem væri til dæmis öflun kola fyrir orkuver, en dæmi um frálagsferli væri til að mynda

flutningur á raforku. Viðauki B skýrir þessa flokkun frekar samkvæmt leiðbeiningunum og greinir frá áhrifum flutninga á raforku á myndum 34 og 35, en almennt eru þau áhrif ekki tekin með í myndir í niðurstöðum þessarar skýrslu.

TAFLA 2 Hlutar vistferils raforkuvinnslu Búrfellsstöðvar II sem liggja innan kerfismarkna og flokkun samkvæmt EN 15978 og EN15804.

Fasar í vistferli	Framleiðslufasi			Framkvæmdafasi		Rekstrarfasi							Lok líftíma				Áhrif utan kerfismarkna
	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
Liggur innan kerfismarkna	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x						x

2.4 Umhverfisáhrif

Við vistferilsgreininguna er notast við aðferðir CML við mat á umhverfisáhrifum, þróað af umhverfisvísindastofnun Háskólans í Leiden. Þetta er í samræmi við þær kröfur sem gerðar eru fyrir birtingu niðurstaða fyrir orkuvinnslu í umhverfisyfirlýsingum [11] og í samræmi við EN15978 og EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði. Umhverfisáhrif fyrir eftirfarandi flokka eru metin:

- Gróðurhúsaáhrif (GWP)
- Súrnun lands og vatns (AP)
- Myndun ósons við yfirborð jarðar (POCP)
- Næringarefnaauðgun (EP)
- Eyðing ósonlagsins (ODP)
- Eyðing ólífrænna auðlinda (ADPE)
- Eyðing jarðefnaeldsneytis (ADPM)

Þessum flokkum er nánar lýst í viðauka A (bls. 67). Þess má geta að í samþykktum breytingartillögum á staðli EN 15804, sem taka gildi árið 2022, verða gerðar kröfur um að reikna einnig vatnsnotkun, auk þess sem krafist verður meiri sundurliðunar á niðurstöðum í flokkum gróðurhúsaáhrifa og næringarefnaauðgunar. Vatnsnotkun er mælikvarði á það hversu mikið er gengið á vatnsauðlindir heims og þar með vatnsauðlindir vistkerfa. Þetta er mikilvægur umhverfisþáttur í viðkvæmari heimssvæðum þar sem sjálfbær orkuuppbygging á sér stað, en á e.t.v. minna við í flestum tilvikum fyrir íslensk verkefni.

Til viðbótar eru í þessari greiningu einnig metnir mikilvægir þættir sem varða orkubúskap aflstöðvarinnar; þ.e. orkuþörf á vistferli (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*).

3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA

Í þessu verkefni eru notaðar upplýsingar sem safnað var frá Landsvirkjun um framkvæmdirnar sem og rekstur og viðhald stöðvarinnar. Einnig var losun frá uppistöðulónum virkjunarinnar metin. Söfnun upplýsinga er lýst nánar hér að neðan. Notaður var hugbúnaðurinn GaBi við gerð vistferilsgreiningarinnar. Umhverfisáhrif vegna framleiðslu hráefna, staðbundinnar orkuvinnslu fyrir framleiðslu byggingarefna, flutninga, ýmissa vinnsluferla o.fl. voru fengin úr bakgrunnsgögnum úr alþjóðlegum gagnabanka frá GaBi, sem uppfærður er árlega.

3.1 Mannvirki, búnaður og framkvæmdir

Framleiðslu- og framkvæmdafasi (A1-A5) vegna Búrfellsstöðvar II er skilgreindur sem:

- Framleiðsla og flutningar byggingarefna fyrir byggingu aflstöðvar (A1-A4)
- Framleiðsla og flutningar alls vél- og rafbúnaðar, stöðvarhússkrana og hliðarbúnaðar (A1-A4)
- Úrgangur frá framkvæmdum (A5)
- Raforku- og eldsneytisnotkun við framkvæmdir (A5)
- Ferðir starfsmanna verktaka (A5)

Tafla 3 sýnir hvernig verkefni er skipt upp í verkhluta og verktaka með hverjum þætti. BUR-01 skiptist síðan upp í 13 hluta fyrir mannvirkjagerð, sjá nánar í kafla 3.1.2.

TAFLA 3 Verkpættir við framkvæmd Búrfellsstöðvar II og framkvæmdaraðilar.

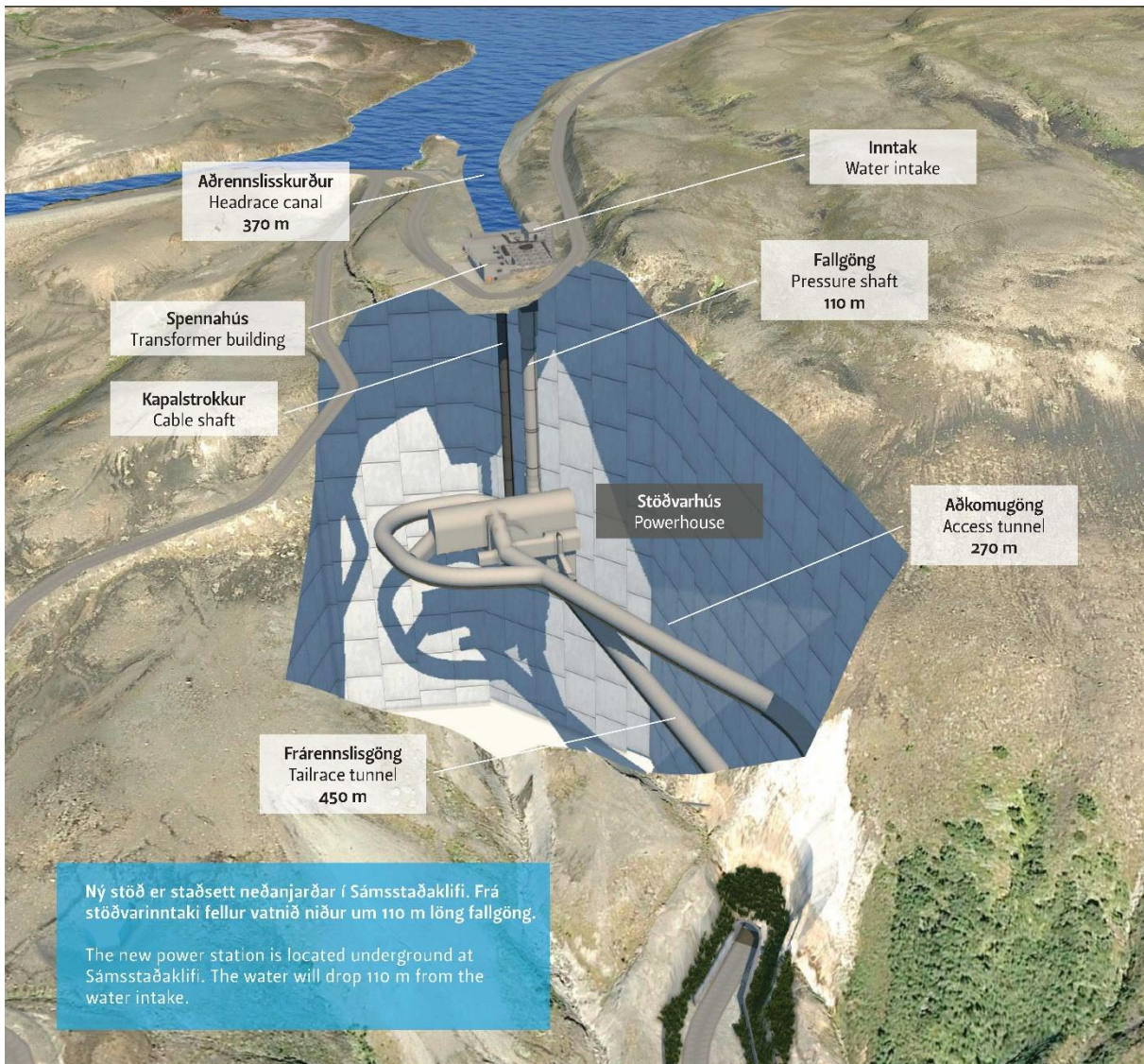
VERKÞÁTTUR	LÝSING	FRAMKVÆMDARAÐILI
BUR-00	Aðstöðusköpun	ÍAV Marti
BUR-01	Mannvirki	ÍAV Marti
BUR-30	Vél- og rafbúnaður: Hverfill, rafall, spennar, háspennukaplar, fallpípa, lokar	Andritz Hydro
BUR-31	Spennar (3)	Efacec
BUR-32	Háspennustrengir og rofar	LS Cable
BUR-33	Lokur, hlið og stálbúnaður (steel liner)	DSD Noell

3.1.1 Aðstöðusköpun (A1-A3)

Aðstöðusköpun fól í sér jarðvinnu og vegagerð. Allir liðir sem falla undir þennan verkþátt (BUR-00) er vinna án notkunar byggingarefna og því er eingöngu um eldsneytis- og orkunotkun að ræða, alls um 10 tonn af dísilolíu. Magntölur vegna eldsneytisnotkunar eru rauntölur sem skráðar voru á framkvæmdartíma. Aðrir liðir sem mögulega falla undir aðstöðusköpun, svo sem vegagerð og ferðir fólks eru teknir undir mannvirki (BUR-01) með framkvæmdum á mannvirkjum.

3.1.2 Mannvirki (A1-A3)

Upplýsingum um byggingarefni sem notað var í byggingu Búrfellsstöðvar II var safnað í samvinnu við Landsvirkjun. Upplýsingum um byggingarefni sem notað er í mannvirki er skipt niður í 13 hluta í samræmi við verksamning (BUR-01). Mynd 3 sýnir helstu mannvirki og framkvæmdir stöðvarinnar og tafla 4 sýnir skiptingu mannvirkja samkvæmt verkhlutum innan verksamnings BUR-01.



MYND 3 Helstu mannvirkjahlutar Búrfellsstöðvar II. Mynd: Landsvirkjun [9]

TAFLA 4 Yfirlit yfir helstu mannvirki Búrfellsstöðvar II, skipt eftir verkhlutum.

VERKHLUTI	MANNVIRKI	HEITI Á ENSKU
02	Vatnsveita	Water Supply
03	Vegur og brú	Road and Bridge
04	Aðrennslisskurður	Headrace Canal
05	Inntak afls	Power Intake
06	Fallgöng	Pressure Shaft
07	Stöðvarhús	Powerhouse
08	Kaplastrokkur og spennahús	Cable Shaft and Transformer
09	Rafbúnaður	Electrical installations
10	Aðkomugöng	Access Tunnel
11	Frárennslisgöng	Tailrace Tunnel
12	Frárennslisskurður	Tailrace Canal
13	Landslagsmótun	Landscaping
14	Jarðstrengur	Cable Route

Vatn flæðir að stöðinni í gegnum 370 m langan aðrennslisskurð með botnbreidd upp á 12 m sem leiðir að stöðvarinntaki. Fallgöng eru alls 128,5 m löng og 5,2 m í þvermál en vatnið fellur þar niður um 110 m að Francis hverfli í stöðvarhúsinu sem knýr rafalinn. Stöðvarhúsið sjálft er 33 metrar á hæð, 65 metrar á lengd og 15,35 metrar á breidd og er byggt neðanjarðar í Sámsstaðaklifi til að lágmarka sýnileika stöðvarinnar. Mest áberandi mannvirki eru aðrennslisskurður, frárennslisskurður og inntaksmannvirki virkjunarinnar. Aðkomugöng eru 270 metra löng. Frá stöðvarhúsinu fer vatnið í frárennslisgöng sem eru 450 metra löng með þverskurðarflatarmál 72 km² og þaðan í 2,2 km langan frárennslisskurð. Ekki var reist stífla sérstaklega fyrir Búrfellsstöð II, þar sem aflstöðin nýtir Bjarnalón, sama miðlunarlón og var myndað fyrir Búrfellsstöð. Einnig er eitthvað um samnýtingu tengivirkja og annarra mannvirkja, eins og starfsmannaaðstöðu. Tafla 5 sýnir lykiltölur fyrir byggingarefni sem fóru í að byggja mannvirki Búrfellsstöðvar II.

TAFLA 5 Lykiltölur byggingarefna í mannvirki Búrfellsstöðvar II.

BYGGINGAREFNI	HEILDARMAGN	MAGN Á UNNA KWST
Steypa*	16.100 m ³	2,8E-07 m ³ /kWst
Sprautusteypa*	9.700 m ³	1,3E-07 m ³ /kWst
Stál	1.740 tonn	2,5E-08 tonn/kWst
- Steypustyrktarstál	1.350 tonn	1,9E-08 tonn/kWst
- Bergboltar	183 tonn	2,5E-09 tonn/kWst
- Galvaníserað stál	126 tonn	1,9E-09 tonn/kWst
- Ryðfrítt stál	7 tonn	1,0E-10 tonn/kWst
- Stáltrefjar	75 tonn	1,1E-09 tonn/kWst
Kopar	17 tonn	2,5E-10 m ² /kWst
Ál	14 tonn	2,0E-10 tonn/kWst
Plastefni**	103 tonn	1,5E-09 tonn/kWst
Málning	1.900 L	2,7E-08 L/kWst

*Samkvæmt steypuskýrslu BM Vallár [14].

**PE dúkar og rör, PVC stopp, PP efni og trefjar og XPS einangrun.

Magn sérhverrar steypu tegundar fyrir hvern verkþátt var áætlað út frá lokauppgjöri framkvæmdaraðila. Þar er áætlað heildarmagn 9.700 m³ af sprautusteypu og 16.100 m³ af steinsteypu,

sjá töflu 5. Upplýsingum um steinsteypu og sprautusteypu í mannvirki er lýst í aðgerðarskýrslu BM Vallár fyrir framkvæmdir við Búrfellsstöð II [14]. Þar er innihaldslýsing á flestum tegundum af steypu sem notaðar voru í framkvæmdirnar. Auk þess var aflað upplýsinga um orkunotkun við steypugerð hjá BM Vallá. Sandur og mól var flutt að athafnarsvæði stuttar vegalengdir, aðallega frá námum í Fauskásum [14]. Auk þess eru notaðar upplýsingar um gróðurhúsaáhrif þess sements sem notað var í steypuframleiðsluna, samkvæmt umhverfisyfirlýsingu Norcem fyrir byggingarsement (no. anleggsement) gerð CEM I [15], upplýsinga um flutninga steypu frá Noregi, og sand og mól frá nærliggjandi námum, ásamt orku- og eldsneytisnotkun sem notuð er við steypugerð. Út frá þessum upplýsingum voru gerð líkön af þeim steypu tegundum sem notaðar voru við framkvæmdirnar og er sementsinnihald þeirra á bilinu frá 269 kg/m³ upp í 500 kg/m³, sjá nánari umfjöllun um steypu tegundirnar í kafla 5.2.1.

Undir bergfestingum eru 10.615 bergboltar, þar af 8.967 óspenntir (e. untensioned) en einnig eru 1.649 akkerisstangir, 66 þríhyrndar skífur og 2.030 kg af stálböndum. Raunupplýsingar um stærð og gerð bergbolta voru notaðar til þess að reikna þyngd þeirra. Þvermál bergbolta er á milli 20 og 32 mm og lengd þeirra allt að 8 metrar, en rúmur helmingur þeirra eru 25 mm í þvermál og 4 metra langir. Aðrar bergfestingar en bergboltar eru flokkaðar sem galvaníserað stál. Stáltrefjar eru notaðar með sjálfútleggjandi steypu til að auka togþol og lágmarka sprungumyndanir.

Upplýsingar um uppgröft og fyllingar jarðefna voru fengnar úr lokauppgjöri framkvæmdaraðila og olíunotkun er byggð á rauntölum sem skráðar voru á framkvæmdartímabilinu. Magn sprengiefna er áætlað hlutfallslega út frá magni sprengds efnis og uppgreftri við Búrfellsstöð II. Tafla 6 sýnir helstu lykiltölur fyrir framkvæmdir við byggingu mannvirkja.

TAFLA 6 Lykiltölur fyrir framkvæmdir við byggingu mannvirkja við Búrfellsstöð II.

EFNI	HEILDARMAGN	MAGN Á UNNA KWST
Uppgrafið og sprengt efni	2.800.000 tonn	4,0E-02 kg/kWst
Sprengiefni	339.000 kg	4,8E-06 kg/kWst
Asfalt	80 tonn	1,1E-06 kg/kWst
Olíunotkun	1.810 tonn	2,6E-05 kg/kWst
- Dísil	206.000 kg	2,9E-06 L/kWst
- Lituð olía	1.960.000 kg	2,8E-05 L/kWst
- Bensín	240 kg	3,4E-09 L/kWst
- Smurolía	3.700 kg	5,3E-08 L/kWst
- Steinolía	200 kg	2,9E-09 L/kWst

Upplýsingar um uppgrafið og sprengt efni var gefið upp í rúmmetrum. Það efni er flutt burt frá stöðvarsvæðinu. Raunupplýsingar voru notaðar um eldsneytisnotkun og var skipting milli verkþátta hennar áætluð í samræmi við magn grafinna og sprengdra jarðefna í hverjum verkþætti. Þannig er áætlað að um 64% eldsneytisnotkunarinnar tilheyri gerð frárennslisskurðar. Reiknað er með eðlisþyngd 1.800 kg/m³ fyrir laust efni sem er grafið burt og 2.600 kg/m³ fyrir fast efni sem er sprengt og grafið. Fylliefni er á bilinu 1.850-2.000 kg/m³. Reiknað er þannig með hleðslu sprengiefna um 0,3 kg fyrir hvern rúmmetra af sprengdu efni og 2,7 kg fyrir rúmmetra af sprengdu efni neðanjarðar. Er þetta metið út frá meðaltali rauntalna sprengiefna sem notuð voru í byggingu Búðarhálsstöðvar þar sem 0,2-0,4 kg/m³ voru notuð til sprengingar ofanjarðar og 2,2-3,2 kg/m³ notuð til sprenginga neðanjarðar [4].

Þetta er í samræmi við magn sprengiefna sem notað var við byggingu Blöndustöðvar, þar sem notað var 0,6-2,0 kg/m³ í samræmi við framkvæmdarskýrslu fyrir jarðgangagerð [16].

Tafla 7 sýnir vegalengdir sem reiknað var með í vistferilsgreiningunni vegna flutninga byggingarefna frá framleiðendum og á framkvæmdarstað við Búrfell.

TAFLA 7 Uppruni og flutningaleiðir byggingarefna sem notaðar voru í mannvirkjum Búrfellsstöðvar II.

	FRAMLEIÐSLUSTAÐUR	LANDFLUTNINGAR Í FRAMLEIÐSLULANDI	SJÓFLUTNINGAR	LANDFLUTNINGAR Á ÍSLANDI
Steinefni				
Sement í steypu	Norcem, Noregur	70 km	2150 km	125 km
Steypuhellur	BM Vallá, Reykjavík			125 km
Málmar				
Stál	Runowo, Pólland	200 km	2767 km	125 km
	Ancom, UK	110 km	1750 km	125 km
	Van, Merksteijn, Holland	100 km	2250 km	125 km
	Bekaert, Belgía	200 km	2250 km	125 km
	Eurostair, Svíþjóð	100 km	2150 km	125 km
	Tékkland	660 km	2200 km	125 km
Bergfestingar	Pretec AS, Kína	200 km	21500 km	125 km
	Vik Ørsta, Noregur	50 km	1600 km	125 km
Ryðfrítt stál	Danmörk	100 km	2300 km	125 km
	GA Smíðajárn, Reykjavík	-	-	125 km
Sprengiefni	Skandinavía	100 km	2200 km	125 km
Kopar	Liljedahl Bare, Svíþjóð	200 km	2200 km	125 km
	Svíþjóð	100 km	2150 km	125 km
Ál	Schneider Electric, Evrópa	100 km	2250 km	125 km
	General Cable, USA	4000 km	4000 km	125 km
	Þýskaland	200 km	2200 km	125 km
Plastefni				
Jarðvegisdúkur	Noregur	100 km	1700 km	125 km
PEH rör	Valsir, Evrópa	100 km	2250 km	125 km
	SET, Reykjavík			125 km
PVC	USA	4000 km	4000 km	125 km
PP trefjar/efni	USA	4000 km	4000 km	125 km
Annað				
Steinull	Steinull, Sauðárkrókur	-	-	220 km
Jarðbik	Ítalía	1100 km	2250 km	125 km
Sprengiefni	Skandinavía	100 km	2200 km	125 km

3.1.3 Vél- og rafbúnaður (A1-A3)

Vél- og rafbúnaður er framleiddur erlendis og fluttur að Búrfellssvæði. Hér er átt við hluti sem tilheyra verksamningum BUR-30, BUR-31, BUR-32 og BUR-33 (tafla 3), það er hverfill, rafalar, stöðvarhússkrani, spennar, strengir, lokur og annar hliðarbúnaður og fallpípur ásamt öðrum tilheyrandi stálbúnaði. Upplýsingar um framleiðslu búnaðar fyrir Búrfellsstöð II ásamt flutningum hans til Íslands voru fengnar

frá framleiðendum búnaðarins auk upplýsinga um svipaðan búnað frá fyrri vistferilsgreiningum. Tafla 8 dregur saman efnisnotkun sem tilheyrir vél- og rafbúnaði í Búrfellsstöð II.

TAFLA 8 Byggingarefni notuð við framleiðslu vél- og rafbúnaðar í Búrfellsstöð II.

	EINING	HVERFLAR (BUR-30)	RAFALAR (BUR-30)	KRANI (BUR-30)	RAFBÚNAÐUR (BUR-01-09)	SPENNNAR X 3 (BUR-31)	STRENGIR (BUR-32)	LOKUR OG HLIÐ (BUR-33)	STÁLBÚNAÐUR (BUR-33)	ALLS
Stál	tonn	237	562	70	10	126	-	135	425	1.565
Kopar	tonn	-	20	-	5	19	8	-	-	52
Ál	tonn	-	-	-	5	-	20	0,1	-	24
Brons	tonn	1,5	-	-	-	-	-	0,5	-	2
Plast	tonn	-	-	-	-	10	48	0,3	-	59
Spennaolía	tonn	-	-	-	-	19	-	-	-	32
Epoxy/máln.	tonn	1,3	5	-	-	0,2	-	0,9	-	8
Steypa	tonn	-	-	-	-	-	-	21	-	21
Annað	tonn	5	4	-	18	20	0	-	-	38
Samtals	tonn	245	591	70	29	208	76	158	425	1.802

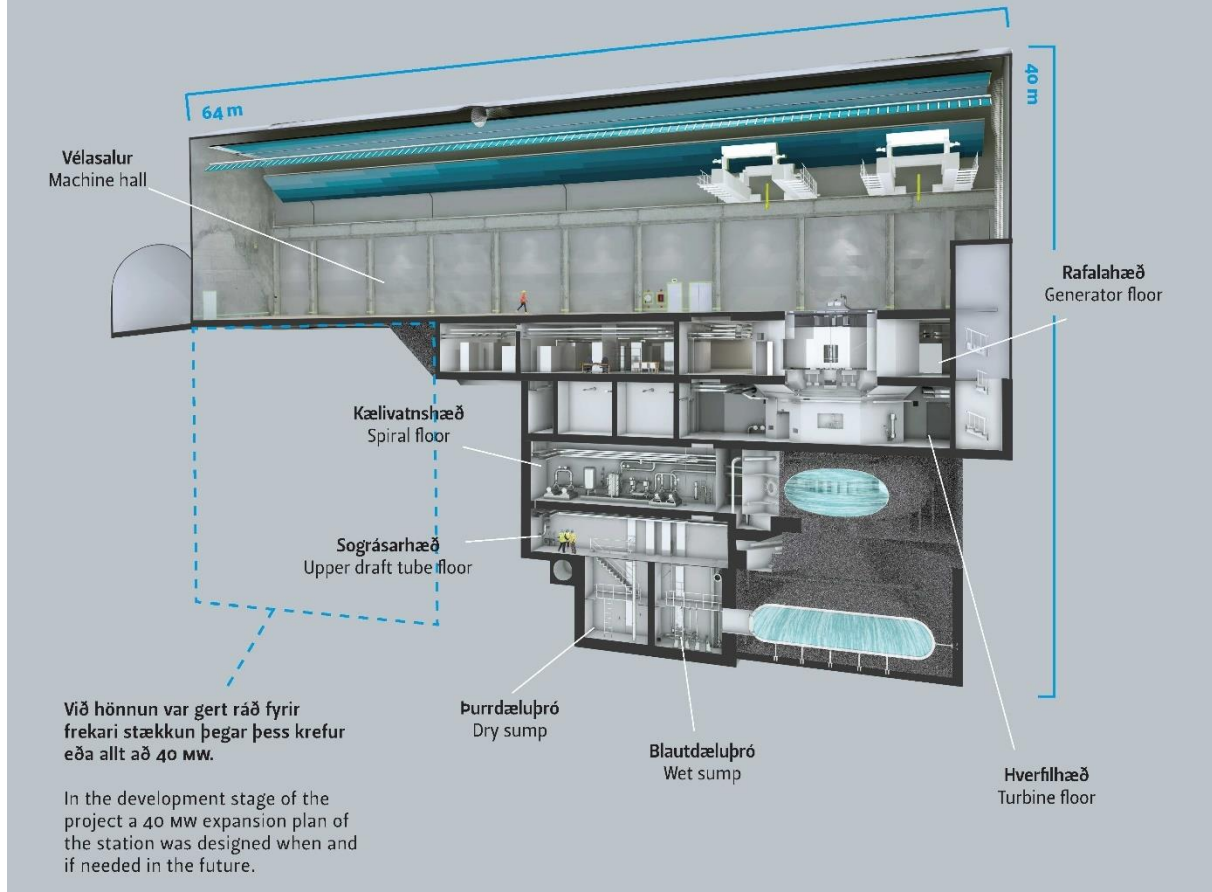
Tafla 9 sýnir flutningaleiðir við flutninga búnaðar frá framleiðendum og á framkvæmdarstað við Búrfell sem reiknað var með í vistferilsgreiningunni.

TAFLA 9 Uppruni og flutningaleiðir búnaðar sem notaður er í Búrfellsstöð II.

	FRAMLEIÐANDI	LANDFLUTNINGAR Í FRAMLEIÐSLULANDI	SJÓFLUTNINGAR	LANDFLUTNINGAR Á ÍSLANDI
Hverfill	Andritz Hydro, Ravensburg, DE	780 km	2250 km	125 km
Rafall	Andritz Hydro, Weiz, AUT	1180 km	2250 km	125 km
Krani	Andritz Hydro, Kokstad, NOR	20 km	1700 km	125 km
Spennar	Efacec, Porto, POR	13 km	3923 km	125 km
Strengir	LS Cable, KOR	400 km	20000 km	125 km
Lokur og fallpípur	DSD Noell, DE	500 km	2200 km	125 km

Mynd 4 sýnir hvernig rafal, hverfli og vélbúnaði er komið fyrir í stöðvarhúsi og einnig möguleika á stækkun stöðvarhússins og aflaukningu stöðvarinnar.

Stöðvarhús Powerhouse



MYND 4 Stöðvarhús Búrfellsstöðvar II. Mynd: Landsvirkjun. [9]

3.1.3.1 Hverfill, rafall og stöðvarhússkrani (BUR-30)

Verksamningur BUR-30 telur hverfil, rafall og stöðvarhússkrana. Framkvæmdaraðili fyrir raf- og vélbúnað var Andritz Hydro, sem veittu upplýsingar um efnisnotkun og orkunotkun vegna framleiðslunnar. Einnig var stuðst við upplýsingar sem aflað var vegna fyrri vistferilsgreininga, fyrir Búðarháls og Fljótsdalsstöð, þar sem um hliðstæðan búnað og sambærilega efnis- og orkunotkun var um að ræða. Hverfill er stakur 100 MW Francis hverfill sem framleiddur var í Ravensburg í Þýskalandi. Spennir er 120 MVA 3-fasa rafall framleiddur í Weiz í Austurríki. Þessi rafbúnaður er fluttur frá Ravensburg og Weiz til Norður-Þýskalands þaðan sem hann er fluttur um 2.250 km með sjó annað hvort í gegnum Hamborg eða Bremerhaven (tafla 9). Stöðvarhússkrani er framleiddur í Kokstad, nálægt Bergen í Noregi.

3.1.3.2 Vélaþennar (BUR-31)

Þrjú vélaþennar (e. shell type generator step up transformers) eru í Búrfellsstöð II og framleiðandi þeirra er Efacec í Portúgal. Spennarnir voru fluttir sjóleiðis til Rotterdam og þaðan til Íslands. Ítarlegar upplýsingar um framleiðslu spennanna voru fengnar frá Efacec í tengslum við vistferilsgreiningu fyrir Búðarhálsstöð [4]. Þar með talið voru upplýsingar um orkunotkun, flutninga hráefna, úrgang, fráveituvatn og losun í andrúmsloft. Upplýsingar úr Búðarhálsi voru því notaðar fyrir Búrfell II og áætlaðar hlutfallslega eftir þyngd staks spennis án olíu. Þyngd á olíu fyrir spenna í Búrfellsstöð II, 6.300 kg, var fengin frá framleiðendum. Spennaolía er notuð til einangrunar til að koma í veg fyrir losun á SF₆ gasi í andrúmsloftið.

3.1.3.3 Háspennustrengir (BUR-32)

Alls eru aflstrengir 9.490 metrar á lengd og heildarþyngd þeirra um 76 tonn. Strengir voru framleiddir af LS Cable í Suður-Kóreu og eru fluttir þaðan. Tafla 10 sýnir efnisnotkun í einum lengdarmetra af streng sem reiknað var út miðað við þverskurðarmynd af strengnum. [17]

TAFLA 10 Efnisnotkun í lengdarmetra af aflstreng.

EFNI	MAGN (KG)
Ál	2,1
Kopar	0,9
PE HD	1,2
PE X	3,3
Hitastillandi froða	0,4
Annað plastefni	0,2
Alls	8,0

Leggja þurfti strengi frá spennahúsi að tengistöð og var verkinu skipt í þrjú hluta:

- Frá spennahúsi að samskeytum 1; 2.730 m.
- Frá samskeytum 1 að samskeytum 2; 3.730 m.
- Frá samskeytum 2 að háspennutengivirki; 3.030 m.

3.1.3.4 Lokubúnaður og fallpípur (BUR-33)

Lokur, lokubúnaður og hliðarbúnaður ásamt fallpípum, stálfóðringu og öðrum tilheyrandi stálbúnaði var framleiddur af DSD Noell GmbH. Verkið fólst í deilihönnun, framleiðslu, flutningi, uppsetningu og prófunum á ristum, lokum og tilheyrandi búnaði í inntaksmannvirki virkjunarinnar, frávatnslokum ásamt tilheyrandi búnaði, fallpípu og hljóðbylgjurennslismæli. Efnisnotkun í framleiðslu var metin út frá magnskrá frá uppgjöri framkvæmdaraðila og reiknað upp úr teikningum.

3.1.4 Ferðir starfsfólks (A4)

Upplýsingar um ferðir starfsmanna á byggingartíma voru metnar út frá sambærilegum upplýsingum fyrir vistferilsgreiningu á Búðarhálsstöð sem fengnar voru hjá Landsvirkjun [4] Í heildina var um að ræða um 300 ársverk fyrir byggingu aflstöðvarinnar [18] og var áætlað að ferðir starfsmanna og eftirlitsfólks frá heimili og á byggingarstað væri samkvæmt upplýsingum í töflu 11.

TAFLA 11 Ferðir starfsmanna verktaka og eftirlitsaðila við byggingu Búrfellsstöðvar II.

STARFSMENN	FERÐATILHÖGUN	ÖKUTÆKI*
Iðnaðarmenn og verkamenn verktaka	60% starfsmanna ferðuðust 2x125 km, 25x á ári	40 manna rúta (dísil), 12-14 tonn að þyngd með 6 tonna burðargetu
Eftirlitsaðilar og stjórnendur hjá verktaka	15% starfsmanna ferðuðust 2x125 km, 50x á ári	Dísilknúinn bíll, vélastærð > 2L
Verkstjórar verktaka og aðrir innlendir verktakar	15% starfsmanna ferðuðust 2x125 km, 25x á ári	Dísilknúinn bíll, vélastærð > 2L
Erlendir starfsmenn	5% starfsmanna ferðuðust 2x175 km, 3x - 4x á ári	Dísilknúinn bíll, vélastærð > 2L
Erlendir starfsmenn	5% starfsmanna ferðaðist 2x2000 km, 3x - 4x á ári með flugi	Farþegaflug í vél sambærilegri og Airbus A330

* Miðað er við Euro 4 ökutæki við byggingu aflstöðvar.

3.1.5 Framkvæmdir (A5) - Úrgangur frá byggingu aflstöðvar

Upplýsingum um úrgangsmyndun við byggingu aflstöðvarinnar var safnað af verktaka á framkvæmdatíma og voru þær upplýsingar fengnar frá Landsvirkjun. Óflokkuðum úrgangi var safnað og gert er ráð fyrir að hann sé fluttur á urðunarstað. Flokkuðum úrgangi var safnað og hann fluttur til endurvinnslu og hættulegum úrgangi var fargað af viðurkenndum förgunaraðila. Heildarmagn úrgangs frá framkvæmdum á árunum 2016–2018 má sjá í töflu 12. Frekari upplýsingar um samsetningu, meðhöndlun og förgun úrgangs frá framkvæmdum má sjá í kafla 3.3.

TAFLA 12 Lykiltölur fyrir úrgang við byggingu aflstöðvar Búrfellsstöðvar II.

	MAGNTÖLUR
Óflokkaður úrgangur	265 tonn
Flokkaður úrgangur	813 tonn
Spilliefni	3 tonn

3.1.6 Framkvæmdir (A5) - Orkunotkun

Upplýsingar um orkunotkun við aðstöðusköpun og orkunotkun verktaka og undirverktaka við byggingu aflstöðvar á árunum 2016-2018 voru fengnar frá verktökunum og Landsvirkjun. Við byggingu aflstöðvar er reiknað með að ökutæki uppfylli Euro 4 mengunarstaðal. Euro mengunarstaðlar skilgreina viðmiðunarmörk fyrir útblástur mengandi efna frá ökutækjum sem seld eru í Evrópu, þar sem Euro 4 staðall fyrir vörubíla tók gildi árið 2005. Raforkunotkun á framkvæmdartímabili reiknast sem eitt ár af áætlaðri raforkunotkun á rekstartímabili Búrfellsstöðvar II og notast var við raforku framleidda í Búðarhálsstöð í líkaninu. Upplýsingar um orkunotkun má sjá í töflu 13.

TAFLA 13 Orkunotkun við aðstöðusköpun og byggingu aflstöðvar.

	EINING	2016	2017	2018	ALLS
Dísilolía	L	61.067	104.769	82.888	248.724
Lituð olía	L	814.398	753.095	398.167	1.965.660
Bensín	L	77	1.020	550	1.647
Raforka	GWst	1,7	2,9	1,1	5,7
Smurolíur	L			3.793	3.793

3.2 Rekstur

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

- Meðhöndlun úrgangs frá almennum rekstri (B1)
- Losun frá uppistöðulóni (B1)
- Viðhald og viðgerðir mannvirkja (B2-B3)
- Endurnýjun búnaðar (B4)
- Eldsneytis- og raforkunotkun (B6)
- Endurvinnsla eldri búnaðar (D)

3.2.1 Rekstur aflstöðvar

Til að áætla úrgangsmyndun og orkunotkun á 100 ára líftíma Búrfellsstöðvar II var notast við meðaltöl fyrir aflstöðvar á Þjórsársvæðinu. Reiknað var meðaltal varðandi eldsneytisnotkun, raforkunotkun og úrgangsmyndun fyrir árin 2013 til 2016 í Búrfellsstöð, Sultartangastöð, Hrauneyjafosstöð, Sigöldustöð og Vatnsfellsstöð. Auk þess bættist Búðarhálsstöð inn í meðaltalið árið 2014. Í töflu 14 eru dregnar saman áætlaðar rekstrartölur á 100 ára vistferli Búrfellsstöðvar II.

TAFLA 14 Áætlaðar rekstrartölur fyrir Búrfellsstöð II yfir 100 ára vistferil.

ÞÆTTIR Í REKSTRI BÚRFELLSSTÖÐVAR		
Orkunotkun:	Magn	Eining
Dísilolía	606.928	kg
Bensín	5.874	kg
Raforkunotkun	573	GWst
Úrgangur:		
Óflokkaður úrgangur	78.770	kg
Flokkaður úrgangur	229.950	kg
Hættulegur úrgangur (spilliefni)	22.915	kg
Viðhald:		
Steypa	6.400	m ³
Sprautusteypa	5.900	m ³
Stál	104	tonn
Plast	14	tonn
Endurnýjun vélbúnaðar:		
Hverfill	1	stk
Rafall	1	stk
Spennar	3	stk
Strengir	1	stk
Endurvinnsla efna vegna endurnýjunar vélbúnaðar:		
Stál	642	tonn
Kopar	65	tonn
Plast	47	tonn
Ál	20	tonn
Tímbur	1	tonn
Olía	19	tonn

Magn úrgangs og spilliefna á rekstartíma auk upplýsinga um eldsneytisnotkun er fengið úr tölulegu bókhaldi Landsvirkjunar og var reiknað meðaltal rekstraráranna 2013-2018 á Þjórsársvæðinu [19, 20, 4]. Upplýsingar um móttökuaðila og meðhöndlun úrgangs og spilliefna frá stöðinni voru fengnar úr úttekt Landvirkjunar á sormálum innan aflstöðva fyrirtækisins [21] auk upplýsinga frá stöðvarstjóra aflstöðvarinnar.

3.2.2 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum (B1)

Gerð uppistöðulóna vatnsaflsvirkjana breytir upphaflegri landnotkun svæðisins þar sem lónstæðið er valið. Það land fer undir vatn og rennsli vatns á svæðinu kann að breytast. Þessari landnotkun fylgir losun og/eða upptaka gróðurhúsalofttegunda. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum er metin með sama hætti og í vistferilsgreiningum sem birtar hafa verið fyrir Búðarhálsstöð, Blöndustöð og Fljótsdalsstöð [5, 4, 3]. Notast er við niðurstöður rannsóknar Háskóla Íslands og Landgræðslu ríkisins sem fram fór að Búðarhálsi í lónstæði Sporðöldulóns í september árið 2013 [22]. Í rannsókninni var jarðvegssýnum safnað á 12 mismunandi stöðum innan lónstæðis áður en land fór undir vatn. Á rannsóknarstofu voru sýni úr jarðvegskjörnum bleytt og losun koltvísýrings frá jarðvegi var mæld við staðlaðar aðstæður (25°C) í 365 daga og endurspegla 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 [22]. Á grundvelli niðurstaða þessarar rannsóknar er í þessari greiningu fyrir Búrfellsstöð II reiknað með að 10% þess kolefnis sem fyrirfinnst í lónstæðum losni úr efstu 30 cm jarðvegslags á 100 ára líftímanum.

Þá er gert ráð fyrir að 10% af kolefninu sem losnar úr jarðveginum losni sem metan (CH₄) og 90% losni sem koltvísýringur (CO₂) [23]. Þetta er í samræmi við mat Landbúnaðarháskóla Íslands á árlegri losun frá lónum Landsvirkjunar sem birt er m.a. í grænu bókhaldi Landsvirkjunar.

Þess ber að geta að í fimmtu úttektarskýrslu Milliríkjanefndar um loftslagsbreytingar (IPCC) er eingöngu gefin upp losun metans frá lónum, en ekki koltvísýrings [24]. Talið er að kolefni í jarðvegi sem losnar á formi koltvísýrings í andrúmsloft losni óháð myndun lóna. Í þessari greiningu og í öðrum vistferilgreiningum sem EFLA hefur unnið fyrir vatnsorkuvinnslu Landsvirkjunar eru báðar lofttegundir teknar inn í mat á umhverfisáhrif orkuvinnslunnar. Þá er ekki tekið tillit til þeirra áhrifa sem það hefur að efnin þurfa að fara í gegnum vatnsbolinn áður en þau geta borist út í andrúmsloftið.

Til að meta heildarlosun frá Bjarnalóni voru notaðar niðurstöður á kjörnum teknum úr Sporðöldulóni og breytt miðað við gróðurfar í Bjarnarlóni. Með þessum aðferðum er hægt að meta heildarmagn kolefnis sem losnar vegna myndunar Bjarnalóns. Ekki er mikið gróið land undir Bjarnalóni, eða samtals 9% svæðisins mos-, mól-, gras- og blómlendi [25], og reiknast því losun frá lóninu í heildina lægri en t.d. fyrir Búðarhálsstöð eða Blöndustöð. Lónstæði Gilsarlóns sem tilheyrir Blöndustöð var t.d. að mestu þakið mýrlendi og var þar einnig nokkuð mólendi, en í Sporðöldulóni sem tilheyrir Búðarhálsstöð var um 44% lónstæðis þakið grónu landi. Tafla 15 sýnir magn kolefnis sem losnar úr Bjarnalóni miðað við þessa reikninga.

Í töflu 15 má sjá magn kolefnis frá Bjarnalóni samkvæmt ofangreindum útreikningum. Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæðanna var svo metið út frá vegnu meðaltali fyrir mismunandi gróðurþekju lónstæðunum.

TAFLA 15 Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæðis Bjarnalóns (efstu 30 cm), stærð lóns þar sem ekki var vatn fyrir og áætlað magn kolefnis sem losnar á 100 árum.

	KOLEFNI Í LÓNSTÆÐI (KG C/M ²) [26]	STÆRÐ LÓNS (M ²)	ÁÆTLAÐ MAGN KOLEFNIS SEM LOSNAR Á 100 ÁRUM (KG C)
Bjarnalón	1,3	1.270.000	1.698.000

Bjarnalón var myndað fyrir Búrfellsstöð I sem var gangsett 1969-1972 og hefur lónið því þjónað raforkuvinnslu í þeirri aflstöð í u.þ.b. 50 ár nú þegar. Engin raforkuvinnsla væri í Búrfellsstöð II ef Bjarnalóns nyti ekki við, en ekki er hægt að líta svo á að stór hluti losunar frá Bjarnalóni tilheyri stöðinni. Í þessari greiningu er horft til 100 ára líftíma lónsins frá gangsetningu Búrfellsstöðvar 1969 og skiptingin á milli stöðvanna byggir á heildarorkuvinnslugetu stöðvanna yfir þessi 100 ár, samanlagt 2.100 GWst vinnsla í Búrfellsstöð I í 100 ár (85%) og 700 GWst vinnsla í Búrfellsstöð II í 51 ár (15%). Orkuvinnsla í Búrfellsstöð I er miðuð við 2.300 GWst árlega fyrstu 49 árin og 1.900 GWst árlega seinustu 51 árin. Með þessu er gerð sú nálgun að losun úr lóni sé jöfn yfir 100 ára tímabil frá myndun þess, en líklegt er að svo sé ekki og að losun sé mest í upphafi og fari minnkandi með tímanum. Ljóst má vera að í samhangandi vatnakerfi eins og Þjórsá með röð af vatnsaflsstöðvum er skiptingin ekki endilega skýr og erfitt getur verið að skipta áhrifum ólíkra lónamyndana á milli stöðva. Samkvæmt leiðbeiningum um gerð umhverfisfyrirlýsinga fyrir vatnsaflsstöðvar er almennt mælt með því að líta á vatnakerfið í heild sinni og deila losun frá öllum lónum niður á heildarorkuvinnslu allra stöðva [11]. Í öllu falli ber að færa rök fyrir forsendum sem valdar eru við skiptingu losunar.

TAFLA 16 Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO₂ og CH₄) frá lóni Búrfellsstöðva á 100 árum.

	ORKUVINNSLUGETA (GWST)	LOSUN CO ₂ (KG)	LOSUN CO ₂ /KWST (g)	LOSUN CH ₄ (KG)	LOSUN CH ₄ /KWST (µg)*	LOSUN CO ₂ - ÍG/KWST (g)
Búrfell I	2.100	478.673	0,002	19.340	90	0,005
Búrfell II	700	81.530	0,002	3.294	90	0,005
Heild	3.000	560.203	0,002	22.634	90	0,005

* Hnatthlúnunarmáttur metans = 25x koltvísýringur.

3.2.2.1 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 [11]. Súrefnisupptakan er gefin upp sem 2,67 gCOD fyrir hvert gramm kolefnis sem losnar sem CO₂. Í töflu 17 má sjá reiknaða súrefnisupptöku. Ekki var tekið tillit til næringarefnaauðgunar sem gæti átt sér stað vegna hugsanlegrar losunar fosfórs í lónið sbr. leiðbeiningar um gerð umhverfisfyrirlýsinga [11].

TAFLA 17 Reiknuð súrefnisupptaka frá Bjarnalóni vegna Búrfellsstöðvar II [11].

REIKNUÐ SÚREFNISUPPTAKA	MAGN
tonn COD	59.368
g COD/kWst	0,85

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 einnig áhrif á myndun ósons við yfirborð jarðar.

3.3 Förgun og endurvinnsla úrgangs

Meðhöndlun og förgun úrgangs sem myndast við byggingu aflstöðvar og rekstur stöðvarinnar sem miðað var við í vistferilsgreiningunni má sjá í töflu 18.

TAFLA 18 Meðhöndlun og förgun úrgangs sem myndast við byggingu og rekstur Búrfellstöðvar II.

	MEDHÖNDLUN	STAÐSETNING	ATHUGASEMD
Óflokkaður úrgangur	Urðun	Álfsnes*	
Flokkaður úrgangur:			
Lífrænn úrgangur	Moltugerð	Selfoss	
Málmur	Endurvinnsla	Bretland	1 kg af endurunnum málmum kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,37 kg af nýjum málmum
Pappír, pappi og umbúðir	Endurvinnsla	Holland	1 kg af endurunnum pappír kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,8 kg af nýjum pappír
Plast	Endurvinnsla	Holland	1 kg af endurunnu plasti kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,75 kg af nýju plasti
Ál	Endurvinnsla	Bretland	1 kg af endurunnu áli kemur í veg fyrir framleiðslu á 0,75 kg af nýju áli
Timbur**	Jarðgerð (yfirlag á urðunarstað)	Álfsnes	
Timbur	Brennsla	Evrópu	Orkuheimt
Grófur úrgangur	Endurheimt málmhluta og urðun	Álfsnes	
Seyra frá rotþróum	Urðun	Sótt af viðurkenndum förgunaraðila	
Hættulegur úrgangur (spilliefni):			
Úrgangsolía (spennaolía)	Brennsla	Kalka (Reykjanes)	
Önnur spilliefni	Brennsla	Danmörk og Svíþjóð	Orkuheimt

* Minnka þarf urðun á úrgangi á næstu árum svo búist er við því að magn minnki þegar líður á rekstrartíma.

** Timbur sem fellur til við framleiðslu búnaðar erlendis fer til brennslu og er miðað við orkuheimt í þeim ferli.

Ávinningur þess að endurvinnsla úrgangur sem myndast í rekstrarfasa er metinn í vistferilsgreiningunni. Um er að ræða úrgang frá almennum rekstri aflstöðvarinnar og úrgangur sem myndast við endurnýjun búnaðar. Hér er gert ráð fyrir að úrgangur fari í endurvinnslu frá framleiðslu búnaðar. Þá er gert ráð fyrir flokkuðum úrgangi til endurvinnslu frá framkvæmdum, hefðbundnum rekstri aflstöðvarinnar og þegar búnaður er endurnýjaður að 60 árum liðnum. Upplýsingar um endurvinnslu efna við framleiðslu búnaðar eru takmarkaðar við upplýsingar um spenna frá Efacec, ásamt endurunnum málmum úr jarðstrengjum. Heildarmagn úrgangs til endurvinnslu á líftíma stöðvarinnar má sjá í töflu 19.

TAFLA 19 Lykiltölur fyrir flokkaðan úrgang við byggingu og rekstur Búrfellsstöðvar II í 100 ár.

	MAGNTÖLUR
Framleiðsla búnaðar:	
Stál	28 tonn
Kopar	0,6 tonn
Plast	0,5 tonn
Pappír og pappi	13 tonn
Tímbur	16 tonn
Bygging aflstöðvar:	
Málmar	263 tonn
Plast	30 tonn
Pappír og pappi	20 tonn
Tímbur	456 tonn
Úrgangur frá almennum rekstri:	
Málmar og ýmis búnaður	84 tonn
Pappír og pappi	20 tonn
Plast	0,04 tonn
Tímbur	88 tonn
Endurvinnsla vegna endurnýjunar búnaðar:	
Stál	642 tonn
Kopar	65 tonn
Plast	47 tonn
Ál	20 tonn
Tímbur	1 tonn

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 vörukerfi, með tilheyrandi námuvinnslu og orkunotkun. Endurunninn úrgangur 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 hlutfall endurunnins stáls sem nýtist inn í annað vöruferli. Umhverfisáhrif stálframleiðslu sem komið er í veg fyrir með notkun endurunna hráefnisins inn í nýtt vöruferli reiknast til frádráttar á heildarumhverfisáhrifum, m.ö.o. sem nettóávinningur. 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 liggur ekki fyrir er notast við útgefnar upplýsingar um nýtni endurvinnsluferla eins og tafla 20 sýnir [27, 28, 29].

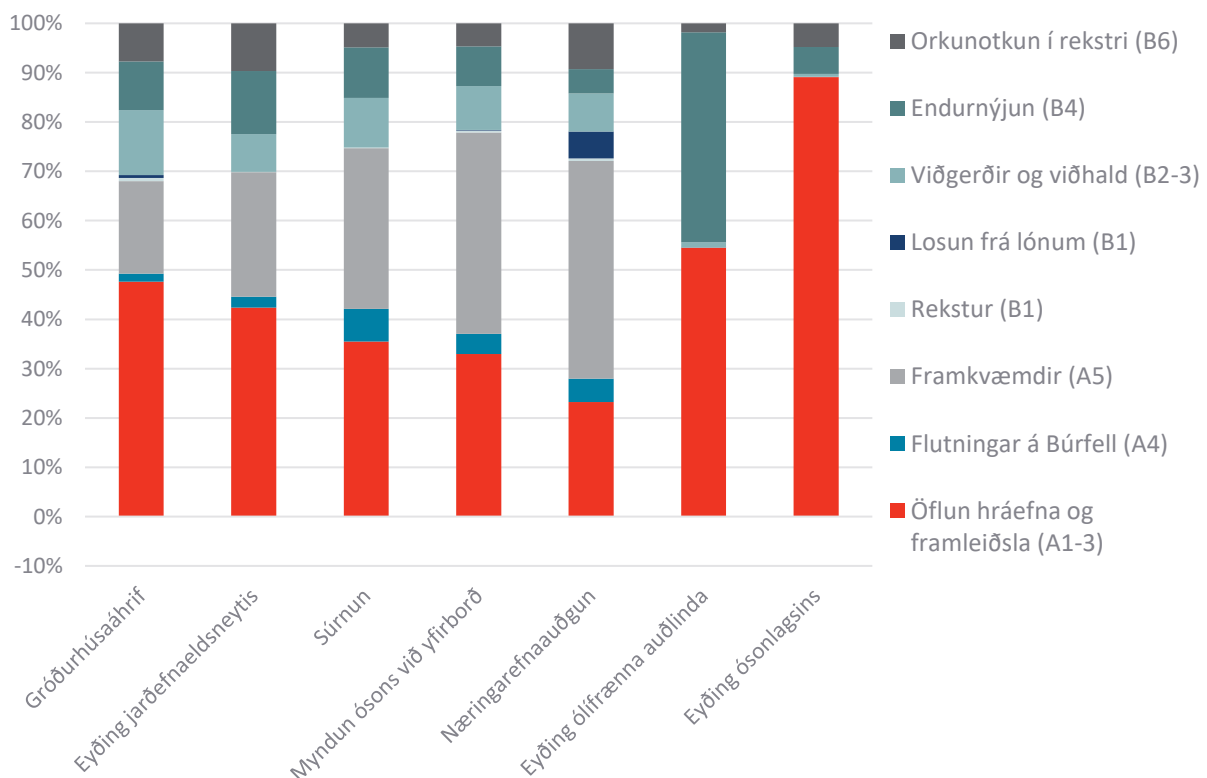
TAFLA 20 Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni.

EFNI TIL ENDURVINNSLU	ENDURVINNSLUHLUTFALL
Stál	37% [30]
Ál	35% [30]
Kopar	81% [27]
Plast	75% [29]
Pappír	78% [28]
Tímbur	Orkuheimt [30]
Olía	Orkuheimt [30]

4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR

4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Búrfellsstöðvar II

Mynd 5 sýnir helstu niðurstöður úr vistferilsgreiningu (e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA) fyrir vinnslu á 1 kWst með vatnsafla í Búrfellsstöð II reiknað fyrir 100 ára líftíma stöðvarinnar. Hverjum af þeim sjö umhverfisáhrifaflokkum sem skoðaðir eru í greiningunni er skipt upp eftir hlutdeild hvers þáttar vistferilsins í viðkomandi umhverfisáhrifum.



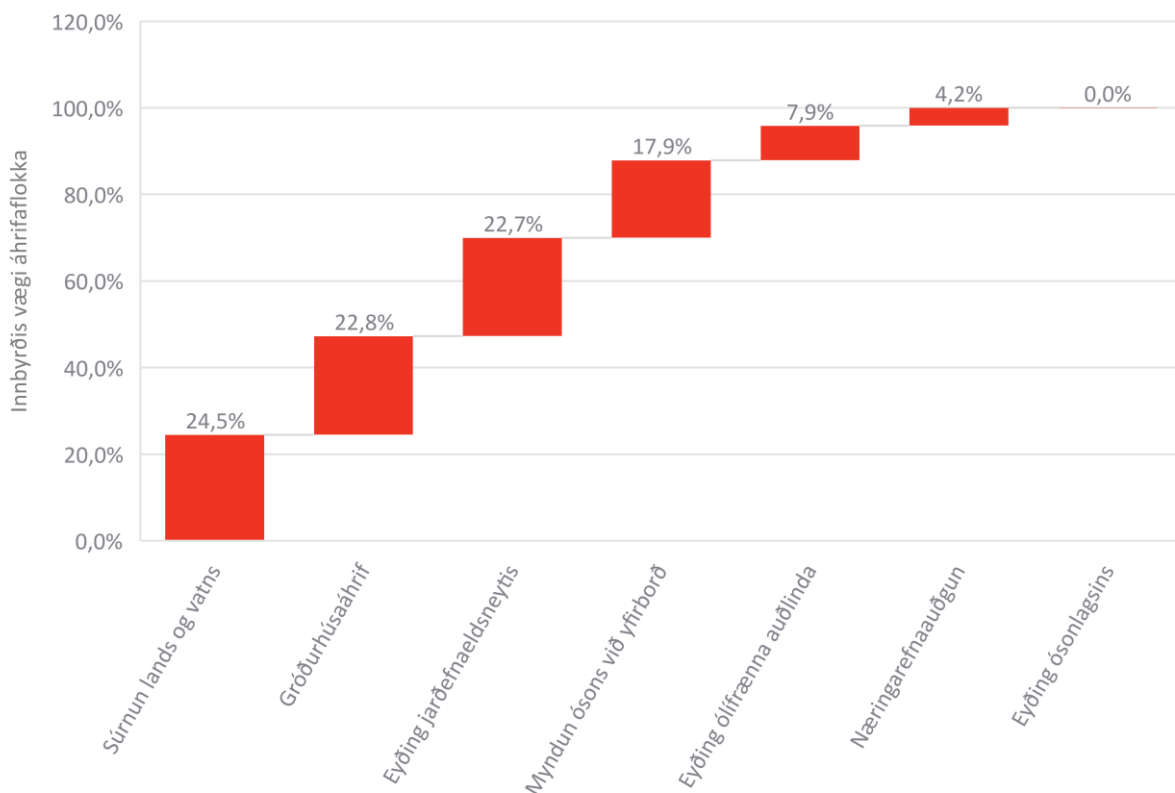
MYND 5 Heildarniðurstöður vistferilsgreiningar á vinnslu á 1 kWst frá Búrfellsstöð II. Myndin sýnir hlutdeild mismunandi stiga vistferilsins yfir 100 ára líftíma stöðvarinnar fyrir þá sjö umhverfisflokka sem skoðaðir eru í greiningunni.

Í öllum flokkum umhverfisáhrifa vegur öflun hráefna og framleiðsla (A1-A3) mjög þungt og áhrif framkvæmda (A5) eru áberandi í flokkum öðrum en eyðingu ólífræna auðlinda (ADPE) og eyðingu

ósonlagsins (ODP). Áhrif losunar frá lónum eru ekki hlutfallslega mikil, fyrir utan næringarefnaauðgun (EP), enda er uppistöðulónið Bjarnalón ekki stórt, ekki gróðursamt og var upphaflega myndað fyrir Búrfellsstöð sem hefur nú þegar verið í rekstri í um 50 ár. Þessir flokkar, A1-A5, B1 losun frá lónum ásamt endurnýjun búnaðar (B4) mynda saman svokölluð kjarnamannvirki (e. Core - Infrastructure) Búrfellsstöðvar II og mynda samanlagt 75%-95% áhrifa í öllum umhverfisflokkum, sjá kerfismörk í kafla 2. Mynd 34 í Viðauka B útskýrir þessa skiptingu betur.

4.2 Vægi umhverfisáhrifa í evrópsku samhengi

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru birtar fyrir sjö flokka umhverfisáhrifa sem allir hafa mismunandi einingar. Til að bera saman mikilvægi hvers flokks fyrir sig þarf að staðla og vigta heildarniðurstöðurnar. Þá er tekið til greina mannlegt mat á mikilvægi hvers flokks fyrir sig ásamt vægi hans með tilliti til magns. Við stöðlun eru umhverfisáhrifin sett í samhengi við umhverfisáhrif vegna mannglegra athafna sem verða í heiminum eða á ákveðnu svæði, t.d. í Evrópu, á einu ári. Vigtun byggir á skilgreindu vægi hvers flokks sem byggir á pólitískum markmiðum fyrir þann flokk ásamt skoðunum sérfræðinga um mikilvægi flokksins. Við útreikninga á niðurstöðum er notast við viðurkennda aðferðafræði CML 2001 og við stöðlunina eru niðurstöður settar í samhengi við árlega losun vegna mannglegra athafna í Evrópu (EU 25+3) árið 2000. Vigtun byggir á könnun frá árinu 2012 þar sem vægi hvers flokks fyrir sig var metið á skala 1-10 af sérfræðingum um allan heim. Mynd 6 sýnir innbyrðis vægi þeirra sjö flokka sem metnir eru fyrir Búrfellsstöð II eftir vigtun og stöðlun þeirra.



MYND 6 Vegin og stöðluð áhrif umhverfisáhrifaflokka fyrir niðurstöður vistferilsgreiningar á Búrfellsstöð II á 100 ára líftíma miðað við losun vegna mannglegra athafna í Evrópu árið 2000 skv. CML aðferðinni.

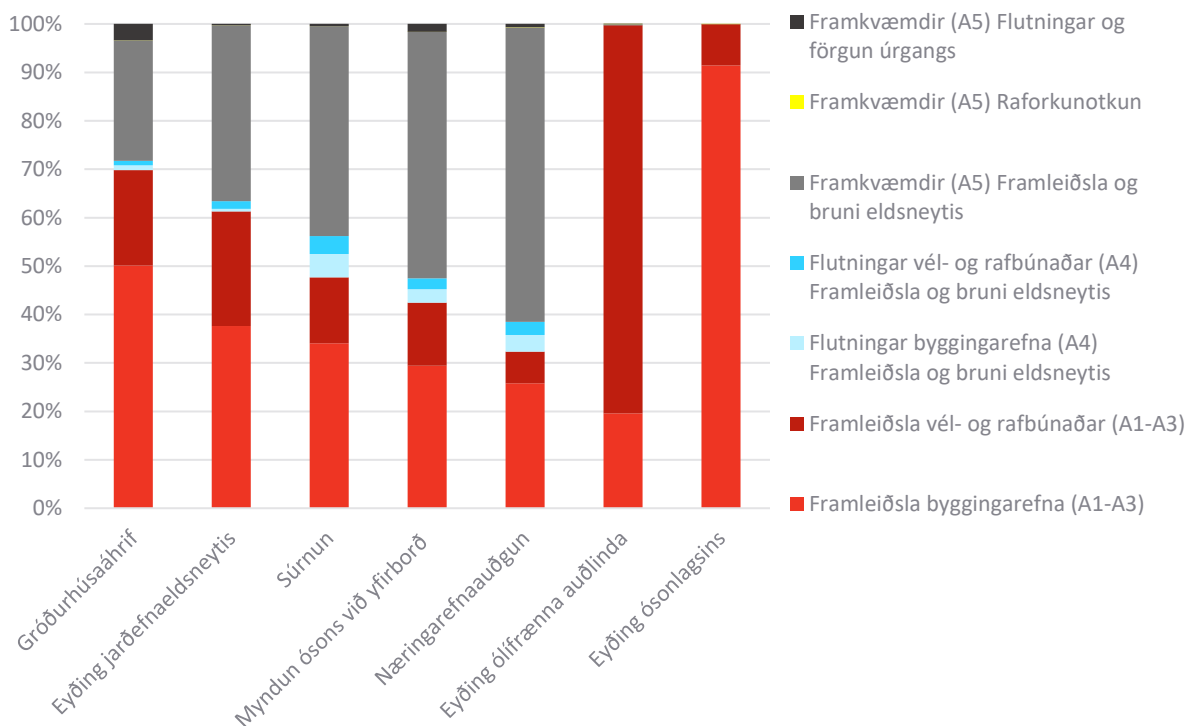
Samkvæmt þessari aðferðafræði eru fjórir flokkar sem veða mun meira en hinir þrír. Vegamestu áhrifaflokkarnir eru súrnun lands og vatns, gróðurhúsaáhrif og eyðing jarðefnaeldsneytis. Myndun ósons við yfirborð hefur einnig töluvert vægi. Borið saman við t.d. Búðarhálsstöð eru þessir fjórir flokkar þeir sömu sem höfðu mest vægi í greiningunni þar, þó uppröðun sé önnur [4].

4.3 Umhverfisáhrif eftir fasa vistferils

Í þessum kafla er greiningu áhrifaflokka skipt upp eftir fasa vistferilsins, það er framleiðslu- og framkvæmdarfasa (A), rekstrarfasa (B) og endurvinnslufasa (D).

4.3.1 Framleiðslufasi og framkvæmdarfasa (A1-A5)

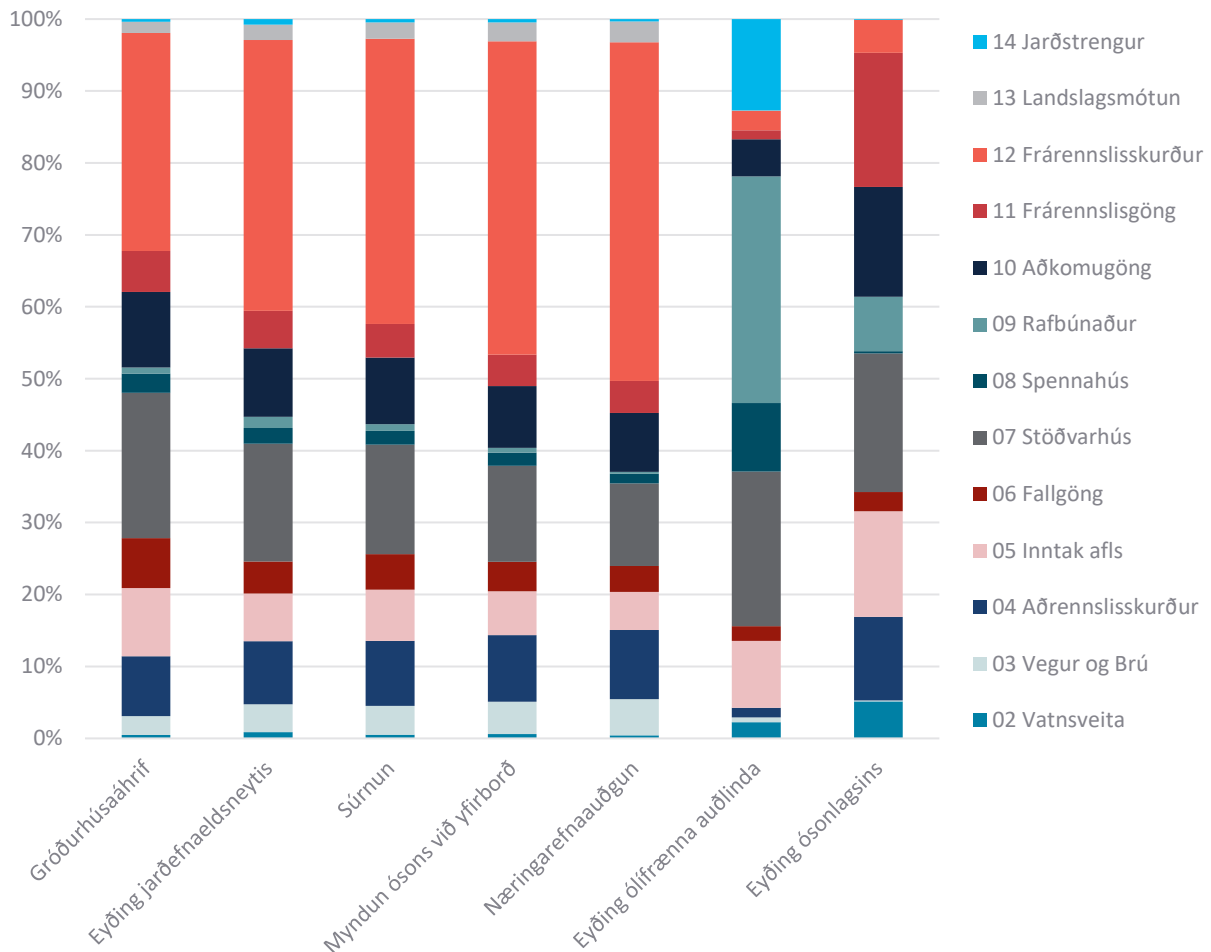
Mynd 7 sýnir hlutfallsleg umhverfisáhrif meginaðgerða á framleiðslu- og framkvæmdarfasa (A1-A5) fyrir Búrfellsstöð II. Ávinningur vegna endurvinnslu er allur flokkaður undir vistferilsfasa D og er því ekki sýndur hérna.



MYND 7 Hlutfallsleg umhverfisáhrif ólíkra þátta á framleiðslu- og framkvæmdarfasa stöðvarinnar, vegna vinnslu 1 kWst raforku í Búrfellsstöð II. Á myndinni má sjá niðurstöður fyrir þá sjö flokka umhverfisáhrifa sem reiknað er fyrir á 100 ára líftíma.

Á myndinni sést að í flestum flokkum veða þyngst öflun og framleiðsla hráefna (A1-A3), bæði í byggingu á mannvirkjunum og í smíðum á vél- og rafbúnaði. Byggingarefni eru meðal annars steypa, málmar, þá sérstaklega stál og síðan plastefni. Flutningur efna, búnaðar og mannafla felur í sér eldsneytisframleiðslu og notkun, líkt og eldsneytisnotkun við framkvæmdir sem einnig vegur þungt í fremstu fimm umhverfisflokkunum. Raforkunotkun við framkvæmdir er metið sem eitt rekstrarár af raforkunotkun stöðvarinnar í fullri vinnslu hennar.

Mynd 8 sýnir þessa sömu áhrifaflokka skipt upp eftir mannvirkjum Búrfellsstöðvar II.

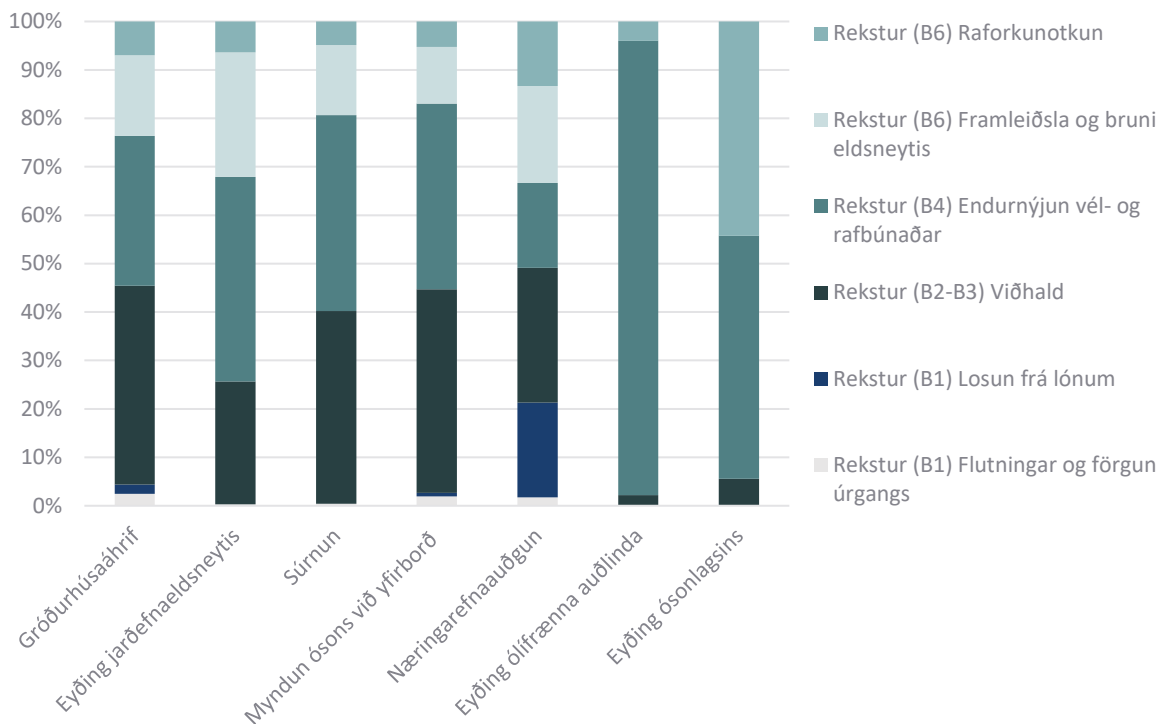


MYND 8 Hlutfallsleg umhverfisáhrif mannvirkja Búrfellsstöðvar II, sýnt í sjö flokkum umhverfisáhrifa.

Í fremstu fimm flokkunum er frárennslisskurðurinn sá hluti sem hefur mest áhrif. Ef dregin væru frá áhrif eldsneytisnotkunar, þá væri stöðvarhúsið það mannvirki sem hefði mest áhrif í þessum flokkum. Einnig eru greinileg áhrif af myndun ganga og skurða (04,10,11). Í flokki eyðingar ólfrænna auðlinda eru verkþættir sem eru mikilvægir fyrir rafmagnsframleiðslu og flutning, svo sem spennahús (08), rafmagnsbúnaður (09) og jarðstrengur (14) mun sýnilegri en í öðrum flokkum. Skipting á milli verkþátta er mun fjölbreyttari þegar kemur að eyðingu ósonlagsins, en vægi áhrifaflokksins eru talin minni en annarra flokka (kafla 4.2).

4.3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)

Mynd 9 sýnir hlutdeild mismunandi þátta í rekstri Búrfellsstöðvar II fyrir sjö umhverfisflokka. Þættir í rekstri er losun frá lónum (B1), flutningur og förgun úrgangs (B1), viðhald og viðgerðir (B2-B3), endurnýjun búnaðar (B4), eldsneytisnotkun ásamt framleiðslu þess eldsneytis (B6) og eigin raforkunotkun (B6). Ávinningur vegna endurvinnslu er allur flokkaður undir vistferilsfasa D og er því ekki sýndur hérna.

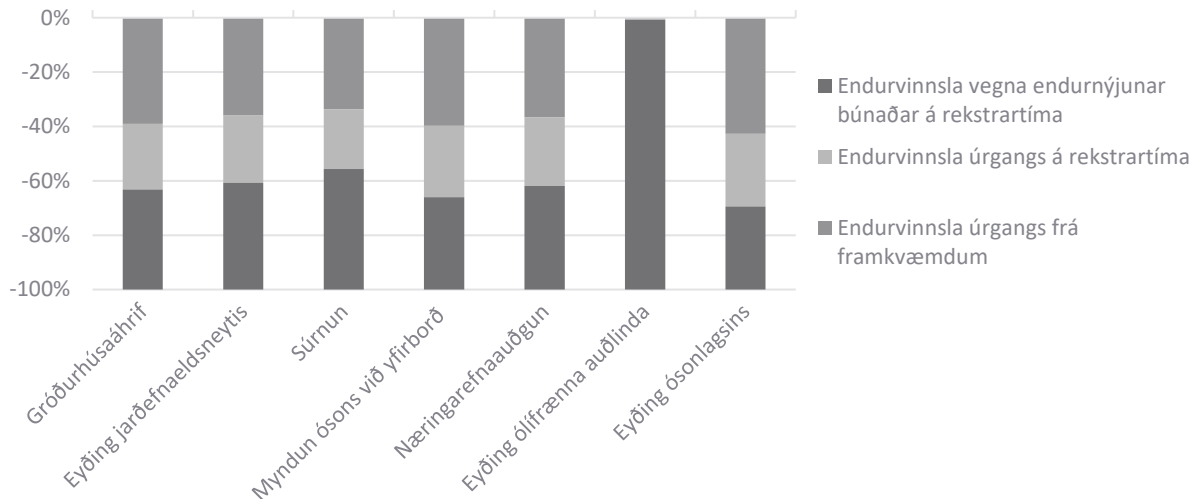


MYND 9 Hlutfallsleg umhverfisáhrif eftir flokkum á rekstrarstigi (B1-B6), sýnt í sjö flokkum umhverfisáhrifa.

Þegar horft er á 100 ára rekstrartíma stöðvarinnar vegur þungt í öllum flokkum umhverfisáhrifa að stór hluti raf- og vélbúnaðar á stöðinni er með líftíma metinn upp á 60 ár, sem þýðir að allsherjar endurnýjunar á búnaði (B4) er þörf einu sinni á skilgreindum rekstrartíma stöðvarinnar. Vél- og rafbúnaður vegur sérstaklega þungt undir eyðingu ólífrænna auðlinda, en þar hafa áhrif notkun á efnum svo sem kopars og annarra málma í rafbúnað. Viðhald og viðgerðir (B2-B3) eru stór hluti af mikilvægustu áhrifaflokkunum, en á líftíma er allri steypu sem viðkemur vatnsflæði endurnýjuð ásamt því að reglulegt viðhald á annarri steypu veldur því að 40% af þeirri steypu er endurnýjuð á 100 árum. Losun frá lónum (B1) hefur afar takmörkuð áhrif í öllum áhrifaflokkum fyrir utan næringarefnaauðgun. Áhrif á eyðingu ósonlagsins eru í heildina mjög takmörkuð, sem þýðir að þó svo að B4 og B6 vegi hlutfallslega mest, eru heildaráhrif í þessum umhverfisflokki lítil.

4.3.3 Endurvinnsla (D)

Mynd 10 sýnir hlutfallslegan umhverfislegan ávinning fyrir endurvinnslu á úrgangi frá byggingarframkvæmdum, á rekstrartíma og vegna endurnýjun búnaðar. Þessi áhrif eru sýnd fyrir umhverfisáhrifaflokkana sjö.



MYND 10 Hlutfallslegur umhverfislegur ávinningur endurvinnslu eftir flokkun og tegund, sýnt í sjö flokkum umhverfisáhrifa.

Myndin sýnir að umhverfisáhrifin eru sambærileg á milli þessara þriggja stiga endurvinnslu í öllum áhrifaflokkum nema eyðingu ólífrænna auðlinda þar sem endurvinnsla efna úr vélbúnaði er nánast öll heildin. Má rekja þetta til endurvinnslu málma úr vélbúnaði, eins og til dæmis kopars.

4.4 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Búrfellsstöðvar II

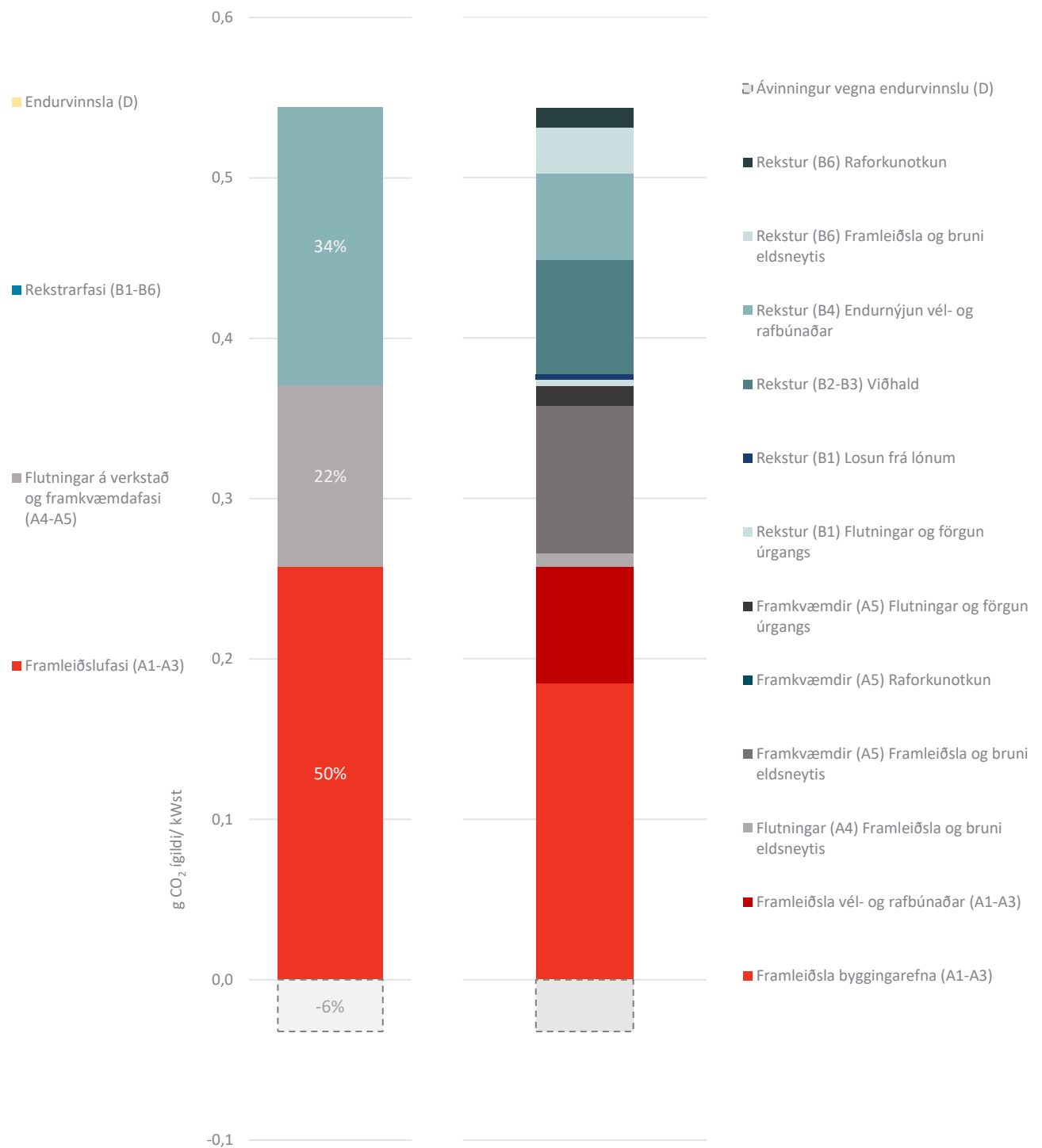
Gróðurhúsaáhrif og súrnun eru þeir umhverfisflokkar sem eru metnir hafa mest vægi samkvæmt stöðlun og vigtun niðurstaðna eins og sjá má á mynd 6. Tveir flokkar, eyðing jarðefnaeldsneytis og myndun ósons við yfirborðið eru ekki langt undan, en hinir þrjú vega minna. Hér verður fjallað um helstu áhrifin í þeim fjórum flokkum sem vega mest.

4.4.1 Gróðurhúsaáhrif

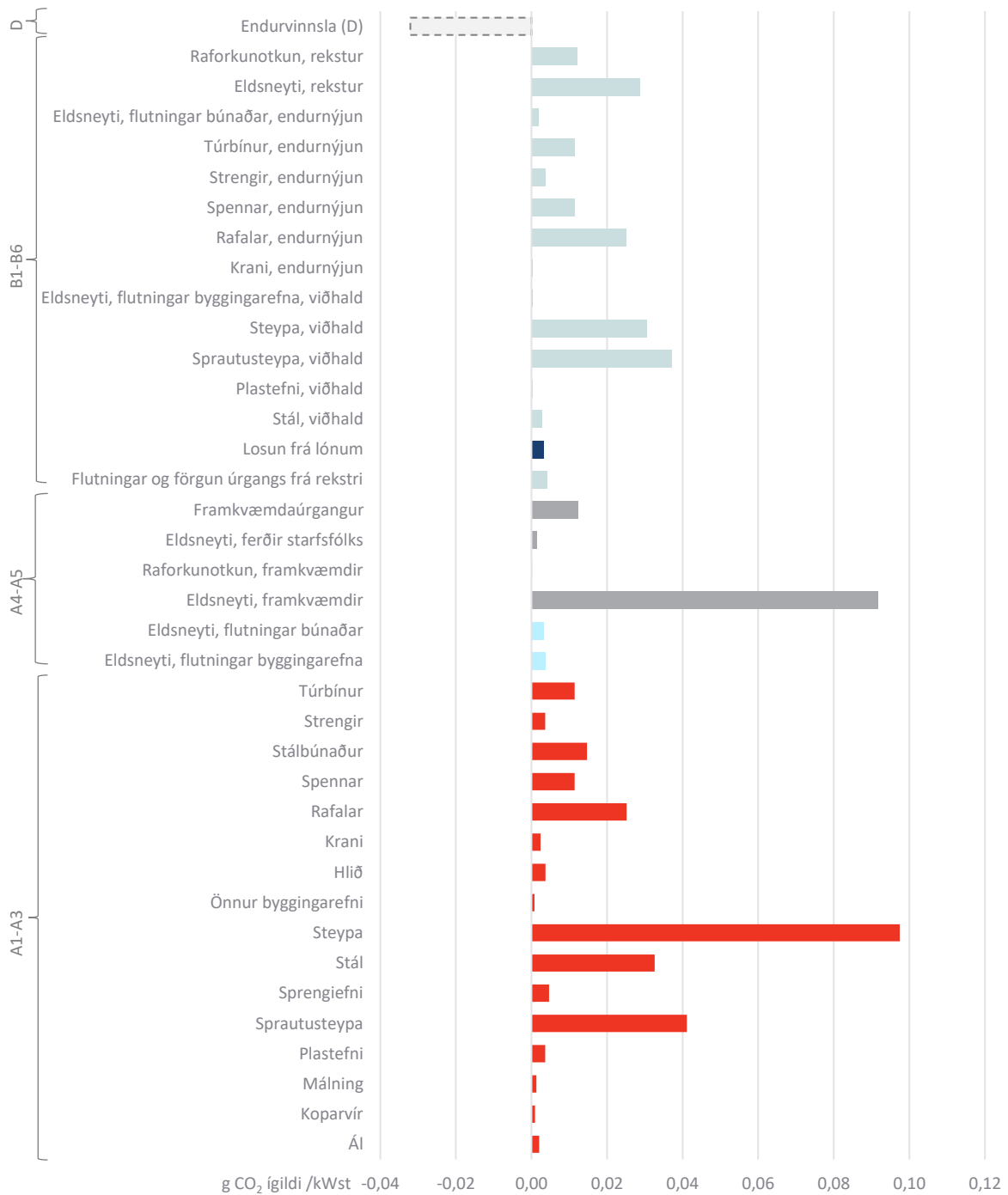
Mynd 11 sýnir gróðurhúsaáhrif Búrfellsstöðvar II skipt annars vegar eftir fasa vistferils og hins vegar eftir þáttum þar innan. Gróðurhúsaáhrif stöðvarinnar á 100 ára rekstrartíma eru um 36.000 tonn CO₂ ígildi sem samsvarar kolefnisspori um 0,51 g CO₂ ígilda á hverja kWst framleidda, miðað við að orkuvinnslugeta stöðvarinnar sé 700 GWst á ári í 100 ár. Mögulegt er á aflaukningu á líftímanum þar sem hönnunin gerir ráð fyrir stækkunarmöguleika upp á 40 MW í uppsettu afli, og myndi þetta leiða til lækkunar kolefnissporsins.

Mynd 12 sýnir hvernig gróðurhúsaáhrifin skiptast á verkþætti. Þar eru þeir tveir þættir sem hafa mest áhrif, það er steypa og eldsneyti. Steypa og sprautusteypa mynda 40% gróðurhúsaáhrifa stöðvarinnar, þar af eru 27% í framleiðslu- og framkvæmdarfasa og 13% í rekstrarfasa, í viðgerðum og viðhaldi á stöðinni. Eldsneytisframleiðsla og -notkun er í heildina 26% af gróðurhúsaáhrifum stöðvarinnar, þar af eru 18% í eldsneytisnotkun á framkvæmdartíma. Framleiðsla (A1-A3) og endurnýjun (B4) vélbúnaðar mynda samanlagt 24% gróðurhúsaáhrifa. Losun koltvísýrings og metans frá lónum stendur aðeins fyrir 0,6% af gróðurhúsaáhrifum heildarinnar.

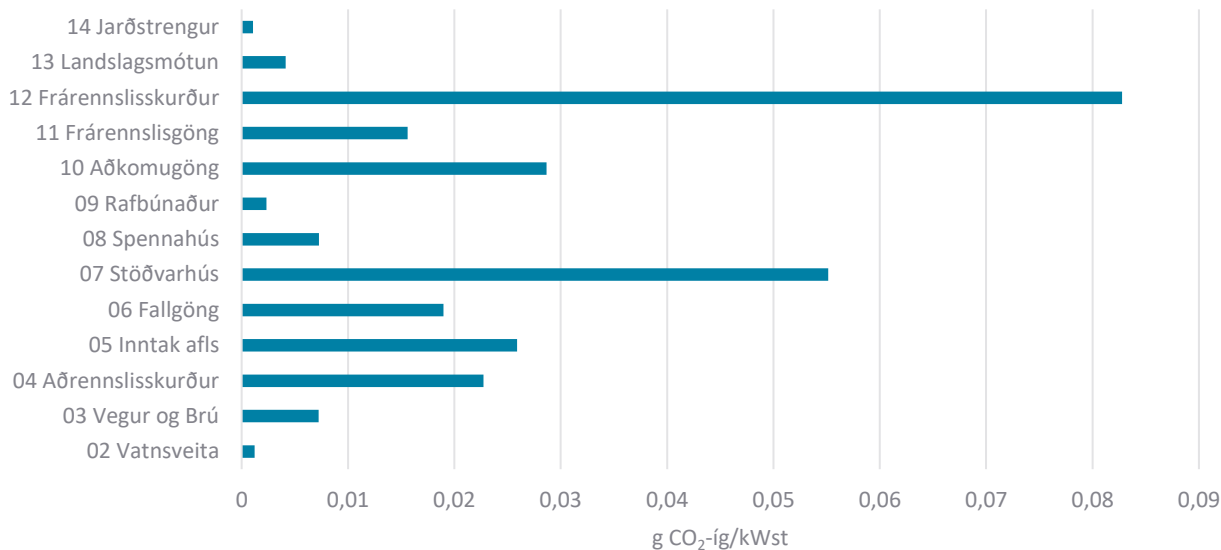
Myndir 13 og 14 sýna gróðurhúsaáhrif verkþátta mannvirkjaframkvæmda með og án áhrifa eldsneytisnotkunar. Mynd 15 sýnir gróðurhúsaáhrif á framleidda orkueiningu eftir stigi vistferils.



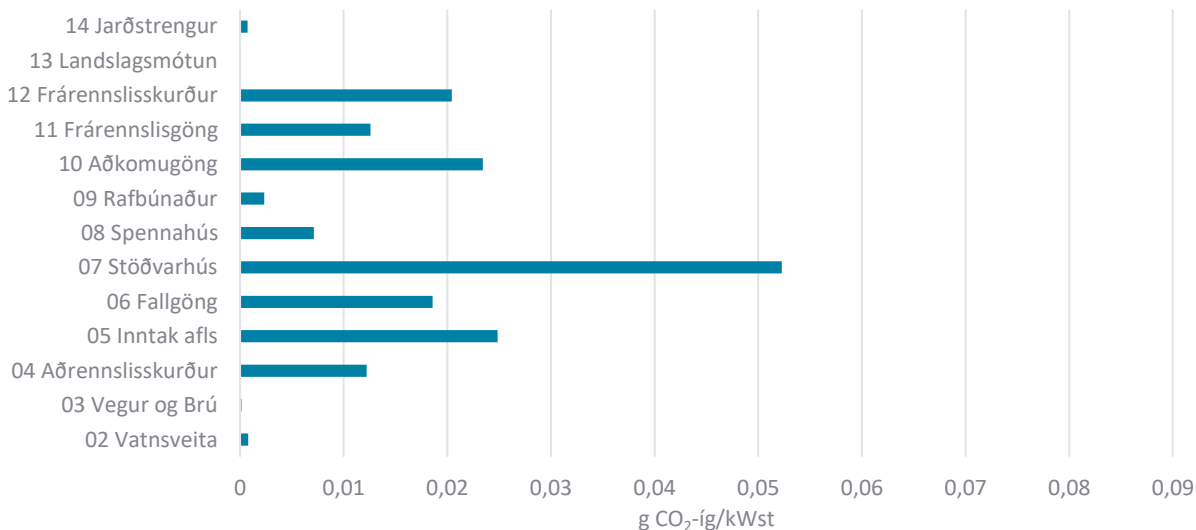
MYND 11 Gróðurhúsaáhrif Búrfellsstöðvar II á unna kWst eftir fasa vistferils.



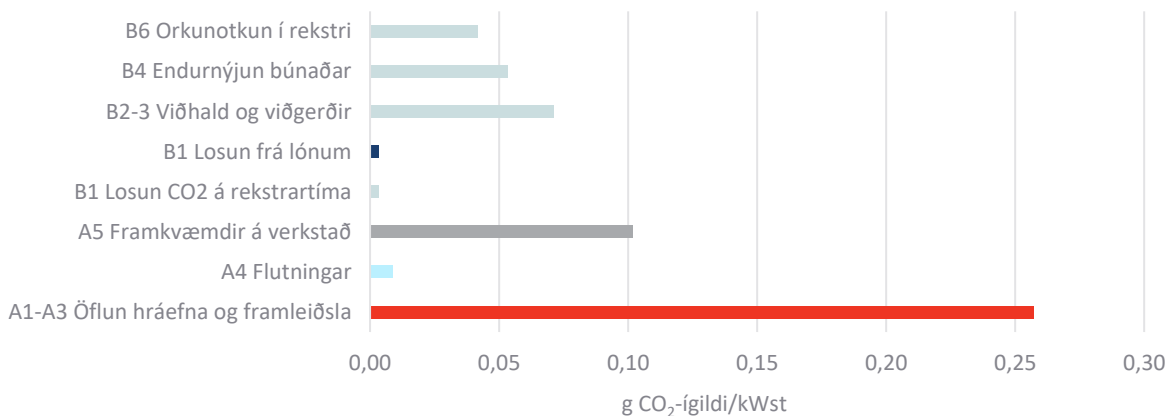
MYND 12 Gróðurhúsaáhrif Búrfellsstöðvar II á framleidda kWst, skipt eftir efnisnotkun og verkþætti.



MYND 13 Gróðurhúsaáhrif mannvirkja, að meðtalinni eldsneytisnotkun.



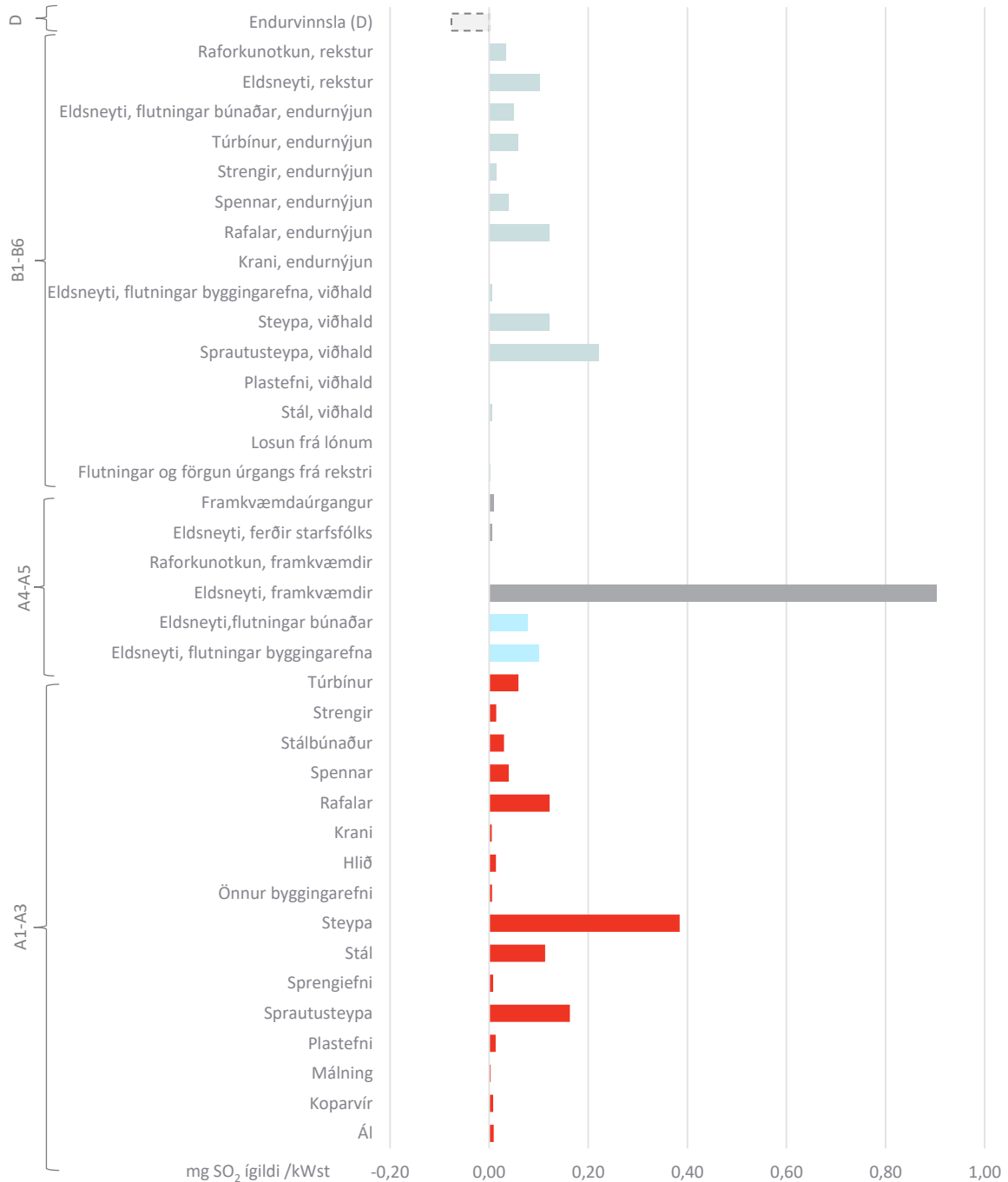
MYND 14 Gróðurhúsaáhrif mannvirkja án áhrifa eldsneytisnotkunar.



MYND 15 Gróðurhúsaáhrif á framleidda kWst fyrir mismunandi þætti vistferilsins. .

4.4.2 Súrnun lands og vatns

Undir áhrifaflokknum súrnun lands og vatns vega þyngst tveir hlutir, annars vegar eldsneyti (45%) og hins vegar steypa (32%). Mynd 16 sýnir hvernig áhrif súrnunar skiptast upp eftir fösum vistferils og á einstaka þætti innan þeirra.



MYND 16 Súrnunaráhrif Búrfellsstöðvar II á kWst framleidda eftir efnisnotkun og verkþætti.

Helstu súrnunaráhrif má rekja til framleiðslu og bruna á eldsneyti, sem samtals standa fyrir um 45% heildaráhrifa. Þar af eru áhrif eldsneytisnotkunar af vinnutækjum á verkstað á framkvæmdatímabili um 32% af heildar súrnunaráhrifum, sem skiptist upp í framleiðslu (2%) og bruna (30%) jarðefnaeldsneytis. Áhrif á framkvæmdartíma eru því um 72% af áhrifum eldsneytisnotkunar í heild, en eldsneyti á rekstrartímabili er um 8%. Afgangur stafar af flutningum efna og mannafla. Áhrif steypu eru 61% í framleiðslu á steypu til framkvæmda og 39% í framleiðslu steypu til viðgerða og viðhalds.

4.4.3 Eyðing jarðefnaeldsneytis

Eyðing jarðefnaeldsneytis tekur saman alla framleiðslu og notkun á kolum, olíu og jarðgasi, hvort sem um er að ræða beina brennslu olíu í verktækjum og farartækjum, eða raforku sem unnin er úr jarðefnaeldsneytistegundum og er síðan nýtt til framleiðslu á byggingarefnum og búnaði. Í vistferli Búrfellsstöðvar II má rekja áhrif helst til framleiðslu og bruna á eldsneyti fyrir ökutæki, eða um 47% áhrifa, þar af 27% á framkvæmdartíma stöðvarinnar og 8% á rekstrartíma hennar. Framleiðsla steypu og sprautusteypu vegur þyngst af byggingarefnum og eru um 22% áhrifanna, þar af 15% í framkvæmd og 7% í viðhald. Raf- og vélbúnaður er um 31% áhrifanna, þar af 18% í upphaflegri framkvæmd. Með endurvinnslu á vistferlinum er dregið úr áhrifum flokksins um 8%, en mun orkufrekara er að vinna efni úr nýju hráefni heldur en endurunnu.

4.4.4 Myndun ósons við yfirborðið

Óæskilegt er að óson myndist við yfirborðið, en það getur meðal annars valdið uppskerubresti. Það getur gerst með tilstuðlan sólarljóss í andrúmslofti sem inniheldur köfnunarefnisoxíð (NOx) og rokgjörn, lífræn efnasambönd (VOCs). Í vistferli Búrfellsstöðvar II, má rekja áhrif ósonmyndunar 65% til framleiðslu og bruna eldsneytis, þar af 42% í framkvæmdum og 3% í rekstri stöðvarinnar. Af byggingarefnum eru helst áhrif steypu sem vega 27%, þar af 5% sprautusteypa og 13% steinsteypa á framkvæmdartíma. Raf- og vélbúnaður vegur 18%, þar af 11% á framkvæmdartíma. Með endurvinnslu á vistferlinum er dregið úr áhrifum flokksins um 6%.

4.4.5 Næringarefnaauðgun

Næringarefnaauðgun á sér stað í vatni eða í jarðvegi vegna óhóflegs styrks næringarefna eins og nítrata og fosfata, sem geta leitt af sér lágan styrk súrefnis. Næringarefnaauðgun má rekja að 71% hluta til framleiðslu og bruna eldsneytis, þar af 44% vegna framkvæmda og 6% vegna almenns reksturs stöðvarinnar. Byggingarefni sem vega þyngst er steypa með 23% áhrifanna, þar af 16% framleiðsla á steypu til byggingar aflstöðvarinnar. Í áhrifaflokknum næringarefnaauðgun hefur í fyrri vistferilsgreiningum fyrir vatnsaflsvirkjanir Landsvirkjunar losun frá lónum vegið þungt. Það á hins vegar ekki við um Búrfellsstöð II þar sem sá þáttur vegur aðeins 6%. Lægri hlutdeild stafar af samnýtingu Bjarnarlóns með Búrfellsstöð ásamt litlu magni gróðurs í lónstæðinu. Með endurvinnslu er dregið úr áhrifum næringarefnaauðgunar um 2%.

4.4.6 Eyðing ólífraenna auðlinda

Hér er átt við vinnslu á óendurnýjanlegum auðlindum úr jörðu, annarra en jarðefnaeldsneytis sem eru til dæmis málmgrýti unnin úr námum. Áhrif flokksins byggja á mati á því hversu mikið af hráefninu er notað á vistferlinum miðað við hversu mikill forði auðlindarinnar er, en forðinn er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og hagkvæmt er að nýta miðað við þá þekkingu og tækni sem búið er yfir í dag. Má því ætla að það gæti breyst yfir tíma eftir því sem tæknilegar og efnahagslegar forsendur breytast. Á vistferli Búrfellsstöðvar II er það framleiðsla á raf- og vélbúnaði sem vegur um 91% af heildaráhrifum flokksins. Þar af vege áhrif rafala (26%), spenna (11%) og túrbína (6%) mest á framkvæmdartíma og eins þegar skipta þarf þessum búnaði út eftir að 60 ára líftími hans er liðinn.

4.4.7 Eyðing ósonlagsins

Áhrif á eyðingu ósonlagsins eru í heildina lítilvæg eins og sést á vigtun áhrifaflokkanna sem sýnt er á mynd 6. Flokkar sem vege hlutfallslega þyngst í vistferli Búrfellsstöðvar II hafa í heildina smávægileg áhrif. Áhrif eru þó mest í framleiðslu byggingarefna, sem standa fyrir um 85% af heildaráhrifum. Af einstaka byggingarefnum vegur framleiðsla sprengiefna mest með 59% og framleiðsla stáls 23%, þar af 16% af ryðfríu stáli.

4.4.8 Samantekt áhrifa

Tafla 21 sýnir samantekt á hlutfallslegri skiptingu áhrifa á umhverfisáhrifaflokkana, eftir fasa vistferils Búrfellsstöðvar II og einstaka þáttum þar innan. Prósentutölur sýna hlutfallsleg áhrif þátta innan tiltekins umhverfisáhrifaflokks og tölur sem birtast sem 0,0% vege minna en 0,05% af heildaráhrifum þess flokks.

TAFLA 21 Samantekt á hlutfallslegum umhverfisáhrifum á vistferli Búrfellsstöðvar II.

	Gróðurhúsaáhrif	Eyðing jarðefnaeldsneytis	Súrnun lands og vatns	Myndun ósons við yfirborð	Næringarefnaauðgun	Eyðing ólífræna auðlinda	Eyðing ósonlagnsins
Framleiðsla byggingarefna (A 1-3)							
Ál	0,4%	0,5%	0,3%	0,2%	0,1%	0,0%	0,0%
Koparvír	0,2%	0,2%	0,3%	0,2%	0,1%	5,8%	0,1%
Plastefni	0,7%	2,3%	0,5%	0,7%	0,2%	0,0%	0,0%
Sprautusteypa	8,1%	4,4%	6,0%	5,4%	4,6%	0,7%	0,4%
Sprengiefni	0,9%	1,8%	0,3%	0,3%	0,8%	0,0%	59,4%
Stál	6,4%	7,8%	4,2%	4,4%	1,9%	0,5%	22,8%
Steypa	19,1%	10,5%	14,1%	12,7%	10,9%	1,6%	0,8%
Önnur byggingarefni	0,4%	0,8%	0,3%	0,3%	0,2%	2,7%	1,1%
Framleiðsla búnaðar (A 1-3)							
Hliðarbúnaður, framl.	0,7%	0,8%	0,5%	0,6%	0,2%	0,6%	0,3%
Krani - framl.	0,5%	0,5%	0,2%	0,3%	0,1%	0,5%	0,0%
Rafalar - framl.	4,9%	5,6%	4,5%	3,9%	1,9%	25,9%	0,0%
Spennar - framl.	2,2%	3,2%	1,5%	1,6%	0,6%	10,6%	5,5%
Stálbúnaður, framl.	2,9%	3,1%	1,1%	2,5%	0,7%	0,1%	1,9%
Strengir - framl.	0,7%	1,6%	0,5%	0,5%	0,3%	2,7%	0,2%
Túrbínur - framl.	2,2%	2,9%	2,2%	1,5%	0,9%	5,8%	0,0%
Flutningur á framkvæmdarstað (A 4)							
Flutningur byggingarefna	0,7%	0,4%	3,7%	2,3%	2,5%	0,0%	0,0%
Flutningur búnaðar	0,6%	1,2%	2,8%	1,8%	1,9%	0,0%	0,0%
Flutningur mannafla	0,3%	0,8%	0,3%	0,1%	0,4%	0,0%	0,0%
Framkvæmdir (A 5)							
Eldsneytisnotkun	18,0%	27,1%	33,1%	42,4%	44,4%	0,1%	0,0%
Raforkunotkun	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Úrgangur framkvæmdir	2,4%	0,2%	0,3%	1,4%	0,5%	0,0%	0,0%
Rekstur (B)							
Úrgangur rekstur	0,8%	0,1%	0,1%	0,4%	0,5%	0,0%	0,0%
Losun frá lónum	0,6%	0,0%	0,0%	0,2%	5,6%	0,0%	0,0%
Flutningur byggingarefna	0,0%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%
PP trefjar, Viðhald	0,1%	0,3%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Sprautusteypa, Viðhald	7,3%	4,0%	5,4%	4,8%	4,1%	0,6%	0,4%
Stál, Viðhald	0,5%	0,6%	0,3%	0,4%	0,1%	-0,1%	0,0%
Steypa, Viðhald	6,0%	3,3%	4,5%	4,0%	3,5%	0,5%	0,3%
Flutningar búnaðar	0,4%	0,5%	1,8%	1,2%	1,2%	0,0%	0,0%
Rafalar - framl.	4,9%	5,6%	4,5%	3,9%	1,9%	25,9%	0,0%
Spennar - framl.	2,2%	3,2%	1,5%	1,6%	0,6%	10,6%	5,5%
Strengir - framl.	0,7%	1,6%	0,5%	0,5%	0,3%	2,7%	0,2%
Túrbínur - framl.	2,2%	2,9%	2,2%	1,5%	0,9%	5,8%	0,0%
Eldsneytisnotkun	5,7%	8,4%	3,8%	2,6%	5,7%	0,0%	0,0%
Raforkunotkun	2,4%	2,1%	1,3%	1,2%	3,8%	1,9%	5,0%
Endurvinnsla (D)	-6,3%	-7,8%	-2,8%	-5,5%	-1,7%	-5,5%	-3,9%

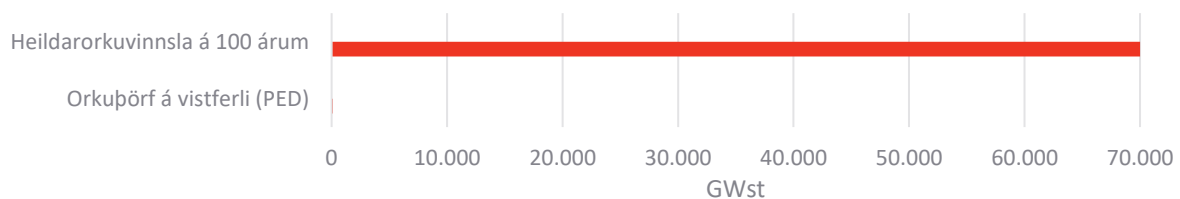
4.5 Orkubúskapur

Orkuþörf á líftíma (PED, Primary Energy Demand) er samanlögð orkuþörf Búrfellsstöðvar II á líftíma hennar, þ.e. vegna framleiðslu-, framkvæmda-, rekstrarfasa og endurvinnslu (A-D). Um er að ræða orkuþörf frá endurnýjanlegum og óendurnýjanlegum orkugjöfum, t.d. jarðefnaeldsneyti, vatnsorku, kjarnorku o.s.frv. Orkuþörf Búrfellsstöðvar á 100 ára líftíma er 107 GWst.

Heildarorkuvinnsla Búrfellsstöðvar II á 100 ára líftímanum er 70.000 GWst. Orkuarðsemi (e. *Harvest factor/EROI*) er hlutfall heildarorkuvinnslu og orkuþarfar á líftíma stöðvar, eða

$$\text{Orkuarðsemi} = \frac{\text{Heildarorkuvinnsla [kWst]}}{\text{Orkuþörf á líftíma [kWst]}}$$

Fyrir Búrfellsstöð II er orkuarðsemi 653, sem þýðir að virkjunin vinnur 653 sinnum meiri orku á líftíma sínum en notað var í framkvæmdir á stöðinni og rekstur hennar á tímabilinu. Til samanburðar þá er orkuarðsemi Búðarhálsstöðvar um 263 og liggur orkuarðsemi vatnsaflsstöðva á heimsvísu á birtum niðurstöðum á bilinu 6 – 280 eins og sjá má á mynd 17 [31]. Þessi mikla orkuarðsemi Búrfellsstöðvar II stafar að stórum hluta af því að virkjunin er í grunnin viðbótarvirkjun þar sem innviðir sem voru til staðar eru nýttir, eða aflaukning á þegar byggðu svæði, þar sem nýtni er háþyrð en framkvæmdir mun umfangsminni en við nýjar virkjanir.



MYND 17 Heildarorkuvinnsla og orkuþörf á 100 ára líftíma Búrfellsstöðvar II.

Endurgreiðslutími orku (e. *Energy payback time*) er sá tími sem líður áður en að hlutföllin verða 1:1 milli orkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar á líftíma.

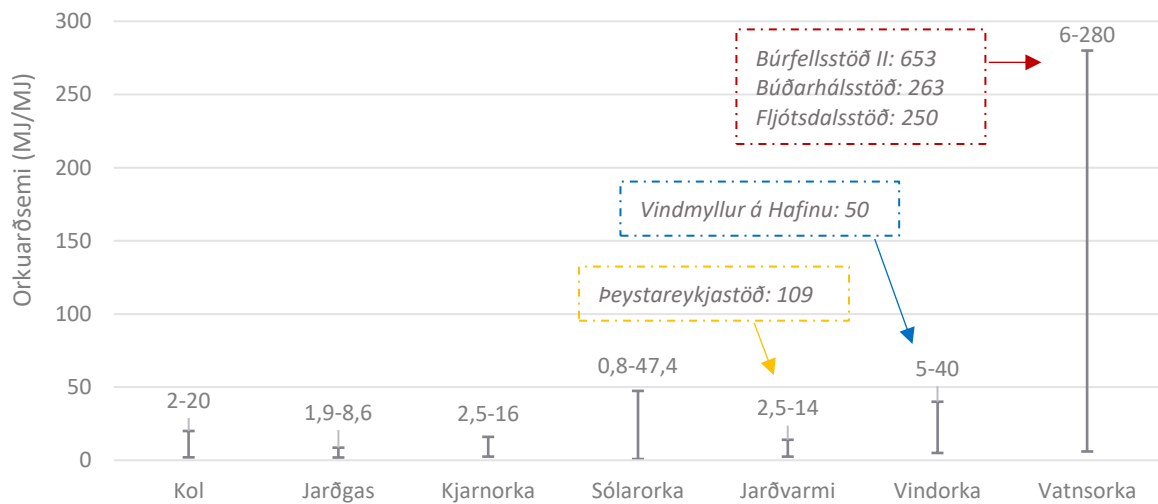
$$\text{Endurgreiðslutími orku [ár]} = \frac{\text{Orkuþörf á líftíma [kWst]}}{\text{Heildarorkuvinnsla [kWst]}} \times \text{líftími} = \frac{\text{líftími [ár]}}{\text{Orkuarðsemi}}$$

Endurgreiðslutími orku er í tilfalli Búrfellsstöðvar II um 1,8 mánuðir (0,15 ár), sem þýðir að eftir 1,8 mánuði í rekstri er aflstöðin búin að vinna jafnmikla orku og hún þarf yfir líftíma sinn. 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 [31]. Tafla 22 tekur saman helstu tölur varðandi orkubúskap Búrfellsstöðvar II.

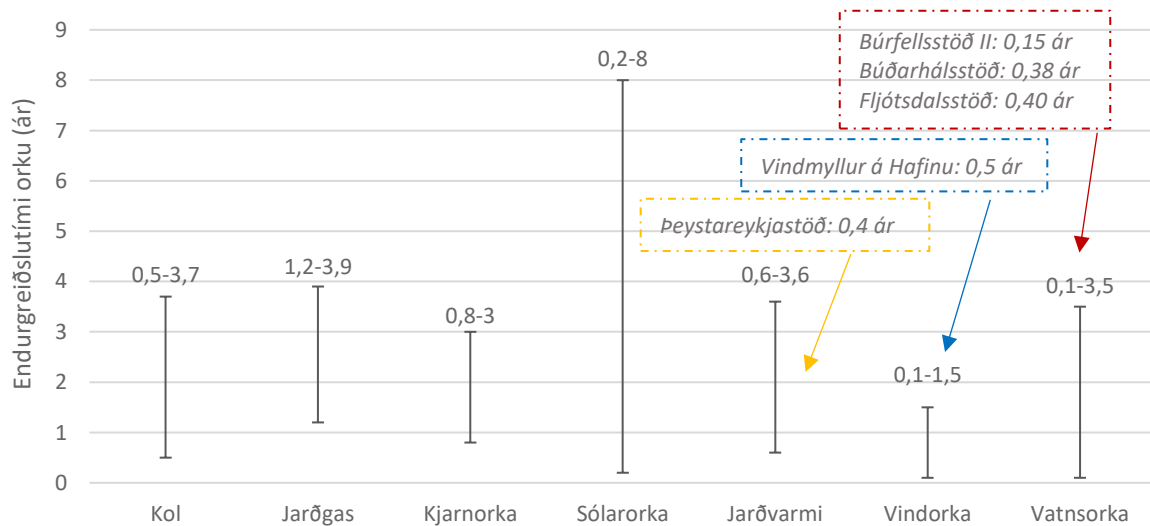
Mynd 18 tekur saman birtar niðurstöður varðandi orkuarðsemi fyrir mismunandi orkuvinnslu. Orkuarðsemi er hvað hæst fyrir vatns-, vind- og sólarorku og lægri fyrir kol, jarðgas, kjarnorku og jarðvarma. Hins vegar getur orkuarðsemi vatnsorku legið á mjög stóru bili, sem að Búrfell II liggur samt sem áður utan við. Mynd 19 tekur saman birtar niðurstöður fyrir endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa. Neðri mörk fyrir vatns- vind og sólarorku eru styttri en fyrir aðra orkugjafa. Búrfell II liggur í neðri mörkum fyrir vatnsorku.

TAFLA 22 Orkubúskapur Búrfellsstöðvar II á 100 ára líftíma.

Orkuþörf á líftíma	107	Gwst
Heildarorkuvinnsla á 100 árum	70.000	GWst
Orkuarðsemi	653	
Endurgreiðslutími orku	1,8	mánuðir
	0,15	ár



MYND 18 Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa [2, 3, 4, 5, 6, 31].



MYND 19 Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa [2, 3, 4, 5, 6, 31].

5 UMRÆÐUR

5.1 Gæði gagna

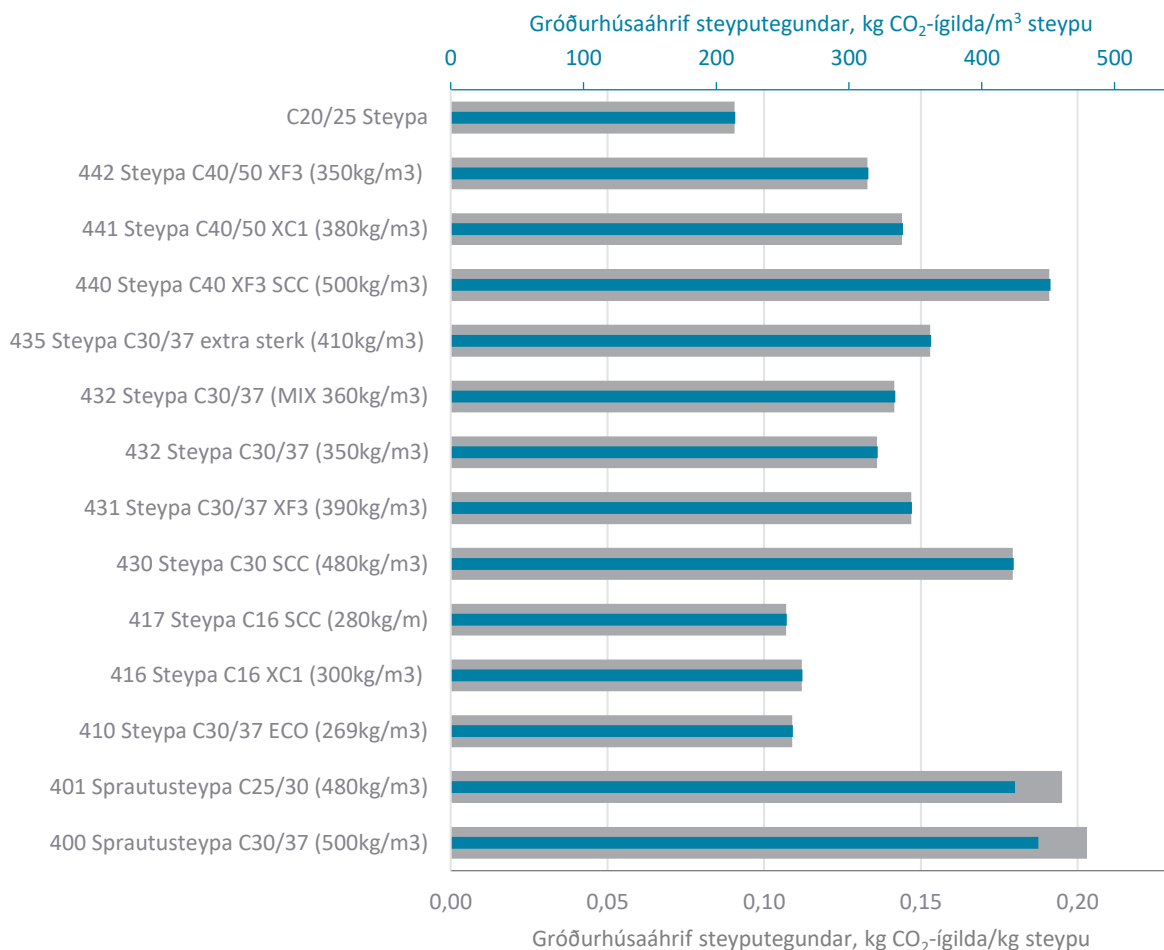
Gæði gagna sem safnað var og notuð voru við gerð vistferilsgreiningarinnar eru metin góð. Upplýsingar um framkvæmd og rekstur Búrfellsstöðvar II eru byggðar á upplýsingum frá verktökum, úr lokaskýrslum framkvæmda, skýrslu um steypugerð frá steypuframleiðanda, umhverfisýfirlýsingum fyrir sement og stál, upplýsingum frá framleiðendum vél- og rafbúnaðar auk framleiðendum vél- og rafbúnaðar fyrir aðrar vatnsaflsstöðvar ásamt rauntölum frá rekstri aflstöðva á Þjórsársvæðinu. Fyrir mat á losun frá Bjarnalóni liggja til grundvallar mælingar á magni kolefnis í lónstæði Sporðöldulóns frá Landbúnaðarháskólanum, mælingar á losun kolefnis úr jarðvegi lónstæðisins frá Háskóla Íslands og Landgræðslunni ásamt gróðurfarsúttekt á lónstæðum Bjarnalóns og Sporðöldulóns. Hægt væri að fá betri gögn fyrir mögulega losun úr lónstæðinu með mælingum og kjörnum úr Bjarnalóni auk þess að óvissa er um það hvernig losun er háttáð yfir lengra tímabil, með tilliti til þess að lónið var myndað hálfri öld fyrir gangsetningu stöðvarinnar. Mest er óvissan liggur í umfangi viðhalds á rekstartíma, áætlaðri þörf á endurnýjun búnaðar sem og í magni sem fer til endurvinnslu. Skilgreindur er 60 ára líftími á vél- og rafbúnað en búast má við að einhverjum einingum verður skipt út fyrr og eitthvað sem endist lengur.

5.2 Tækifæri til úrbóta

Í köflum 5.2.1 – 5.2.3 er fjallað um þá þætti sem ná má árangri í framkvæmdum og rekstri, þ.e. í hönnun og framleiðslu steypu, framleiðslu á stáli og í notkun eldsneytis. Samantekið má segja að ef gerðar hefðu verið ríkar umhverfiskröfur til steypu (k. 5.2.1.3) og til stáls (k. 5.2.2.3) við gerð Búrfellsstöðvar II þá hefði mátt lækka kolefnisspor stöðvarinnar úr 0,51 g CO₂-ígildi/kWst í um 0,49 g CO₂-ígildi, eða um alls 4%. Þetta samsvarar losun upp á 1.510 tonn CO₂-ígilda. Þá er ekki tekið tillit til mögulegs sparnaðar í eldsneytisnotkun á framkvæmdar- og rekstartíma, sem nemur alls 26% kolefnissporsins eða 0,13 g CO₂ ígilda/kWst.

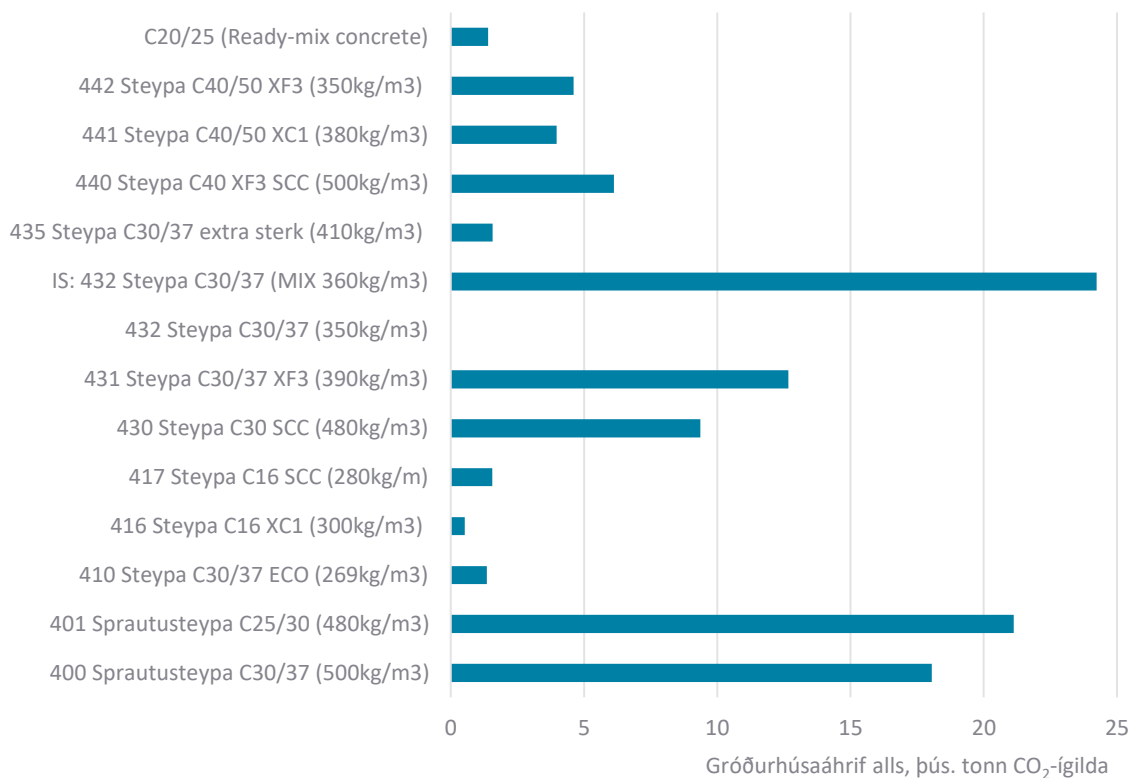
5.2.1 Vistvænni steypa

Umhverfisáhrif steypu má fyrst og fremst rekja til áhrifa frá sementsframleiðslu, sem er eingöngu lítill hluti steypublöndunnar eða yfirleitt milli 10 og 15% rúmmálsins. Umhverfisáhrif steypu sem notuð var í Búrfellsstöð II voru metin út frá mjög góðum upplýsingum frá framleiðendum, sjá kafla 3.1.2. Fyrir stöðina voru framleiddar sprautusteypur af styrkleika C25/30 (nr. 401) og C30/37 (nr. 400) ásamt steypugerðum af styrkleika frá C20 upp í C45 (nr. 410/420/431/432/435/441/442). Sjálfútleggjandi steypur voru blandaðar í styrkleikaflokkum C16 (blanda nr. 417), C20 (nr. 421), C30 (nr. 430/436/437) og C40 (nr. 440). Mynd 20 sýnir gróðurhúsaáhrif einstakra steyputegunda sem notaðar voru við byggingu Búrfellsstöðvar II á hvern rúmmetra og hvert kílógramm.



MYND 20 Gróðurhúsaáhrif ólíkra steyputegunda sem notaðar voru í Búrfellsstöð II, annars vegar í kg CO₂-ígilda á hvern m³ steyputegundar og hins vegar í kg CO₂-ígilda á hvert kg steypu. Fyrir hverja steyputegund er fyrst tekið fram nr. steypu hjá steypuframleiðanda [14], næst steypustyrkur (t.d. C30/37) og innan sviga er að finna sementsinnihald sementsblöndunnar. Tölulegar upplýsingar má finna í viðauka C.

Samkvæmt lokaskýrslu framkvæmda voru notaðir 25.800 m³ af steypu í heildina eða rúm 59.000 tonn. Mynd 21 sýnir gróðurhúsaáhrif steyputegundanna miðað við heildarmagn sem notað var af hverri tegund við framkvæmdir á stöðinni.



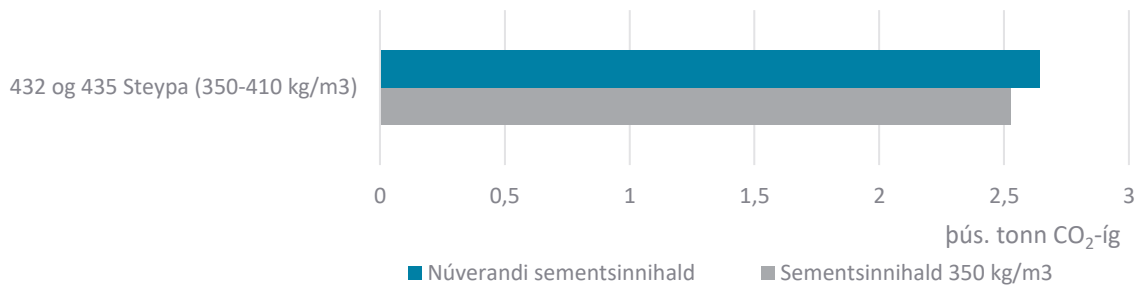
MYND 21 Gróðurhúsaáhrif steypu tegunda (alls kg CO₂-ígildi) sem notaðar eru í Búrfellsstöð II. Fyrir hverja steypu tegund er fyrst tekið fram nr. steypu hjá steypuframleiðanda [14], næst steypustyrkur (t.d. C30/37) og innan sviga er að finna sementsinnihald sementsblöndunnar. Tölulegar upplýsingar má finna í viðauka C.

Sjá má að steypa af styrkleika C30/37 er algengust í byggingarframkvæmdunum og eru nokkrar steypublöndur af þessum styrk (t.d. nr. 400, 410, 431, 432 og 435). Steypan er nýtt ýmist sem steinsteypa, sjálfútleggjandi steypa eða sprautusteypa, og getur innan sama steypustyrktarflokks verið mjög breytilegt magn sements, allt frá sementsmagni 269 kg/m³ í vistvænni steypu (nr. 410) yfir í 350 – 410 kg/m³ í blöndum nr. 432 og 435. Almennt getur þetta magn verið töluvert hærra, eða 450 kg/m³ eða hærra í einhverjum tilvikum.

5.2.1.1 Dregið úr sementsinnihaldi

Ein aðgerð til að draga úr gróðurhúsaáhrifum steypu, án þess þó að fórna gæðum hennar, er að draga úr sementsinnihaldi blöndunnar. Blöndur nr. 432 og 435 eru dæmi um steypur í styrkleikaflokki C30/37. Samsetningu og sementsmagns steypublöndu nr. 432 var breytt oft á meðan á framleiðslunni stóð, og er í líkaninu fyrir Búrfellsstöð II annars vegar notuð steypa nr. 432 með sementsinnihald 350 kg/m³ og hins vegar steypa nr. 432 (MIX) með vegið meðaltal sementsinnihalds um 360 kg/m³. Blanda nr. 435 hefur hins vegar hærra sementsinnihald eða um 410 kg/m³ af sementi.

Með því að lækka sementsinnihald í blöndum nr. 432 (360 kg/m³) og nr. 435 (410 kg/m³) niður í 350 kg/m³ má lækka gróðurhúsaáhrif styrkleikaflokks C30/37 um 2% eða um 0,5% af heildaráhrifum steypu. Mynd 22 sýnir áhrif blanda 432 og 435 fyrir og eftir þessa tilteknu breytingu.



MYND 22 Breyting á gróðurhúsaáhrifum miðað við breytingu á sementsinnihaldi steypublöndur nr 432 og 435. Áhrif steypublanda nr. 432 (360 kg/m³) og 435 (410 kg/m³) sameinast undir venjulegu blöndu 432 (350 kg/m³) og lækka um 2% í heildina.

5.2.1.2 ECO steypa

Aðkoma að neðanjarðarmannvirkinu við Búrfellsstöð II er um gagnmunna í Sámstaðaklifi og þaðan er steiptur veggur beggja megin við, sjá mynd 23. Í þetta mannvirki er notað um 526 m³ af vistvænni steypu („ECO-steypa“ nr. 410) í sama styrkleikaflokki og blöndur nr. 432 og 435, eða C30/37, en með sementsinnihald 269 kg/m³. Verið er að fylgjast með og sannreyna gæði þessarar steypu við Búrfellsstöð II og ef vel tekst til getur þessi blanda reynst vel í auknu magni í framtíðarsteypuframkvæmdum.



MYND 23 Aðkomugöng Búrfellsstöðvar II úr vistvænni steypu.

Ef 20% af steypublöndu nr. 432 (C30/37, 360 kg/m³) sem notuð voru í framkvæmd stöðvarinnar yrði skipt út fyrir ofangreindri ECO-steypu (nr. 410), myndu gróðurhúsaáhrif steypu minnka í heild um 1,2%, eða um 4,5 kg CO₂ ígilda á hvern steiptan rúmmetra. Þetta er þó háð þeim fyrirvara að umhverfissteypa af þessu tagi er yfirleitt ekki frostþolin og því ekki hentug alls staðar.

5.2.1.3 Ráðlagt sementsmagn

Tafla 23 sýnir ráðlagt lágmarkmagn sements samkvæmt lokaskýrslu steypuframkvæmda við Búrfellsstöð II [32] og það borið saman við það sementsmagn sem notað var í steypu í framkvæmdum [14]. Ekki eru settar fram ráðlagðar hönnunarkröfur um sementsmagn fyrir sjálfútleggjandi steypur eða sprautusteypur. Út frá þessum forsendum er metið mögulegt lágmarksinnihald sements og þar með magn gróðurhúsaáhrifa sem mætti draga úr, en gróðurhúsaáhrifin samanstanda að mestu af framleiðsluferli sements ásamt flutningum þess til Íslands. Þessir útreikningar eru þó settir fram með þeim fyrirvara að um er að ræða mögulegt lágmark miðað við hefðbundið fylliefni, en sementsmagn er verulega háð fylliefnum sem notuð eru.

TAFLA 23 Eiginleikar ólíkra steyputegunda og mögulegur sparnaður á gróðurhúsaáhrifum vegna steypu.

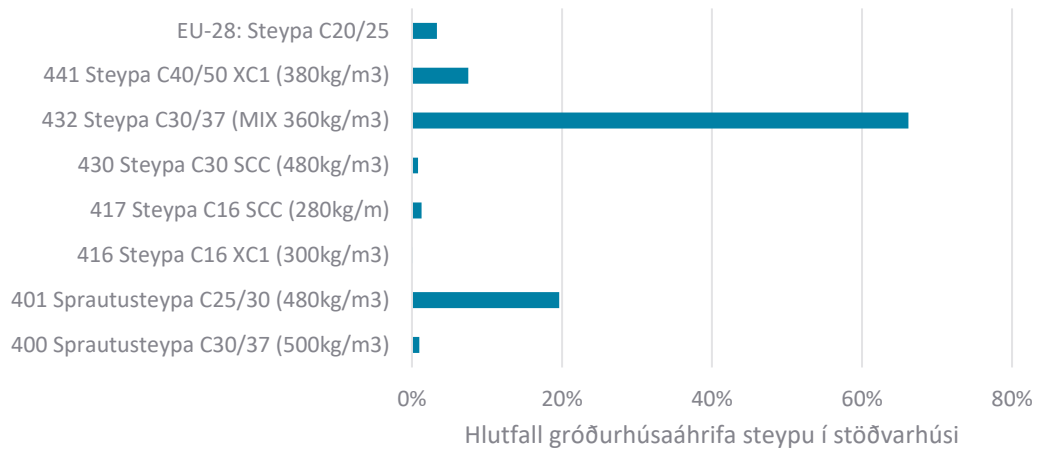
EIGINLEIKAR STEYPU	C16/20 XC1	C20/25 XC1	C30/37 XC1	C30/37 XC4+XF3	C30/37 XC1	C40/50 XF4+XD3 +XC4	C40/50 XC1
Steinefnastærð, Dmax (mm)	22	22	22	22	22	22	22
Sigmál (flokkur eða mm)	-	S3	S3	S3	SF1	S3	S3
Endingarstuðull, framleiðslupróf	-	-	-	≥ 70	-	≥ 70	-
Fjarlægðarstuðull (mm)	-	-	-	≤ 0,20	-	≤ 0,20	-
Hönnunarkröfur sements (kg/m ³)	-	300	320	320	350	375	375
Mögulegt lágmark – umhverfiskröfur	300	300-	330	330	360	375	375
Notað sementsmagn (kg/m ³)	300	300	350	390	-	380	380
Steypt magn (m ³)	200	555	7426	3645	-	1466	1167
Mögulegur sparnaður sements (tonn)	-	0	222	241	0	7	6
Möguleg minnkun gróðurhúsaáhrifa (tonn CO ₂ ígildi)	-	0	259	281	0	8	6

Alls má ætla, miðað við þessar forsendur, að væri ítrustu umhverfiskröfum mætt væri mögulegt að minnka gróðurhúsaáhrif um 554 tonn CO₂ ígilda, eða 0,008 g CO₂ ígilda /kWst framleitt rafmagn. Þetta lækkar heildaráhrif á orkueiningu sem framleidd er ístöðinni úr 0,511g CO₂ ígilda /kWst í 0,503 g CO₂ ígilda /kWst.

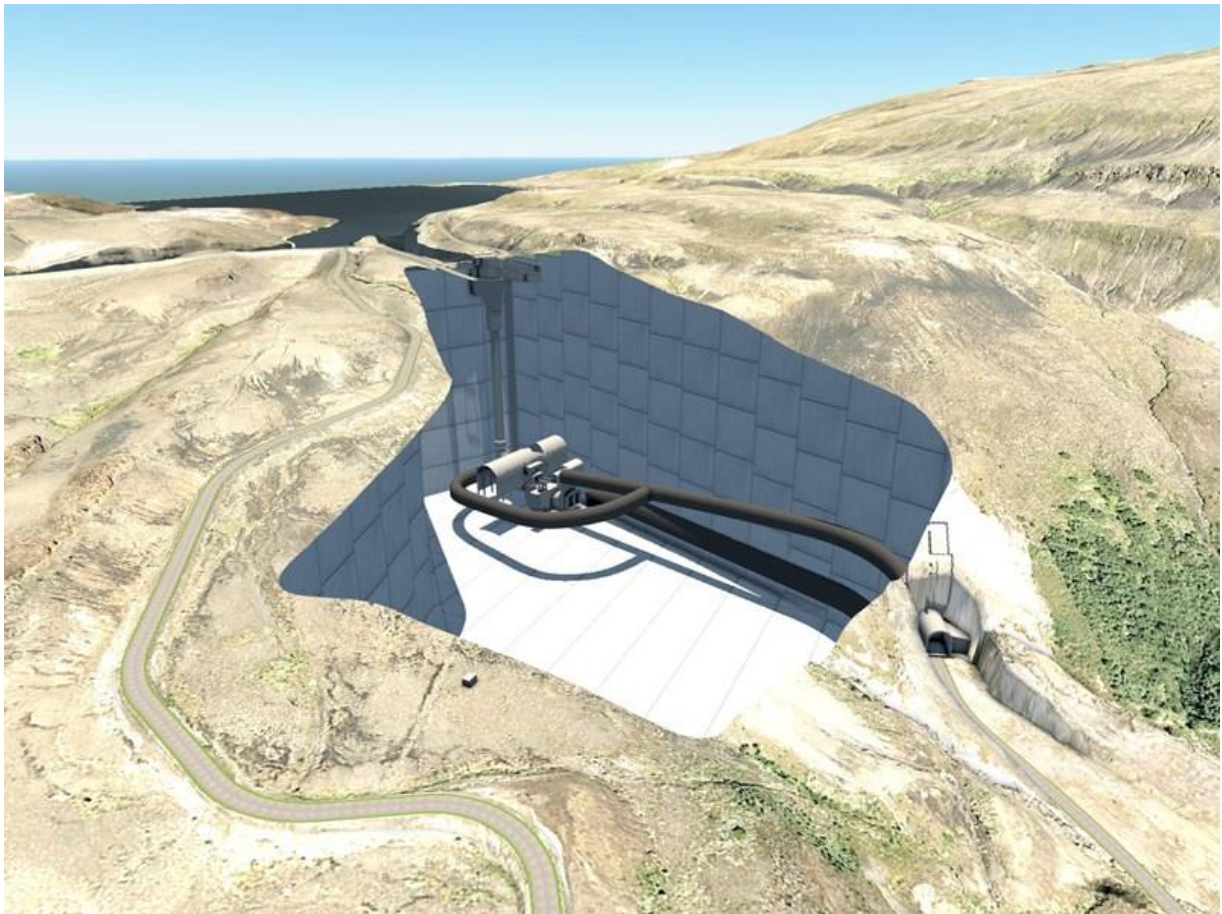
5.2.1.4 Stöðvarhús

Steypa og sprautusteypa telja um 75% af gróðurhúsaáhrifum framkvæmda við stöðvarhús ef áhrif eldsneytisnotkunar við framkvæmdir eru ekki tekin með. Átta gerðir af steypu eru notaðar við framkvæmdir hússins, mest af blöndu nr. 432. Mynd 24 sýnir hlutfall gróðurhúsaáhrifa steypu í stöðvarhúsinu eftir tegund og heildarmagni sem voru notaðar.

Þegar hefur verið fjallað um áhrif þess að minnka sementsinnihald steypublöndu nr. 432, en spurning er hversu mikið megi minnka sementsinnihald steypuflokka sem blandaðir eru til sérstakra nota, sérstaklega í stöðvarhúsi sem byggt er að mestu neðanjarðar. Með notkun á vistvænni steypu (ECO nr. 410) í stað 20% af blöndu nr. 432 í mannvirkinu lækka gróðurhúsaáhrif steypuframkvæmda stöðvarhússins um 2%, en þetta er háð fyrirvara um frostþol vistvænu steypunnar. Mynd 25 sýnir teikningu af hvernig stöðvarhúsið var byggt. Allar steypuaðgerðir sem tilheyra stöðvarhúsi eru neðanjarðar svo áhrif af veðrun eru lágmarkuð, en mikilvægt er að burðarvirki haldi.



MYND 24 Hlutfall gróðurhúsaáhrifa steypu í stöðvarhúsi Búrfellsstöðvar II , eftir tegund og heildarmagni. Fyrir hverja steypu tegund er fyrst tekið fram nr. steypu hjá steypuframleiðanda [14], næst steypustyrkur (t.d. C30/37) og innan sviga er að finna sementsinnihald sementsblöndunnar.



MYND 25 Teikning af stöðvarhúsi Búrfellsstöðvar II. Mynd: Landsvirkjun [10]

5.2.2 Umhverfisvænna stál

Umhverfisáhrif stáls liggja að mestu í framleiðsluferlinu, þ.e. í öflun og vinnslu hráefna sem þarf til framleiðslunnar, t.d. járngrýtis, kola/koks og annarra efna, og svo í sjálfri stálframleiðslunni. Í framleiðsluferlinu eru tvær aðferðir ráðandi í heiminum í dag, annarsvegar notkun háofna (e. blast furnace) og hinsvegar ljósbogaofna (e. electric arc furnace). Um það bil 70% alls stáls sem framleitt er í heiminum í dag er framleitt með fyrrnefndri aðferð [33], en hún nota járn, kol og kalkstein og er bæði orkufrek og veitir lítið svigrúm til notkunar endurunninna hráefna. Umhverfisáhrif stáls sem framleitt er í háofni er því öllu jafna meiri en umhverfisáhrif stáls sem framleitt er í ljósbogaofni, auk þess sem að framleiðslan er í báðum tilfellum háð þeim orkugjafa sem nýttur er til framleiðslunnar. Ef stálið er t.d. framleitt með háofni þar sem kolaorka er nýtt til framleiðslunnar, má gera ráð fyrir að gróðurhúsaáhrifin séu meiri.

Ljósbogaofninn notar minni orku til framleiðslunnar og með þeirri aðferð má nota allt að 100% endurrunnið stál. Ekki er enn hægt að framleiða öll flóknari eða sértækari stálblendi með ljósbogaofni, en framleiðslutækninni fleygir þó ört fram hvað þetta varðar. Spár gera ráð fyrir að framboð af endurunnu stáli muni halda áfram að aukast næstu áratugi, og ætti því að vera hægt að anna eftirspurn eftir kolefnislágu og endurunnu stáli af miklum gæðum [34]. Einnig er stöðugt verið að þróa framleiðslutækni á stáli auk kolefnisföngunar (e. carbon capture, utilization and storage, CCUS) og eru uppi framtíðaráætlanir um kolefnishlutlaust stál (e. zero carbon steel). Af framangreindu má vera ljóst að í dag getur verið mikill munur á kolefnisspori stáls af sömu tegund og sambærilegum gæðum, eftir því hvar varan er framleidd og með hvaða aðferð.

Samtals eru um 1.740 tonn af stáli notuð í byggingu aflstöðvarinnar fyrir utan stálið sem notað er til framleiðslu á vélbúnaði, lokum, fallpípum og hliðarbúnaði, en um 1.360 tonn af stáli eru notuð í allan þennan búnað. Samtals eru gróðurhúsaáhrif framleiðslu stáls sem notað er í byggingu Búrfellsstöðvar II um 6,4% auk þess að stál notað í viðhald á rekstartíma stöðvarinnar er um 0,5%. Hér á eftir verður fjallað nánar um fáeina stálflokka sem að möguleiki er á að hafa áhrif á, t.d. með innkaupakröfum. Annars vegar bergfestingar, sem að hluta til eru framleiddar í Asíu, hins vegar steypustyrktarstál, sem er meirihluti þess stáls sem notað er og kemur að mestu frá Póllandi. Ekki verður fjallað nánar um stál í vélbúnaði, lokum, fallpípum og hliðarbúnaði, eða um sértækt stál á borð við stálvíra og stáltrefjar. Flóknara er að hafa bein áhrif á umhverfisáhrif þessara vara, þó að kaupandi geti engu að síður gert kröfu til sinna birgja að leita alltaf leiða að afhenda vöru með sem lægstu kolefnisspori. Tafla 24 sýnir stál sem notað er í byggingu aflstöðvarinnar og viðhaldi hennar, ásamt gróðurhúsaáhrifum við framleiðslu þess og framleiðslulandi.

TAFLA 24 Gróðurhúsaáhrif stálflokka í stöðvarhúsi Búrfellsstöðvar II og uppruni þeirra.

	MAGN (tonn)	KOLEFNISSPOR (g CO ₂ íg/kWst)	HLUTFALL	
Stál	1.740		6,4%	
- Steypustyrktarstál	1.335	2,0 E-02	3,8%	
ÍST NS 3576-3 B500 NC	1.284		ArcelorMittal	POL
B500NC/C500C	38		SBN Runowo	POL
BS 8597	2		Ancon	UK
Stálvír	11		Van Merksteijn	NED
- Bergboltar	183	6,2 E-03	1,2%	
Bergboltar (NOR)	124		Vik Ørsta	NOR
Bergboltar (CHN)	59		Pretec AS	CHN
- Galvaníserað stál	133	3,8 E-03	0,7%	
Bergfestingar (NOR)	3		Vik Ørsta	NOR
Bergfestingar (CHN)	2		Pretec AS	CHN
Stálskápar	7		ABB	SUI
Annað	120			GER,NED, SWE
- Ryðfrítt stál	7	2,9 E-04	0,1%	
- Stáltrefjar	75	2,5 E-03	Bekaert	BLG
Stál Viðhald	105		0,5%	
- Steypustyrktarstál	33	4,77 E-04		POL
- Stáltrefjar	72	2,27 E-03	Bekaert	BLG
Samtals	1845		6,9%	

5.2.2.1 Bergfestingar

Bergfestingar eru bergboltar auk tengdra galvaníseraða hluta svo sem skífur, akkerisstangir og stálbönd. Í Búrfellsstöð II voru notaðir alls 10.615 bergboltar undir átta verksamningum. Alls eru 64% boltanna framleiddir af Vik Ørsta AS í Noregi undir fimm verkhlutum og 34% boltanna framleiddir af Pretec AS í Kína undir þremur samningum. Tafla 25 dregur saman notkun á bergfestingum við byggingu Búrfellsstöðvar II.

TAFLA 25 Samantekt notkunar á bergfestingum og á uppruna þeirra.

	KÍNA		NOREGUR		SAMTALS	
	Fjöldi	Tonn	Fjöldi	Tonn	Fjöldi	Tonn
Bergboltar	3.641	59	5.686	124	8.967	183
Akkerisstangir	619	1	1.030	1,6	1.649	2,6
Stálbönd		0,7		1,3		2
Skífur	42	0,3	24	0,2	66	0,5

Kolefnisspor meðalframleiðslu stáls af þessu tagi er ekki ósvipuð frá Evrópu og frá Asíu samkvæmt gögnum frá heimssamtökum stálframleiðenda (Worldsteel), eða annars vegar um 2,3 og hins vegar 2,44 kg CO₂-ígildi á framleitt kg. Samkvæmt umhverfisyfirlýsingu fyrir CT bergbolta frá Vik Ørsta eru gróðurhúsaáhrif framleiðslu á slíkum bolta mun lægri hjá þeim en meðaltalið í Evrópu, eða um 1,2 kg CO₂-ígildi/kg framleitt [35]. Einnig er mikill munur í flutningum á efninu annars vegar um 1.600 km sjóferð frá Vik Ørsta í Noregi og hins vegar um 21.500 km sjóferð frá Pretec AS í Kína. Kolefnisspor flutnings er um 0,72 kg CO₂-ígildi/kg flutt lengri leiðina og 0,09 kg CO₂-ígildi/kg flutt styttri leiðina. Mismunurinn á bergbolta framleiddum í Noregi annars vegar og Kína hins vegar er þá um 0,5 kg CO₂ ígildi/kg af bergboltum ef tekið er mið af Evrópumeðaltali framleiðslu, en allt að 1,1 kg CO₂-ígildi/kg ef tekið er mið af umhverfisyfirlýsingu Vik Ørsta. Þannig hefði mátt lækka kolefnisspor framkvæmda við stöðina um 29 tonn CO₂ ígildi ef allir bergboltar væru framleiddir í og fluttir frá meðalríki í Evrópu og allt að 200 tonn CO₂-ígildi ef allir væru framleiddir hjá Vik Ørsta í Noregi.

5.2.2.2 Steypustyrktarstál

Mikill breytileiki er í umhverfisáhrifum á framleiðslu steypustyrktarstáls og geta gróðurhúsaáhrif verið á bilinu 500 kg CO₂ ígildi á tonn framleitt og 2.600 kg CO₂ ígildi á tonn. Þessi mikla dreifing verður til vegna mismunandi framleiðsluaðferða og mismunandi orku sem er notuð í framleiðsluna.

Um 76% af öllu stáli sem notað er við byggingu Búrfellsstöðvar II er stál frá Póllandi, annars vegar frá framleiðslu ArcelorMittal og hins vegar SNB Runowo. Tafla 26 sýnir umhverfisáhrif af einu tonni af stáli framleitt hjá ArcelorMittal, skv. útgefni umhverfisyfirlýsingu [36]. Stálið frá ArcelorMittal hefur gróðurhúsaáhrif upp á 1.230 kg CO₂ ígilda á tonn. Við byggingu Búðarhálsstöðvar [4] var mikið notað af stáli frá Hvíta-Rússlandi sem hafði lægra kolefnisspor eða um 655 kg CO₂ ígildi á framleitt tonn [37], sem er rúmur helmingur af gróðurhúsaáhrifum af stáli frá ArcelorMittal. Ef allt stál frá ArcelorMittal hefði haft sambærilegt kolefnisspor og stálið frá Hvíta-Rússlandi, hefði framkvæmd og viðhald Búrfellsstöðvar II lækkað um 760 tonn af CO₂ ígildum, um 11 mg á hverja framleidda kWst eða um 2% af heildaráhrifum stöðvarinnar.

TAFLA 26 Umhverfisáhrif af stálframleiðslu ArcelorMittal [36].

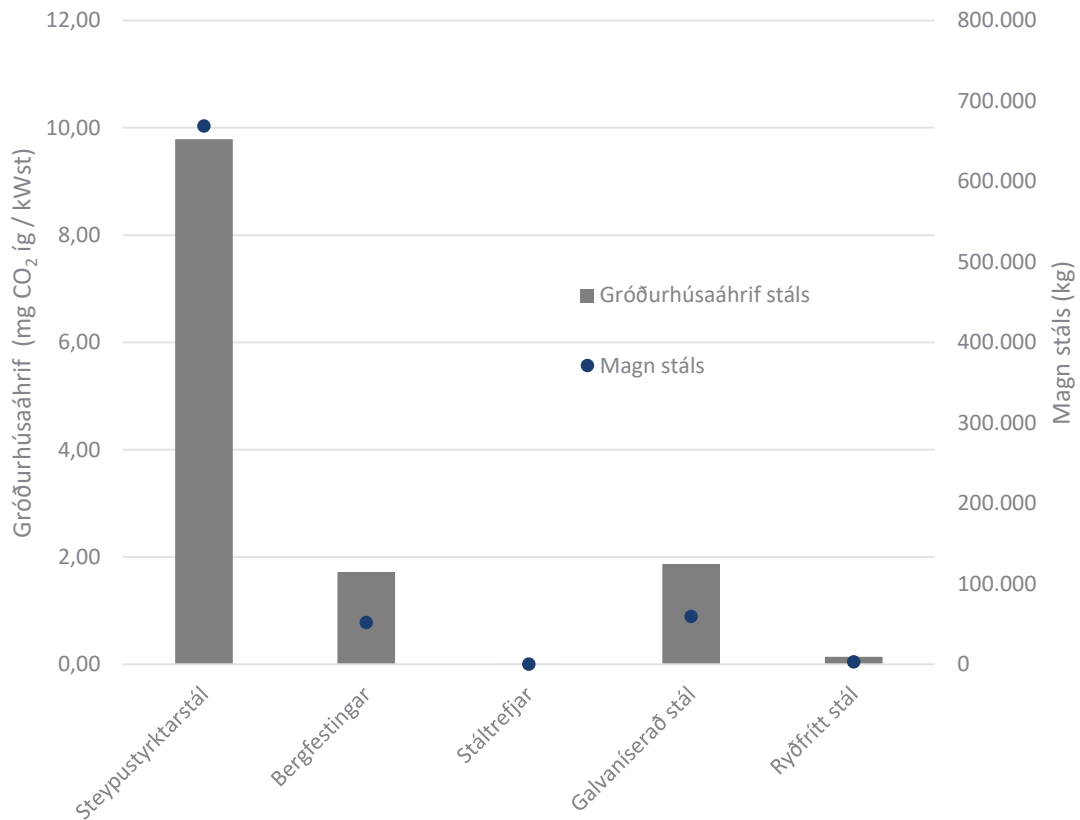
UMHVERFISÁHRIF	EINING (Á TONN STÁLI)	A1-A3
Gróðurhúsaáhrif	[kg CO ₂ -Eq.]	1.230
Eyðing ósonlagsins	[kg CFC11-Eq.]	2,E-08
Súrnunaráhrif	[kg SO ₂ -Eq.]	8,43
Næringarefnaauðgun	[kg (PO ₄) ³⁻ -Eq.]	0,42
Myndun ósons við yfirborðið	[kg ethene-Eq.]	0,57
Eyðing ólífrænna auðlinda	[kg Sb-Eq.]	0,00
Eyðing jarðefnaeldsneytis	[MJ]	1.230

5.2.2.3 Heildaráhrif stálflokka

Ef lágmarkun kolefnisspors hefði verið haft að leiðarljósi í vali á bergboltum (kafli 5.2.2.1) og í vali á steypustyrktarstáli (kafli 5.2.2.2), þá hefði mátt lækka gróðurhúsaáhrif stöðvarinnar um 960 tonn CO₂ ígilda eða 0,014 g CO₂-ígildi á hverja framleidda kWst, og lækkað þá heildargróðurhúsaáhrif framleiddrar orkueiningu úr 0,510 g CO₂-ígildi/kWst í 0,497 g CO₂-ígildi/kWst eða um 2%.

5.2.2.4 Stöðvarhús

Stærstur hluti þess stáls sem notað er í framkvæmdir við mannvirki (k. 3.1.2) er notað í stöðvarhúsið og því gagnlegt að sjá muninn á gróðurhúsaáhrifum þeirra tegunda sem notaðar eru þar. Mynd 26 sýnir gróðurhúsaáhrif ólíkra tegunda stáls sem notaðar eru í stöðvarhúsi.

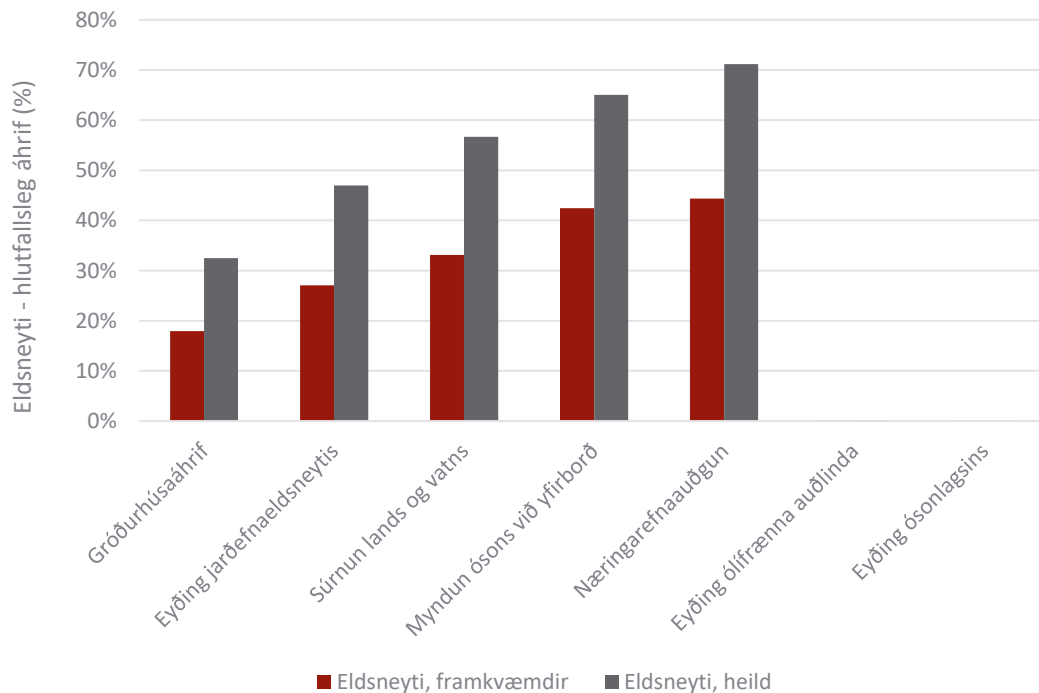


MYND 26 Magn stáltegunda og gróðurhúsaáhrif þeirra í stöðvarhúsi.

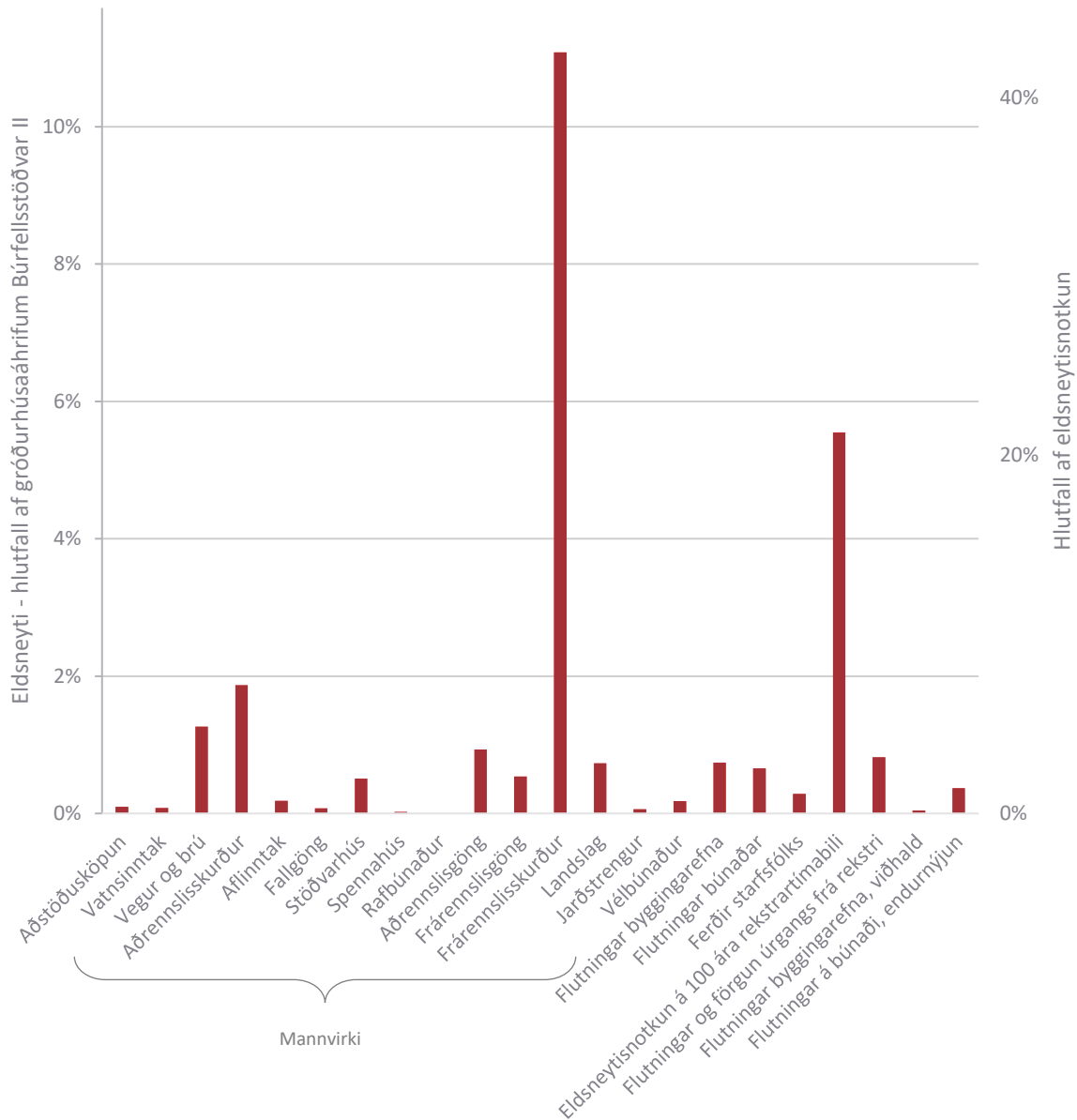
Í Búrfellsstöð II kemur stál víðsvegar að. Af þeim 669 tonnum af steypustyrktarstáli sem notað er í stöðvarhúsið, koma 662 tonn frá ArcelorMittal í Póllandi. Auk þess er notað í stöðvarhúsinu 51 tonn af bergboltum frá Vik Ørsta í Noregi. Gróðurhúsaáhrif af þessum tveimur uppsprettum stáls samsvarar alls um 876 tonn CO₂-ígilda samkvæmt umhverfisýfirlýsingum [35, 36]. Auk þess eru 34 tonn af galvaniseruðum stálplötum sem koma frá Svíþjóð, 26 tonn af öðru galvaniseruðu stáli frá Þýskalandi og 7 tonn af steypustyrktarstáli frá Hollandi og Bretlandi. Stáltrefjar frá Belgíu eru aðeins 200 kg og ryðfrítt stál er annars vegar 1,8 tonn frá Danmörku og 1,3 tonn frá GA smíðajárn. Með því að greina hvar stærstu uppsprettur stáls eru í mannvirkjum aflstöðvar er hægt að sjá hvar hægt er að ná fram mestum ávinningi, t.d. með auknum innkaupakröfum um vistvæna eiginleika stáls.

5.2.3 Takmörkun á eldsneytisnotkun

Eldsneytisnotkun er áberandi áhrifavaldur í mörgum umhverfisflokkum, ekki síst gróðurhúsaáhrifum og súrnun, þar sem heildaráhrif framleiðslu og bruna eldsneytis er 26% og 46% hvort um sig, á bæði framkvæmdar- og rekstrarstigi. Mynd 27 sýnir þessi áhrif hlutfallslega fyrir umhverfisáhrifaflokkana sjö annars vegar sem eldsneytisnotkun í heild og hins vegar hlutdeild þess eldsneytisnotkunar sem á sér stað á framkvæmdarfasa eingöngu. Mynd 28 sýnir hlutfall notkunar eldsneytis eftir verkþáttum, annars vegar af heildargróðurhúsaáhrifum vistferils stöðvarinnar og hins vegar hlutfall af heildargróðurhúsaáhrifum eldsneytisnotkunar.



MYND 27 Hlutfallsleg umhverfisáhrif framleiðslu og bruna eldsneytis sem heild og sem hlutdeild framkvæmdarfasa.



MYND 28 Eldsneytisnotkun og gróðurhúsaáhrif hennar skipt upp eftir verkþáttum.

Alls eru framkvæmdir við mannvirki um 67% af heildarnotkun eldsneytis, þar af mest 43% í frárennslisskurðinn. Eldsneytisnotkun fer að miklu leyti eftir umfangi á uppgreftri jarðefna og því er eðlilegt að gróftur fyrir 2,2 km langan skurð vegi þyngst. Eldsneyti á rekstrartímabili vegur um 21% af heildaráhrifum eldsneytisnotkunar og um 6% af heildargróðurhúsaáhrifum stöðvarinnar.

Fyrirséð er að framtíðarvinnuvélar og -farartæki verða knúin öðrum orkugjöfum en jarðefnaeldsneyti. Með tilliti til fyrirhugaðra orkuskipta er umfjöllun um eldsneytisnotkun við uppbyggingu Búrfellsstöðvar II skipt í þrennt:

- Vinnuvélar sem sinna framkvæmdum
- Ferðir starfsfólks
- Flutningar byggingarefna og vélbúnaðar

5.2.3.1 Vinnuvélar

Því stærri sem vinnuvélar verða og eftir því sem álagið á þeim er meira, því erfiðara verður að rafvæða þær. Rafvæðing þessara véla mun eiga sér stað, en þar sem orkuþörfin er gríðarleg er fyrirsjáanlegt að þróunin verður hæg á næstu árum. Einnig er þörf á að setja upp færanlegar hleðslustöðvar á verkstað fyrir vélarnar. Þó eru einhverjar vísbendingar um að þetta muni taka breytingum á næstunni og það er eðlilegt að Landsvirkjun hafi þetta í huga þegar leitast er við kaup á vinnuvélum eins og lyfturum og traktorum á næstu árum. Þetta á sérstaklega við um námuvinnslu þar sem rafvæðing eykur auk þess öryggi starfsmanna til muna þegar unnið er með vélar á lokuðum svæðum.

Nú þegar er hafin vinna við að fasa út notkun á díselvélum þegar kemur að námuvinnslu og líklegt þykir að fjárfestar í nýjum námum sem og stjórnvöld munu koma á banni á dísilknúnum vélum við námuvinnslu, sbr. fyrstu al-rafvæddu námuvinnsluna í Ástralíu sem fyrirhuguð er fyrir árið 2023 [38]. Dæmi um tæki sem hafa verið kynnt til sögunnar er námuvél Epiroc Mining, Minetruck MT42, og efnisflutningabíll Kuhn Schweiz AG. Sá fyrrnefndi hefur 5 tonna rafhlöðupakka sem býður upp á skiptingu og hleðslu utan tækisins, sem gæti verið nauðsynlegt fyrir slík tæki og sá síðarnefndi getur haldið 111 tonnum og hefur 600 kWst rafhlöðu [39, 40]. Annað dæmi er nýlegt sýniverkefni á vegum Ballard og Anglo American Platinum, þar sem „ultra-class“ þungnámuvél er umbreytt til að taka 9 FCveloCity-hd 100 kW efnarafala [41].

Mikilvægi hleðslustöðva er gríðarlegt þegar kemur að útfærslu rafvæðingar við framkvæmdir og má því nefna þróun ABB á 2 MW hleðslustöð sem er varin fyrir rykmyndun sem getur átt sér stað neðanjarðar [42]. Að lokum má nefna að hraði á hleðslu er alltaf að aukast með betri hleðslustöðvum.

5.2.3.2 Ferðir starfsfólks

Farartæki starfsmanna er sá einstaki þáttur sem einna auðveldast er að ráðast í orkuskipti á af hálfu Landsvirkjunar, en jafnframt sá þáttur sem vegur minnst hér af heildaráhrifum eldsneytisnotkunar á framkvæmdartímabili stöðvarinnar. Ferðir starfsmanna á framkvæmdartíma vega hæst í áhrifaflokknum eyðingu jarðefnaeldsneytis, eða um 0,8% og vegur þar flug starfsmanna hlutfallslega mest.

Sem dæmi um orkuskipti í ferðum starfsmanna má nefna ferðir á milli Reykjavíkur og Búrfells á framkvæmdartímabili stöðvarinnar. Ferðin frá Reykjavík til Búrfells og til baka er alls 250 km og til eru í dag bæði fólksbílar og rútur sem ganga fyrir rafmagni sem ná þessari drægni. Ef litið er til stærri farartækja s.s. strætisvagna með rafhlöður er drægni þeirra um 250-300 km í dag, sem svipar til vegalengdar til Búrfells og til baka, og fer drægni þeirra hækkandi. Þannig væri hægt að nýta rafrútur í dag ef unnt væri að hlaða þær við þjórsvæðið. Sala á rafmagnsdrifnum rútum náði yfir 10% rúta árið 2019 á heimsvísu og búist er við að talan muni ná 20% árið 2020 [43]. Einnig kæmi til greina að skoða rútur með efnarafölum, líkt og á við um þungaflutningabíla í næsta kafla, en í slíkum rútum er drægni almennt um 300-450 km og nota þær um 8-9 kg af vetni á 100 km [44].

5.2.3.3 Flutningar byggingarefna og vélbúnaðar

Hægt er að skipta umfjöllun um flutning byggingarefna og vélbúnaðar í tvennt, annars vegar landflutninga og hins vegar sjóflutninga. Hvað landflutninga varðar er hægt að horfa til framleiðslu þungaflutningabíla (Class 8 flutningabíla), annars vegar rafhlöðudrífna rafmagnsbíla og hins vegar vetnisdrífna rafmagnsbíla. Einnig er hægt að horfa til vökvagerðs metans, þar sem drægni er einnig há. Mikil þróun hefur verið á þessum bílum af þessu tagi og búist er við að fyrstu bílar komi á markað 2021. Fyrstu rafhlöðubílar eiga að koma á götur Bandaríkjanna árið 2021 með áætlaða drægni allt að 500-800 km. Dæmi um stóran flutningabíl gerðan fyrir vegaaðstæður í Evrópu, Asíu og Ástralíu er Nikola Tre, með drægni allt að 1.200 km, en hann kemur fyrst sem rafhlöðubíll í samstarfi við Iveco árið 2023 og síðar sem vetnisdrifinn bíll [45]. Á næstu árum er því hægt að horfa til þess að kaupa flutningaþjónustu af aðilum sem bjóða upp á kolefnishlutlausu þungaflutninga og vert er að fylgjast með þróuninni á næstu árum.

Hvað sjóflutninga varðar er mikil þróun í skipavélum og hreinsibúnaði, en stærsta skrefið sem tekið hefur verið frá framkvæmdartíma Búrfellsstöðvar II er IMO 2020 löggjöfin þar sem hámark brennisteinsmagns sem má nota í olíu í skip án hreinsibúnaðar breyttist úr 3,5% í 0,5% auk þess sem mörg lönd innan Evrópu hafa sett enn strangari kröfur innan sinnar landhelgi [46]. Þessi aðgerð dregur úr umhverfisáhrifum sjóflutninga, þá sérstaklega í umhverfisáhrifaflokki súrnunar, þar sem brennisteinn hefur mikil áhrif. Einnig er mikil þróun í skipavélum fyrir annars konar eldsneyti en hefðbundið jarðefnaeldsneyti, og beinast t.d. rannsóknir fyrirtækisins Maersk að þremur eldsneytistegundum; lífmetani, alkóhól og ammóníak.

Nú þegar eru til á markaði skip sem nota vökvagert metan sem myndað hefur verið úr jarðgasi, en það má einnig mynda með t.d. gasgerð á úrgangi eða rafgreindu vetni og fönguðum koltvísýring. Í dag eru einnig í umferð skip sem búin eru vélum fyrir metanól. Við bruna á metani og metanóli verður til koltvísýringur, svo skoða þarf hvert framleiðsluferli eldsneytisins er þegar umhverfisáhrif yfir vistferilinn eru metin. Þriðji valkosturinn, ammóníak, losar hins vegar engan koltvísýring við bruna og framleiðslu ef það er framleitt úr rafgreindu vetni og köfnunarefni úr andrúmslofti. Stærstu vélaframleiðendur heims eru að prufukeyra vélar sem brenna ammóníak og búast við að geta komið þeim á markað á árunum 2021-2023 [47].

5.3 Aflaukning

Í greiningunni er miðað við að árleg orkuvinnsla Búrfellsstöðvar II sé 700 GWst allan líftíma stöðvarinnar. Möguleiki er þó til staðar að auka uppsett afl stöðvarinnar úr 100 MW í 140 MW með nýrri vél miðað við hönnunina á stöðinni. Þar sem umhverfisáhrif eru hér metin fyrir aðgerðareininguna 1 kWst sem framleidd er getur aflaukning haft mikið að segja um hvernig umhverfisáhrif eru á framleidda orkueiningu yfir vistferilinn. Ef nýta má innviði án mikilla viðbótarframkvæmda sýnir þessi vistferilsgreining að aflaukning er umhverfislega ákjósanleg. Mikilvægt er að meta hvaða framkvæmdir þarf að fara í til þess að þessi aflaukning geti átt sér stað. Að minnsta kosti er hér um að ræða aukalegan vélbúnað sem mun hafa í för með sér aukin umhverfisáhrif. Líklegt er þó að heildarumhverfisáhrif við hverja framleidda kWst minnki eitthvað við slíka aflaukningu.

5.4 Kolefnisspor vatnsafls

Tafla 27 sýnir kolefnisspor vistferils Búrfellsstöðvar II borið saman við aðrar virkjanir á Íslandi og á Norðurlöndunum.

TAFLA 27 Kolefnisspor vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum og samanburður við Búrfellsstöð II.

	Kolefnisspor, g CO ₂ /kWst
Búrfellsstöð II	0,5
Búrfellsstöð II sem aukning við Búrfellsstöð I	1,2
Búðarhálsstöð	1,5
Fljótsdalsstöð	1,2
Vattenfall, Svíþjóð*	8,6
Statkraft, Noregi	2,7
Agder Energy AS, Noregi	2,8

* Meðaltal 14 vatnsaflsvirkjana í eigu Vattenfall

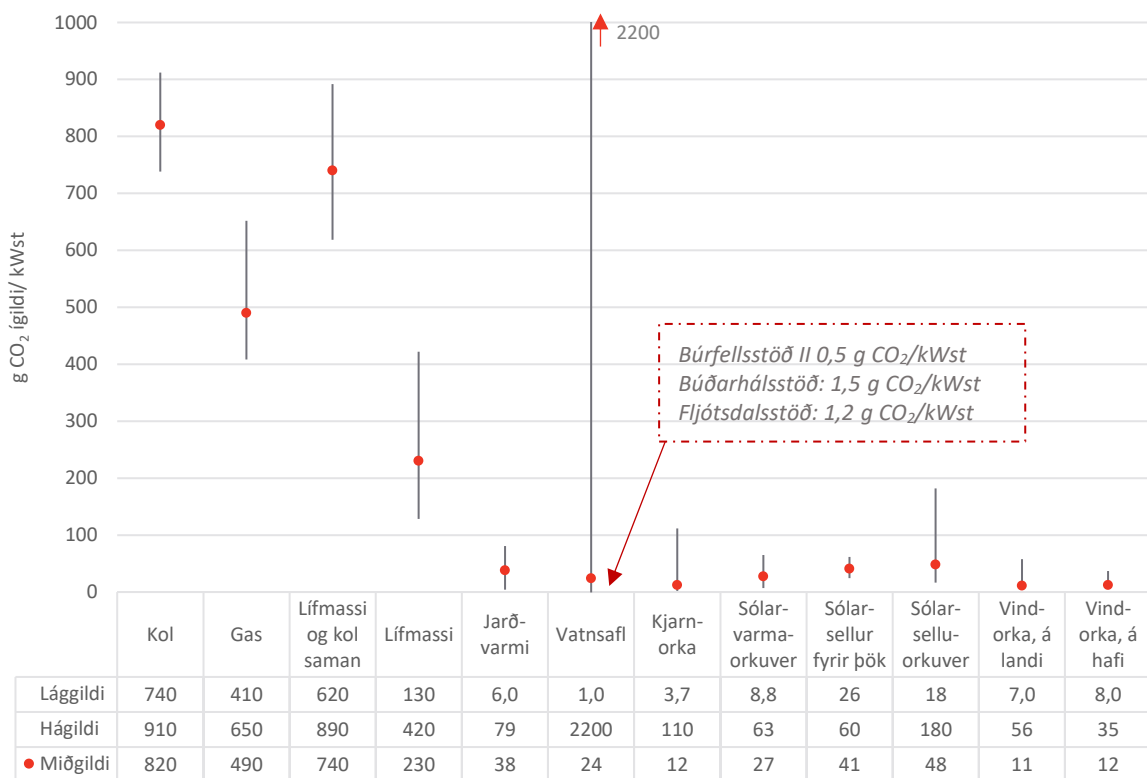
Búrfellsstöð II, hvort heldur sem sjálfstæð aflstöð eða sem aflaukning við Búrfellsstöð I hefur lágt kolefnisspor borið saman við það sem reiknað var fyrir Búðarhálsstöð [4] og Fljótsdalsstöð [3]. Þær vatnsaflsvirkjanir hafa einnig verið metnar með lágt kolefnisspor samanborið við kolefnisspor sem reiknuð hafa verið fyrir byggingu og rekstur vatnsaflsstöðva í Svíþjóð [48] og í Noregi [49] [50]. Kolefnisspor raforkuvinnslu með óendurnýjanlegum orkugjöfum (kol, gas og lífmassi og kol saman) er þá margfalt stærra en vinnsla með endurnýjanlegum orkugjöfum eins og vatnsafl. Mynd 29 sýnir samanburð á kolefnisspori orkuvinnslu með mismunandi orkugjöfum. Gögnin sem myndin byggir á eru frá a.m.k. fimm mismunandi vistferilsgreiningum fyrir hvern orkugjafa og sýna há- og lággildi hvers og eins.

Af þeim orkugjöfum sem eru skoðaðir á mynd 29 má sjá að með vindorku, sólarorku, kjarnorku og vatnsorku má vinna raforku með kolefnisspori sem er minna en 5% af kolefnisspori raforkuvinnslu með kolum [51]. Miðgildi losunar fyrir vatnsafl er 24 g CO₂ ígildi/kWst¹ og er kolefnisspor Búðarhálsstöðvar og Fljótsdalsstöðvar mun minna eða 1,5 og 1,2 g CO₂ ígildi/kWst. Þá er kolefnisspor Búrfellsstöðvar II enn lægra, eða um 0,5 g CO₂ ígildi/kWst og gæti lækkað enn frekar með aflaukningu stöðvarinnar.

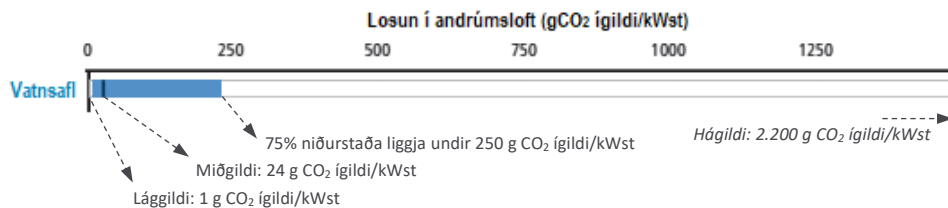
Kolefnisspor fyrir vatnsafl er mikið til háð aðstæðum á hverjum stað fyrir sig og hefur losun á vistferli orkuvinnslu í vatnsaflsstöðvum verið metin liggja á bilinu 1 – 2.200 g CO₂ ígildi/kWst. Búrfellsstöð II er fyrir neðan lægri mörk hér. Það sem vegur þyngst í þessari miklu dreifingu kolefnissporsins er það magn lífræns kolefnis sem brotnar niður í lónum aflstöðvanna sem og stærðargráða orkuvinnslunnar. Losun frá lónum við Búrfellsstöð II vegur mjög lítið þar sem notast er við lón sem þegar var til svo þessi áhrif koma ekki nema að litlu leyti fram í kolefnisspori stöðvarinnar.

¹ Hér er aðeins reiknað með losun metans (CH₄) frá lónum, en engri losun koltvísýrings (CO₂).

Niðurstöður yfirlitsrannsóknar fyrir 80 uppistöðulón benda til þess að losun metans frá lónum sé í flestum tilvikum undir 20 g CO₂ ígilda/kWst [52]. Rekja má birta losun upp á um 2.200 g CO₂ ígildi/kWst til lóna aflstöðva í hitabeltislöndum með mjög stórt yfirborðsflatarmál og hlutfallslega litla orkuvinnslu [53, 54, 55]. Á mynd 30 má sjá hvernig birtar niðurstöður fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsaflí sem sýnd er á mynd 29 dreifast. Sjá má að helmingur birtra niðurstaða er með kolefnisspor minna en 24 g CO₂ ígildi/kWst (undir miðgildi) og 75% eru lægri en um 250 g CO₂ ígildi/kWst. 25% niðurstaða liggja á bilinu 250-2.200 g CO₂ ígildi/kWst.



MYND 29 Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum í g CO₂ ígilda fyrir unna kWst. Myndin sýnir miðgildi (rauður punktur), há- og lággildi frá niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir hvern orkugjafa [51]. Kolefnisspor Búrfellsstöðvar II er 0,5 g CO₂ ígildi/kWst.



MYND 30 Niðurstöður vistferilsgreininga fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsaflí 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 [51].

Í skýrslu alþjóðlegu vatnsaflssamtakanna (IHA) frá 2018 er birt niðurstaða útreikninga á losun frá 498 lónum vatnsaflsvirkjana um allan heim. Meðaltalið var 18,5 g CO₂-ígildi/kWst, sem er ekki langt frá ofangreindu miðgildi. Það sem vakti enn fremur athygli var að hæsta kolefnisspor orkuvinnslu var að finna í virkjunum með mjög lága orkuvinnslugetu, sjá mynd 31, en á sama tíma eru til margar smávirkjanir með lítið kolefnisspor, eða losun vel undir 100 g CO₂-ígilda/kWst. Vert er að nefna að valinn er þröskuldurinn 100 g CO₂-ígildi/kWst til skilgreiningar á endurnýjanlegum orkugjöfum í nýjasta flokkunarkerfinu (e. taxonomy) fyrir sjálfbæran fjármálamarkað í Evrópu [56], og fer þröskuldurinn lækkanði í átt að kolefnishlutleysi eða 0 g CO₂-ígildi/kWst árið 2050.



MYND 31 Kolefnisspor (g CO₂-ígildi/kWst) sem fall af aflþéttni vatnsaflsverkefna (W/m²). Niðurstöður samantektar alþjóðlegu vatnsaflssamtakanna (IHA) frá 2018. Rauð lóðrétt lína táknar þröskuld fyrir hátt kolefnisspor, skv. skilgreiningu EU Taxonomy [56].

5.5 Umhverfisáhrif vatnsaflstöðva Þjórsársvæðisins

Þegar Búrfellsstöð II var gangsett 28. júní 2018, varð hún sjöunda vatnsaflsvirkjunin á vatnasviði Þjórsár og Tungnaár, en fyrir voru á svæðinu Búrfellsstöð, Sigöldustöð, Hrauneyjafossstöð, Sultartangastöð, Vatnsfellsstöð og Búðarhálsstöð sem höfðu samtals uppsett afl upp á 940 MW. Upplýsingar um þessar stöðvar eru teknar saman í töflu 28.

TAFLA 28 Vatnsaflsvirkjanir á Þjórsársvæðinu.

STÖÐ	GANGSETNING	UPPSETT AFL (MW)	ORKUVINNSLA (GWST)
Búrfellsstöð	1972	270	2.300
Sigöldustöð	1978	150	920
Hrauneyjafossstöð	1981	210	1.300
Sultartangastöð	1999	125	1.020
Vatnsfellsstöð	2001	90	490
Búðarhálsstöð	2014	95	585
Búrfellsstöð II	2018	100	700
Samtals		1.040	7.315

Umhverfisáhrif hafa nú verið metin með aðferðafræði vistferilsgreininga fyrir tvær af þessum stöðvum, Búðarhálsstöð (1,5g CO₂ íg/kWst) og Búrfellsstöð II (0,5 g CO₂ íg/kWst). Umhverfisáhrif beggja þessara stöðva hafa verið metin sjálfstætt, án þess að taka tillit til annarra framkvæmda eða annarra aflstöðva á Þjórsársvæðinu, en hægt væri að meta umhverfisáhrif svæðisins sem eina heild. Auk þessara stöðva á Þjórsársvæðinu hafa verið gerðar vistferilsgreiningar fyrir tvær aðrar stöðvar; ein Austanlands, Fljótsdalsstöð, og Blöndustöð á Norðurlandi. Með þessum fjórum vistferilsgreiningum eru að verða til forsendur til að meta umhverfisáhrif orkuvinnslu með vatnsafl almennt fyrir aflstöðvar Landsvirkjunar og gefa út vottaða umhverfisyfirlýsingu fyrir hana í heild sinni. Notuð yrðu gögn fyrir framkvæmdafasa úr þessum greiningum og meðaltalstölur fyrir rekstur núverandi vinnslustöðva fyrir rekstrarfasann. Losun frá lónum yrði metin út frá þeim upplýsingum sem safnað hefur verið og metin fyrir þau lón sem ekki hafa verið metin fyrir. Með því að gefa út vottaða umhverfisyfirlýsingu fyrir allt vatnsafl Landsvirkjunar er verið að reiða fram áreiðanlegar upplýsingar, vottaðar af óháðum þriðja aðila, sem nýtast öllum þeim sem reikna vilja umhverfisáhrif vöru og þjónustu sem nýtir vatnsafl Landsvirkjunar, auk þess sem þær myndu líklega rata inn í gagnagrunna helstu vistferilsgreiningaforrita sem nýtast öllum. Auk þess gefa greiningarnar verðmætar upplýsingar um umhverfisáhrif ólíkra vatnsaflsstöðva og aflaukningar þeirra og er mikilvægt þekkingarframlag.

6 HEIMILDASKRÁ

- [1] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Fljótsdalsstöð,“ Landsvirkjun, LV-2011-086, 2011.
- [2] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með rannsóknarvindmyllum á Hafinu við Búrfell,“ Landsvirkjun LV-2015-129, 2015.
- [3] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Fljótsdalsstöð,“ Landsvirkjun, LV-2018-064, 2018.
- [4] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Búðarhálstöð,“ Landsvirkjun, LV-2018-048, 2018.
- [5] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Blöndustöð,“ Landsvirkjun, LV-2019-030, 2019.
- [6] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með jarðvarma. Þeistareykjastöð,“ Landsvirkjun. LV-2020-034, 2020.
- [7] ISO, *ISO 14040: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*, International Organization for Standardization, Second edition, 2006.
- [8] ISO, *ISO 14044: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*, International Organization for Standardization, First edition, 2006.
- [9] Landsvirkjun, „Búrfellsstöð II,“ 2020. [Á neti]. Available: <https://www.landsvirkjun.is/fyrirtaekid/aflstodvar/burfellsstod-2>.
- [10] Landsvirkjun, „Ráðgjafaútböð vegna fyrirhugaðar stækkunar Búrfellsvirkjunar,“ 03 2015. [Á neti]. Available: <https://www.landsvirkjun.is/fyrirtaekid/fjolmidlatorg/frettir/frett/radgjafautbod-vegna-fyrirhugadrar-staekknar-burfellsvirkjunar/>.
- [11] The International EPD System, *Product Group Classification: UN CPC 171 and 173 Electricity, Steam and Hot/Cold Water Generation and Distribution. PCR 2007:08. Version 4.0*, The International EPD system, 2020.

- [12] ÍST EN 15978:2011, „Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method,“ 2011.
- [13] ÍST EN 15804:2012, *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*, CEN/TC 350, 2012.
- [14] BM Vallá, „Steypuframleiðsla BM Vallá fyrir Búrfell II - lokaskýrsla desember 2018,“ Reykjavík, 2018.
- [15] Norcem, „Environmental Product Declaration - CEM I Anleggsement (CEM I 52,5N),“ The Norwegian EPD Foundation, 2013.
- [16] Landsvirkjun, „Blönduvirkjun - Jarðgangagerð. Framkvæmdaskýrsla. Verksamningur 9510,“ Landsvirkjun LV-1990-106, 1990.
- [17] LS Cable & System, „Characteristics & Cross-sectional drawing LSGS-16-PC0204“.
- [18] Gunnar Guðni Tómasson, „Landsvirkjun 2018 - Verkefnastaðar og framkvæmdir,“ 2018.
- [19] Landsvirkjun, „Grænt Bókhald 2017,“ 2018.
- [20] Landsvirkjun, „Grænt Bókhald 2018,“ 2019.
- [21] S. D. Arnardóttir, *Úrgangur og spilliefni. Úttekt á sorpmálum í aflstöðvum Landsvirkjunar*, Landsvirkjun, 2012.
- [22] 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.
- [23] J. Guðmundsson, *Óútgefið efni*, LBHÍ. Tölvupóstsamskipti, 5. febrúar 2018.
- [24] 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.
- [25] Guðmundur Guðjónsson, Rannveig Thoroddsen, „Úttekt á gróðurfari á þremur lónasvæðum Þjórsár og Tungnaár ofan Búrfells,“ Landsvirkjun, 2016.
- [26] H. Óskarsson og J. Guðmundsson, *Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna – rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006*, Landsvirkjun LV-2008-028, 2008.
- [27] 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.
- [28] Confederation of European paper industries, *Resource efficiency in the pulp and paper industry. Making more from our natural resources.*, Brussels: CEPI.
- [29] 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.
- [30] Thinkstep AG, *GaBi databases*, 2017.

- [31] 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 Neww York, 2011.
- [32] Landsvirkjun, „Steypuskýrsla um stækkun Búrfellsvirkjunar (Búrfellsstöð II) - Lokaskýrsla steypuframkvæmda,“ Óútgefið, 2020.
- [33] Worldsteel, „2020 World Steel in Figures,“ 2020. [Á neti]. Available: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:f7982217-cfde-4fdc-8ba0-795ed807f513/World%2520Steel%2520in%2520Figures%25202020i.pdf>.
- [34] Material Economics, „The Circular Economy. A Powerful Force For Climate Mitigation.,“ Material Economics, Sweden, 2018.
- [35] Vik Ørsta, „Environmental Product Declaration - CT-Bolta M20,“ EPD Norge - The Norwegian EPD Foundation, 2017.
- [36] Institut Bauen und Umwelt e.V., „Environmental Product Declaration - ArcelorMittal Europe-Longg Products. Reinforcing steel in bars,“ IBU EPD, 2016.
- [37] Byelorussian Steel Works, „Statement of Verification BREG EN EPD Carbon Steel Reinforcing Bar,“ 2019.
- [38] BDO Global, „2023: THE NEAR FUTURE OF MINING,“ 2019.
- [39] Epiroc Mining, „Minetruck MT42 Battery,“ 2019.
- [40] The Driven, „Worlds largest electric vehicle with a 600kwh battery,“ 2019. [Á neti]. Available: <https://thedriven.io/2019/07/22/worlds-largest-electric-vehicle-with-a-600kwh-battery/>.
- [41] Ballard, „Ballard Receives PO From Anglo American for 900kW of Fuel Cell Modules to Support Mining Truck Demonstration Project,“ Vancouver, 2019.
- [42] The Driven, „New 2MW electric Vehicle Chargers Could Revolutionise Mining Industry,“ 2019. [Á neti]. Available: <https://thedriven.io/2019/10/23/new-2mw-electric-vehicle-chargers-could-revolutionise-mining-industry/>.
- [43] Sustainable Bus, „Electric bus, main fleets and projects around the world,“ 2019. [Á neti]. Available: <https://www.sustainable-bus.com/electric-bus/electric-bus-public-transport-main-fleets-projects-around-world/>.
- [44] Hydrogen Europe, „Hydrogen Buses,“ 2019. [Á neti]. Available: <https://www.hydrogeneurope.eu/hydrogen-buses#:~:text=Fuel%20cell%20buses%20now%20have,day%2Dto%2Dday%20operation..>
- [45] Nikola Motor, „Nikola Motor,“ 2020. [Á neti]. Available: <https://nikolamotor.com/>.
- [46] IMO, „Sulphur 2020 – cutting sulphur oxide emissions,“ International Maritime Organization, 2020. [Á neti]. Available: <http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx>.
- [47] Maersk, „Alcohol, Biomethane and Ammonia are the best-positioned fuels to reach zero net emissions,“ Maersk, 10 2019. [Á neti]. Available:

<https://www.maersk.com/news/articles/2019/10/24/alcohol-biomethane-and-ammonia-are-the-best-positioned-fuels-to-reach-zero-net-emissions>.

- [48] Vattenfall, „EPD of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower,“ The International EPD System, 2018.
- [49] Agder Energi AS, „Environmental Product Declaration. Hydroelectricity from Skjerka Power Station,“ The Norwegian EPD Foundation, 2016.
- [50] Statkraft, „Hydroelectricity from Trollheim Power Station,“ The Norwegian EPD Foundation, 2013.
- [51] Bruckner, Bashmakov, Mulugetta, Chum, d. I. V. Navarro, Edmonds, Faaij, Fungtammasan, Garg, Hertwich, Honnery, Infield, Kainuma, Khennas, Kim, Nimir, Riahi, Strachan, Wiser 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.
- [52] H. EG, „Addressing Biogenic Greenhouse Gas Emissions from Hydropower in LCA,“ *Environmental Science & Technology*, b. 47, pp. 9604-9611, 2013.
- [53] 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.
- [54] K. A, B. Forsberg og J. Melack, „Methane release below a tropical hydroelectric dam,“ *Geophysical Research Letters*, b. 34, 2007.
- [55] K. A, B. Forsberg og J. Melack, „CO2 emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil),“ *Journal of Geophysical Research*, b. 116, 2011.
- [56] EU Technical Expert Group on Sustainable Finance, „EU Taxonomy Report: Technical Annex. Updated methodology & Updated Technical Screening Criteria. March 2020,“ European Commission, 2020.
- [57] 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.
- [58] 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.
- [59] National Oceanic and Atmospheric Administration., „Trends in Atmospheric Carbon Dioxide,“ Department of Commerce, [Á neti]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>.
- [60] Umhverfisstofnun, „Óson,“ [Á neti]. Available: <https://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/oson/>.

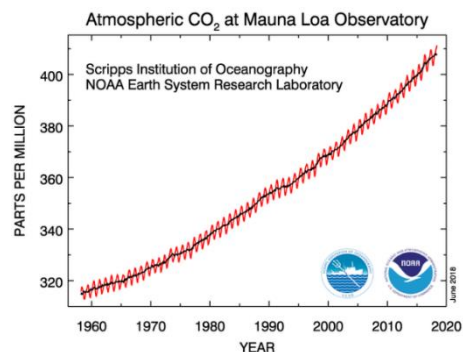
VIÐAUKI A UMHVERFISÁHRIF

A.1 Flokkar umhverfisáhrifa

Hér er þeim sjö flokkum umhverfisáhrifa sem skoðaðir eru í vistferilsgreiningunni lýst í stuttu máli ásamt hugtakinu orkuþörf á líftíma sem notað er til að meta orkuþúskap Búrfellstöðvar II. Upplýsingar eru aðlagðar frá GaBi Database & Modelling Principles [57] og ILCD Handbook. International Reference Life Cycle Data System. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context [58].

Gróðurhúsaáhrif
(Global Warming
Potential, GWP 100
years)

Gróðurhúsaáhrif valda breytingu á meðalhita jarðarinnar sem rekja má til losunar gróðurhúsalofttegunda af manna völdum sem eru til dæmis koltvísýringur (CO_2) og metan (CH_4). Búið er við 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, sjá mynd 31, og þær mælingar sýna fram á greinilega aukningu á styrk lofttegundarinnar í lofthjúpnunum. [59]



MYND 32 Styrkur CO_2 í andrúmslofti sem fall af tíma.

Súrnun lands og vatns
(Acidification
Potential, AP)

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 (NH_3), köfnunarefnisoxíð (NO_x) og brennisteinstvíoxíð (SO_2). 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.

Næringarefnaauðgun
(Eutrophication
Potential, EP)

Næringarefnaauðgun getur átt sér stað í vatni eða í jarðvegi. Nítröt og fosföt eru nauðsynleg öllu lífi, hins vegar getur hár styrkur næringarefna, t.d. í vatni valdið óhóflegum þörungavexti sem leiðir af sér lækkaðan styrk súrefnis í vatninu. Næringarefnaauðgun getur valdið miklum skaða í vistkerfum með aukinni dánartíðni lífvera og lífverur sem krefjast lágs styrks næringarefna geta horfið úr vistkerfinu. Losun ammoníaks, nítrata, nitroxíða 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.	
Eyðing auðlinda (Resource depletion)	Hér er átt við eyðingu auðlinda, svo sem málmgryti, 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.	
Myndun ósons við yfirborð jarðar (Photochemical ozone formation)	Í andrúmslofti sem inniheldur kófnunarefnisoxíð og rokgjörn, lífræn efnasambönd (VOCs) getur óson myndast með aðstoð sólarljóss. Þrátt fyrir að óson sé mjög mikilvægt í efri hluta lofthjúpsins er aukinn styrkur ósons í andrúmsloftinu óæskilegur og getur m.a. valdið uppskerubresti sem og aukið tíðni astma 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 [60]	
Eyðing ósonlagsins (Ozone depletion Potential, ODP)	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, sjá mynd 32. 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	
Orkuþörf á líftíma (Primary energy demand, EPD)	Orkuþörf á líftíma er magn frumorku sem hefur verið nýtt frá endurnýjanlegum og óendurnýjanlegum orkugjöfum. Um er að ræða orku sem ekki hefur verið unnin eða umbreytt vegna atbeina mannsins. 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.	

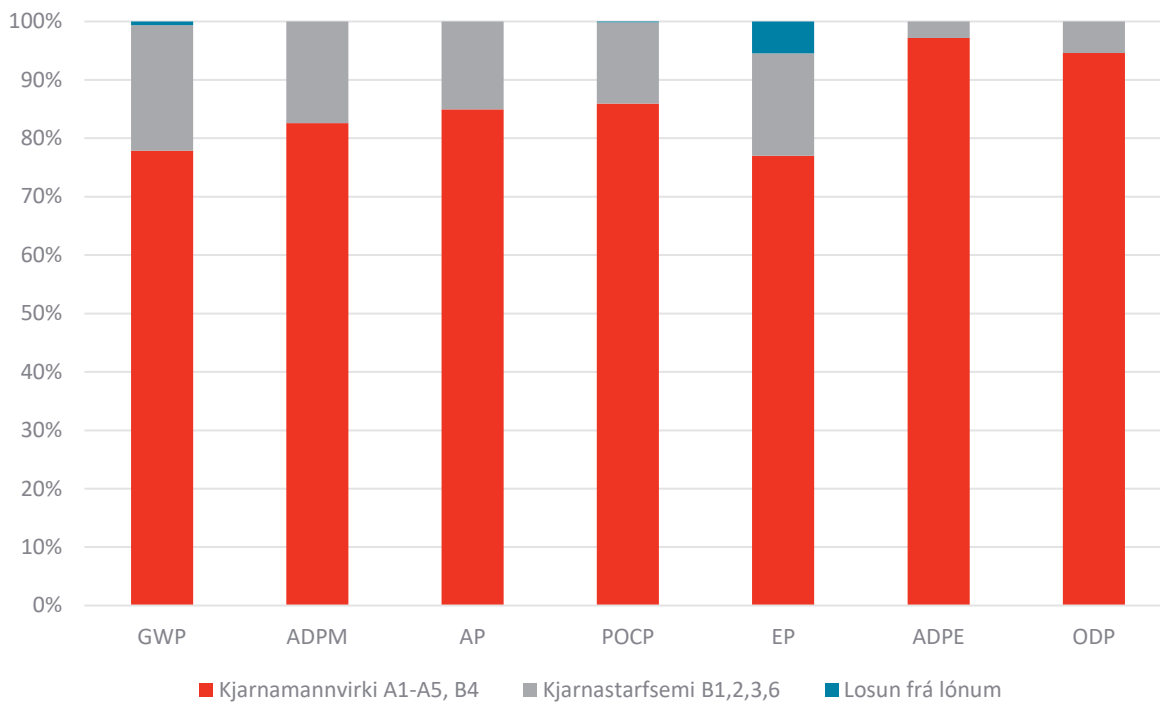
MYND 33 Heildarmagn ósons í DU einingum sem fall af tíma.

VIÐAUKI B PCR FLOKKUN

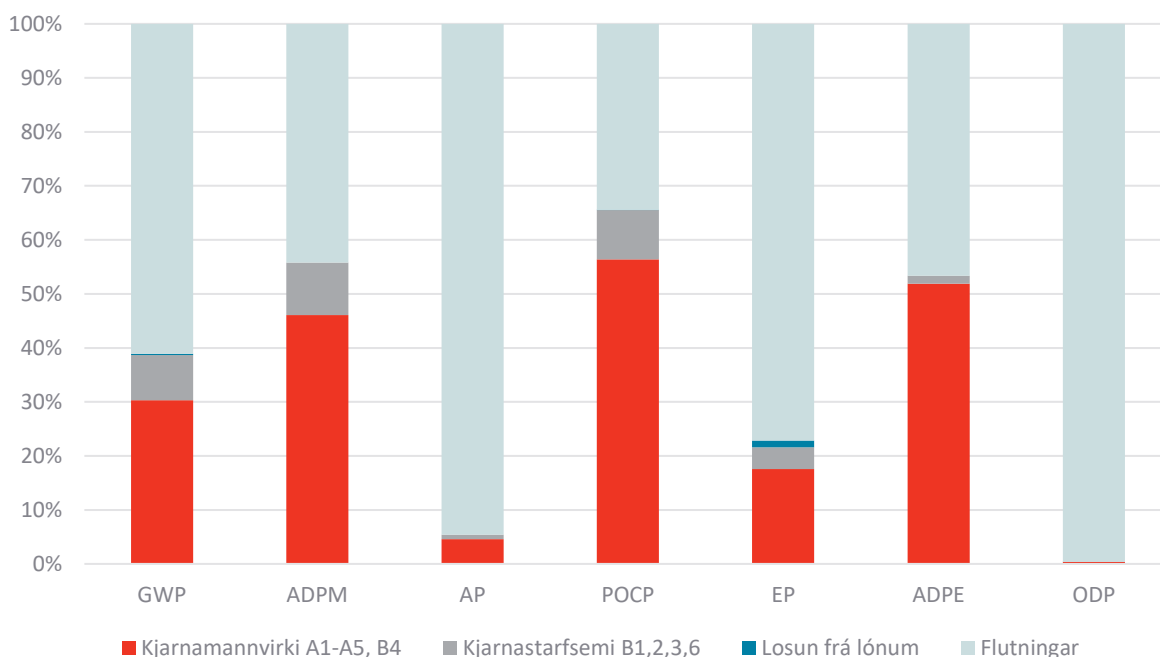
B.1 Flokkun vistferilsstiga

Samkvæmt nógildandi reglum fyrir gerð umhverfisyfirlýsinga fyrir raforkuvinnslu [11] (e. Product Category Rules, PCR) á framsetning niðurstaða að vera flokkuð í ílagsferli (e. upstream), kjarnamannvirki (e. core – infrastructure), kjarnastarfsemi (e. core – operation) og frálagsferli (e. downstream). Um er að ræða grófari flokkun heldur en eftir vistferilsstigum sem skilgreindar eru í EN 15804 staðli (tafla 1). Til þess að halda samanburðarhæfni við aðrar vistferilsgreiningar Landsvirkjunar eru niðurstöður birtar skv. síðarnefndum staðli í þessari skýrslu. Mynd 34 sýnir flokkun niðurstaða skv. ofangreindum leiðbeiningum án raforkuflutninga. Undir kjarnamannvirki falla mannvirki og framkvæmdir (A1-A5) auk losunar frá lónum og endurnýjun búnaðar (B4). Hér er þó losun lóna skráð sér til glöggvunar.

Í þessari vistferilsgreiningu er ekkert sem hægt er að flokka undir ílagsferli, en það væri til dæmis öflun kola til vinnslu í kolaorkuveri. Hins vegar er frálagsferli í formi flutningar raforku mikilvægur þáttur og ber að taka með innan kerfismarka ef gefa á út umhverfisyfirlýsingu fyrir orkuvinnsluna. Mynd 35 sýnir niðurstöður samkvæmt þessari skiptingu með flutningi raforku. Þessi mynd er því samanburðarhæf við nýlegar vistferilsgreiningar sem birtar eru í umhverfisyfirlýsingum fyrir vatnsaflsvirkjanir.



MYND 34 Niðurstöður flokkaðar í kjarnamannvirki og kjarnastarfsemi án raforkuflutninga samkvæmt leiðbeiningum um gerð umhverfisyfirlýsinga [11]. Flokkun í þessari skýrslu veitir meiri upplýsingar í formi meiri sundurliðun niðurstaðna fyrir hvert stig vistferilsins.



MYND 35 Niðurstöður flokkaðar í kjarnamannvirki og kjarnastarfsemi auk raforkuflutninga í samræmi við leiðbeiningar um gerð umhverfisyfirlýsinga [11].

VIÐAUKI C TÖLULEGAR NIÐURSTÖÐUR

TAFLA 29 Tölulegar niðurstöður fyrir mismunandi flokka umhverfisáhrifa frá vinnslu á 1 kWst af raforku í Búrfellsstöð II á vistferli aflstöðvarinnar (A-D).

	EINING/KWST	ALLS	ÖFLUN HRÁEFNA OG FRAMLIEÐSLA (A1-A3)		FLUTNINGAR Á BÚRFELL (A4)		FRAMKVÆMDIR (A5)		REKSTUR AFLSTÖÐVAR (B1-B6)		REKSTUR LOSUN FRÁ LÖNUM (B1)		ENDURVINNSLA (D)	
Gróðurhúsaáhrif	g CO ₂ ígildi	5,1,E-01	2,6,E-01	50%	8,7,E-03	2%	1,0,E-01	20%	1,7,E-01	33%	3,3,E-03	1%	-3,2,E-02	-6%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	kJ	4,7,E+00	2,1,E+00	46%	1,1,E-01	2%	1,3,E+00	27%	1,5,E+00	33%	0,0,E+00	0%	-3,7,E-01	-8%
Súrnun lands og vatns	g SO ₂ ígildi	2,7E-03	9,9,E-04	37%	1,8,E-04	7%	9,1,E-04	34%	7,1,E-04	26%	0,0,E+00	0%	-7,7,E-05	-3%
Myndun ósons við yfirborð	g ethene ígildi	2,3E-04	7,9,E-05	35%	9,6,E-06	4%	9,9,E-05	44%	5,0,E-05	22%	3,7,E-07	0%	-1,2,E-05	-6%
Næringarefnaauðgun	g fosfat ígildi	4,5E-04	1,1,E-04	24%	2,2,E-05	5%	2,0,E-04	45%	1,0,E-04	23%	2,5,E-05	6%	-7,6,E-06	-2%
Eyðing ólífræna auðlinda	g Sb ígildi	8,5E-06	4,9,E-06	58%	3,9,E-10	0%	1,0,E-08	0%	4,1,E-06	48%	0,0,E+00	0%	-4,7,E-07	-6%
Eyðing ósonlagsins	g R11 ígildi	6,0E-11	5,5,E-11	93%	1,4,E-18	0%	3,0,E-14	0%	6,7,E-12	11%	0,0,E+00	0%	-2,3,E-12	-4%

TAFLA 30 Tölulegar upplýsingar um gróðurhúsaáhrif steypategunda.

	GWP (KG CO ₂ ÍG/KG STEYPU)	GWP (KG CO ₂ ÍG/M ³ STEYPU)	MAGN STEYPT (M ³)
400 Sprautusteypa C30/37 (500kg/m ³)	0,20	443	5000
401 Sprautusteypa C25/30 (480kg/m ³)	0,20	425	4666
410 Steypa C30/37 ECO (269kg/m ³)	0,11	258	207
416 Steypa C16 XC1 (300kg/m ³)	0,11	265	36
417 Steypa C16 SCC (280kg/m ³)	0,11	253	1003
430 Steypa C30 SCC (480kg/m ³)	0,18	424	510
431 Steypa C30/37 XF3 (390kg/m ³)	0,15	347	2924
432 Steypa C30/37 (350kg/m ³)	0,14	322	0
432 Steypa C30/37 (MIX 360kg/m ³)	0,14	326	7164
435 Steypa C30/37 extra sterk (410kg/m ³)	0,15	362	435
440 Steypa C40 XF3 SCC (500kg/m ³)	0,19	452	1333
441 Steypa C40/50 XC1 (380kg/m ³)	0,14	341	606
442 Steypa C40/50 XF3 (350kg/m ³)	0,13	315	1444