

# Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli

Blöndustöð





# Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafla Blöndustöð

## Höfundar

Gyða M. Ingólfssdóttir, Alexandra Kjeld, Friðrik K. Gunnarsson,  
Helga J. Bjarnadóttir

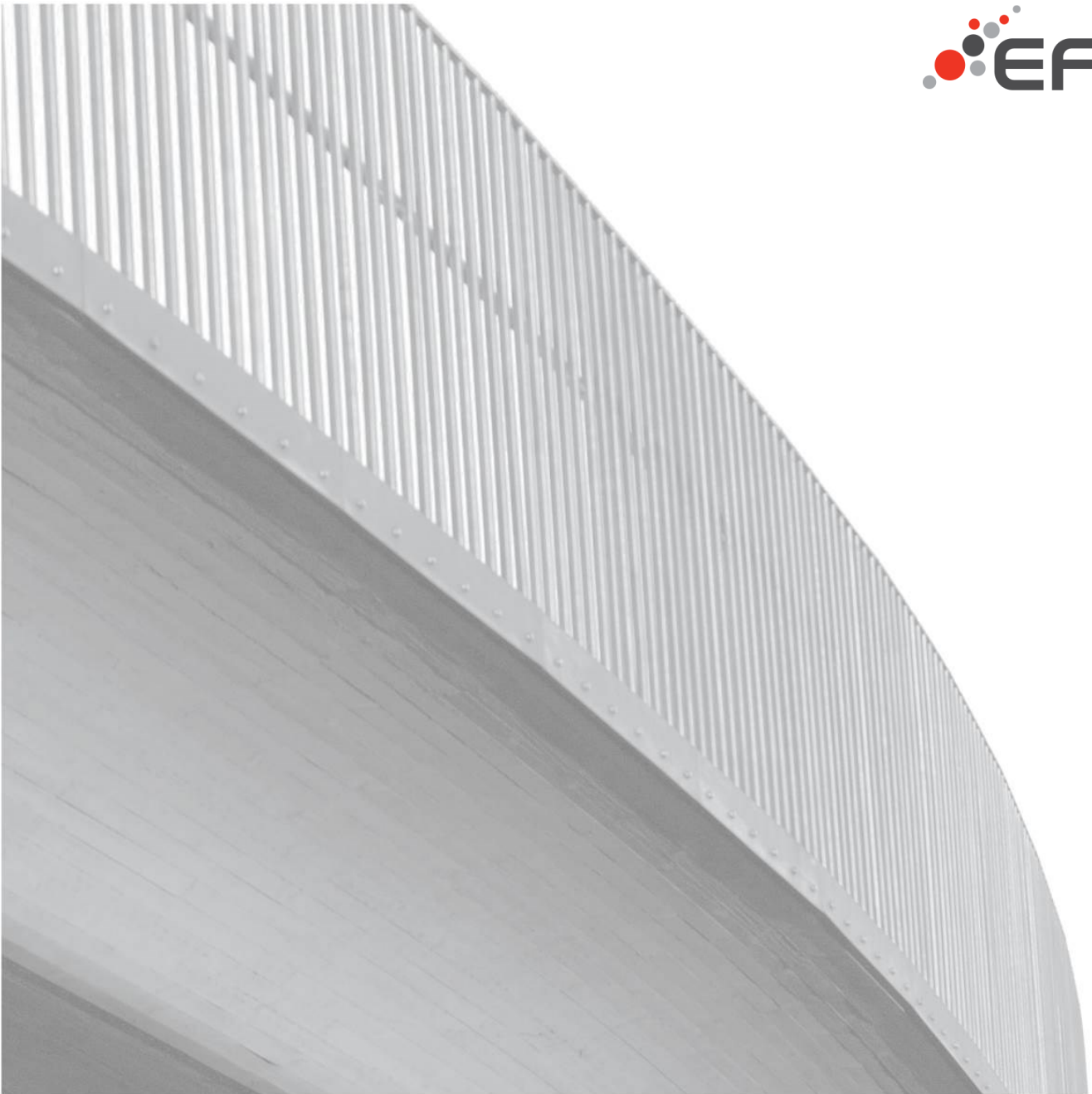
## Dagsetning

Maí 2025

# Lykilsíða

Skýrsla LV nr	LV-2025-021	Dagsetning	Maí 2025
Fjöldi síðna	42 s.	Upplag	1
Dreifing	[ x ] Birt á vef LV	[ ] Opin innan LV	[ ] Takmörkuð til [dags.]
Titill	Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafl: Blöndustöð		
Höfundar/fyrirtæki	EFLA verkfræðistofa: Gyða M. Ingólfssdóttir, Alexandra Kjeld, Friðrik K. Gunnarsson, Helga J. Bjarnadóttir		
Verkefnisstjóri	Ragnheiður Ólafsdóttir		
Unnið fyrir	Landsvirkjun		
Samvinnuaðilar	—		
Útdráttur	<p>Í þessari skýrslu er að finna niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir Blöndustöð. Metin eru umhverfisáhrif frá framleiðslu og flutningum byggingarefna, framleiðslu og flutningum vél- og rafbúnaðar, byggingarframkvæmdum, orkunotkun og rekstri stöðvarinnar í 100 ár. Niðurstöðurnar eru á formi tölulegra upplýsinga um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar og þær leiða í ljós að vinnsla í Blöndustöð er umhverfislega hagkvæmari en önnur raforkuvinnsla, t.d. með jarðefnaeldsneyti, fyrir þá flokka umhverfisáhrifa sem skoðaðir voru. Kolefnisspor raforkuvinnslu í stöðinni er 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Niðurstöður greiningarinnar draga einnig fram hvar finna megi helstu tækifæri til úrbóta í vistferli vatnsaflstöðvarinnar. Skýrslan var fyrst gefin út í mars 2019 en uppfærð í maí 2025 með vísan í staðal ISO 14067.</p>		
Lykilorð	Vistferilsgreining, Life Cycle Assessment, LCA, kolefnisspor, vatnsafl, vatnsorka, Blöndustöð		

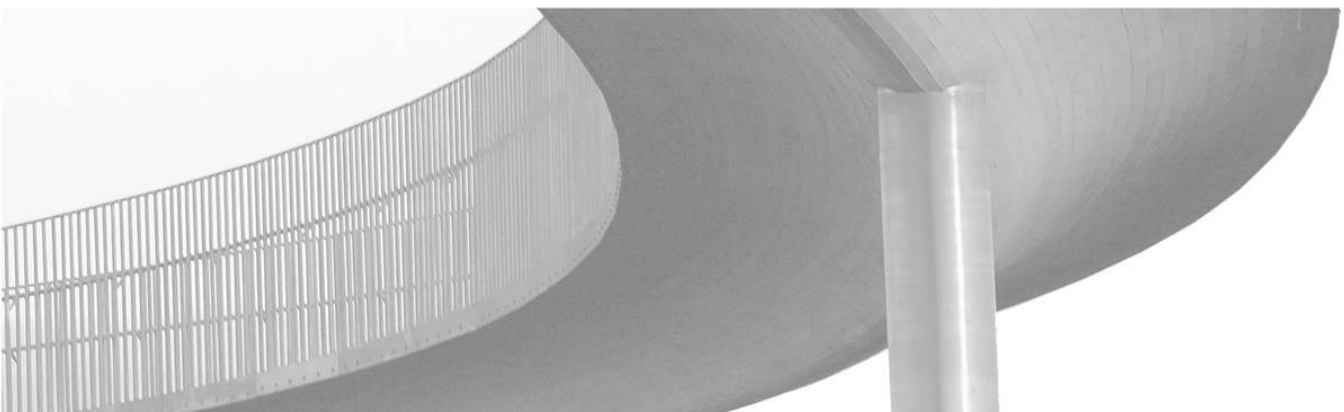
Samþykki verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar



## VISTFERILSGREINING RAFORKUVINNSLU MEÐ VATNSAFLI

**Blöndustöð**

**23.05.2025**





## SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

### SKJALALYKILL

1611-164-SKY-001-V02

### SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

LV-2019-030

### VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Ragnheiður Ólafsdóttir

### VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Helga J. Bjarnadóttir

### LYKILORÐ

Lykilorð

### STAÐA SKÝRSLU

- Drög  
 Drög til yfirlstrar  
 Lokið

### DREIFING

- Opin  
 Dreifing með leyfi verkkaupa  
 Trúnaðarmál

### TITILL SKÝRSLU

Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Blöndustöð.

### VERKHEITI

Vistferilsgreining fyrir Blöndustöð

### VERKKAUPI

Landsvirkjun

### HÖFUNDUR

Gyða Mjöll Ingólfadóttir, Alexandra Kjeld, Friðrik Klingbeil Gunnarsson, Helga Jóhanna Bjarnadóttir

### ÚTDRÁTTUR

Í þessari skýrslu er að finna niðurstöður vistferilsgreiningar fyrir Blöndustöð. Metin eru umhverfisáhrif frá framleiðslu og flutningum byggingarefna, framleiðslu og flutningum vél- og rafbúnaðar, byggingarframkvæmdum, orkunotkun og rekstri stöðvarinnar í 100 ár. Niðurstöðurnar eru á formi tölulegra upplýsinga um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar og þær leiða í ljós að vinnsla í Blöndustöð er umhverfislega hagkvæmari en önnur raforkuvinnsla, t.d. með jarðefnaeldsneyti, fyrir þá flokka umhverfisáhrifa sem skoðaðir voru. Kolefnisspor raforkuvinnslu í stöðinni er 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Niðurstöður greiningarinnar draga einnig fram hvar finna megi helstu tækifæri til úrbóta í vistferli vatnsafstöðvarinnar.

**ÚTGÁFUSAGA**

<b>NR.</b>	<b>HÖFUNDUR</b>	<b>DAGS.</b>	<b>RÝNT</b>	<b>DAGS.</b>	<b>SAMÞYKKT</b>	<b>DAGS.</b>
01	GMI, AK, FKG, HJB	02.01.14	HJB, EY	07.01.14	GMI, FKG, HJB, EY	27.02.14
Lokaskýrsla árið 2014 sett fram með 4 aðferðum fyrir mat á losun frá lónum. Lokaskýrsla ekki gefin út.						
03	GMI, AK, FKG, HJB	13.03.19	AK, HJB	19.03.19	GMI, AK, HJB	20.03.19
Lokaskýrsla árið 2019 sett fram með niðurstöðum rannsókna við mat á losun frá lónum.						
04	ÁRB	01.04.25	AK	28.04.24	AK	23.05.25
Uppfærsla						

## SAMANTEKT

Markmið þessa verkefnis er greining og mat á umhverfisáhrifum frá raforkuvinnslu í vatnsaflsstöð Landsvirkjunar, Blöndustöð. Verkefnið er liður í að meta umhverfisáhrif frá raforkuvinnslu í aflstöðvum Landsvirkjunar. Matið er framkvæmt með aðferðarfræði vistferilsgreiningar með sama hætti og greiningar sem gerðar hafa verið fyrir Fljótisdalsstöð, Búðarhálsstöð og vindmyllur á Hafinu til að tryggja samanburðarhæfni niðurstaðna. Greiningin er unnin í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 og ISO 14044 um gerð vistferilsgreininga og í samræmi við evrópustaðla EN 15978 og EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði. Einnig er fylgt kröfum sem gerðar eru til vistferilsgreininga sem nota á til að setja fram umhverfisýfirlýsingu (e. *Environmental Product Declaration*) fyrir raforkuvinnslu.

Árið 2001 var gerð vistferilsgreining fyrir Blöndustöð en vegna mikillar þróunar á aðferðarfræði við gerð vistferilgreininga á síðastliðnum árum er mikilvægt að uppfæra þá greiningu í samræmi við nýjustu aðferðir og þekkingu. Gögnin sem vistferilsgreiningin byggir á eru góð. Þau byggja á upplýsingum frá fyrri vistferilsgreiningu stöðvarinnar frá árinu 2001, upplýsingum úr framkvæmda- og lokaskýrslum framkvæmda, rauntölum frá rekstri stöðvarinnar og aðlöguðum gögnum um raforku- og eldsneytisnotkun vegna byggingarframkvæmda við Búðarhálsstöð. Mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar byggir á rannsóknum á eiginleikum jarðvegs í lónstæðum stöðvarinnar og rannsóknum á mögulegri losun frá Sporðöldulóni, uppistöðulóni Búðarhálsstöðvar. Því er um að ræða bestu fáanlegu gögn um mögulega losun úr lónstæðinu á líftímanum.

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

Kolefnisspor raforkuvinnslu í Blöndustöð er 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Ráðandi þáttur í kolefnissporinu er losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum, 19,6 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst eða tæplega 96% af kolefnissporinu. Kolefnisspor vegna framleiðslu byggingarefna og búnaðar sem og byggingarframkvæmda er 0,71 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst og kolefnisspor frá rekstri stöðvarinnar er 0,14 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Hvað varðar aðra áhrifaflokka þá vegur losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum einnig þungt í flokkunum myndun ósons við yfirborð jarðar og næringarefnaauðgun. Framkvæmdafasinn hefur mest áhrif í flokkunum eyðing jarðefnaeldsneytis og súrnun lands og vatns. Öflun hráefna og framleiðsla byggingarefna og búnaðar veldur mestum áhrifum í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og eyðingu ósonlagsins, en hefur einnig töluverð áhrif í flokkunum eyðing jarðefnaeldsneytis og súrnun lands og vatns. Að undanskilinni losun frá lónum aflstöðvarinnar þá eru þeir þættir sem valda mestum áhrifum yfir allan vistferilinn: Framleiðsla sements, framleiðsla vél og rafbúnaðar og framleiðsla og brennsla jarðefnaeldsneytis.

Nú hefur orkubúskapur Blöndustöðvar verið metinn og telst hann góður þar sem orkuarðsemi stöðvarinnar er 330, þ.e. 330 sinnum meiri orka er unnin í stöðinni en þarf til að byggja og reka stöðina í 100 ár. Þá er endurgreiðslutími orku um 4 mánuðir (0,30 ár), þ.e. að þeim tíma loknum í rekstri er aflstöðin búin að vinna jafnmikla orku og notuð er yfir allan vistferil afstöðvarinnar.

Af niðurstöðunum er hægt að draga lærdóm af því hvar sé umhverfislega hagkvæmast að vinna að úrbótum á rekstartíma stöðvarinnar og hverju huga eigi að við viðhald annars vegar og þegar nýjar vatnsaflsstöðvar eru hannaðar og byggðar hinsvegar. Tækifæri til úrbóta liggja m.a. í ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis og því að taka þátt í orkuskiptum í samgöngum og tækjabúnaði, að settar séu kröfur er varða umhverfismál á verktaka, þjónustu- og efnisbirgja sem og við innkaup auk þess að huga vel að vali á lónstæðum í nýjum vatnsaflsvirkjunum fyrirtækisins. Þá nýtast niðurstöðurnar við hönnun nýrra mannvirkja fyrir aflstöðvar, t.d. hvað varðar efnisnotkun og efnisval, en greiningin sýnir að steypa er það byggingarefni sem hefur mest áhrif á kolefnissporið. Því liggja stærstu tækifæri til að draga úr gróðurhúsaáhrifum vegna mannvirkja í því að haga hönnun þannig að sement sé nýtt með sem bestum hætti þ.e. að nýta svokallaða grænar steypublöndur þegar slíkt er kostur, að teknu tilliti til annarra krafna sem gerðar eru til byggingarefna sem innihalda sement í viðkomandi mannvirki.

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru enn fremur grunnur fyrir umhverfisyfirlýsingu (Environmental Product Declaration, EPD) fyrir framleiðslu raforku með vatnsafl og er hægt að leggja slíkar upplýsingar inn í alþjóðlega gagnabanka um umhverfisáhrif raforkuvinnslunnar og nýtast þannig viðskiptavinum Landsvirkjunar og notendum raforkunnar við útreikninga á umhverfisáhrifum sinnar vöru eða í loftslagsbókhalda viðkomandi reksturs. Niðurstöður greiningarinnar leiða í ljós að orkuvinnsla í Blöndustöð er umhverfislega hagkvæm í samanburði við raforkuvinnslu með óendurnýjanlegum orkugjöfum, hvað varðar þá sjö flokka umhverfisáhrifa sem metnir eru og m.t.t. orkubúskaps.

## SUMMARY

The aim of the present project is to assess the environmental impacts of electricity generation in Landsvirkjun's hydropower station, Blanda. The project is a part of an ongoing assessment of environmental impacts of the company's electricity generation. The assessment is carried out using the same Life Cycle Assessment (LCA) methodology used to assess environmental impacts from Fljótisdalur Hydropower Station, Búðaháls Hydropower Station and Landsvirkjun's two wind turbines, located at Hafið in South Iceland. The LCA is performed in accordance with international standards ISO 14040, ISO 14044 and ISO 14067 and European standards EN 15978 and EN 15804 on sustainability of construction works. Additionally, Product Category Rules according to ISO 14025 for Type III environmental declarations for electricity production, are adhered to.

LCA for Blanda Station was published in 2001. Due to great advances in LCA methodology in recent years this assessment has now been updated using the latest versions of the recommended Life Cycle Impact Assessment methodology. The compiled Life Cycle Inventory (LCI) is of good quality and includes data from the 2001 assessment, data obtained from final construction reports, actual figures from operation of the power station and adapted figures from construction work in the Búðarháls Station project. An estimate of emissions from the reservoir is based on research carried out by the University of Iceland, The Soil Conservation Service of Iceland and the Agricultural University of Iceland.

The functional unit is 1 kWh of electricity generated in Blanda Station, assuming a lifetime of 100 years. Results are presented for seven environmental impact categories; global warming, acidification, photochemical ozone creation, ozone depletion, eutrophication, depletion of abiotic resources and depletion of fossil resources.

The carbon footprint of electricity generation in Blanda hydropower station is 20.4 gCO<sub>2</sub> eq./kWh. Total emissions of greenhouse gases (GHGs) from the hydropower reservoirs are 19.6 gCO<sub>2</sub> eq./kWh and are a dominant factor in the overall carbon footprint (96%). The carbon footprint of the production and construction process stage is 0.71 gCO<sub>2</sub> eq./kWh and 0.14 gCO<sub>2</sub> eq./kWh for the operational stage. Reservoir emissions also contribute heavily to photochemical ozone creation and eutrophication. The construction process stage causes the highest relative impacts in the depletion of fossil resources and acidification. The acquisition of raw materials and the manufacturing of construction materials and equipment is the greatest relative contributor to the depletion of abiotic resources and ozone depletion, and also contributes significantly to the depletion of fossil resources and acidification. Excluding reservoir emissions, the factors that have the greatest impact over the entire life cycle are the production of cement, manufacturing of machinery and electrical equipment, and the production and combustion of fossil fuels.

The energy returned on energy invested (EROI) for the station has been assessed as 330, i.e. the power station generates 330 times more energy during the 100-year lifetime than is needed for its delivery. The energy payback time for the power station is four months, meaning that after four months of operation the station has generated an equivalent amount of energy needed for its construction and operation.

The results highlight where the largest improvements can be made in terms of environmental impacts from the station's operational phase and areas for consideration during the design and construction of new hydropower stations. There are opportunities for improvement in the responsible use of fossil fuels and in participating in the energy transition of transport vehicles and machinery. Other opportunities include setting environmental requirements on contractors, service providers and suppliers; using a sustainable procurement plan for all purchases and carefully selecting future hydropower reservoir sites e.g. regarding its soil and vegetation qualities. In addition, the results can be used for improved design (eco-design) for future power station development, in terms of material selection and use. The results demonstrate that concrete is the building material that has the greatest impact on the carbon footprint. Therefore, one of the greatest opportunities in reducing the carbon footprint is efficient use of cement, e.g. by utilizing green concrete mixes when possible, without compromising other requirements such as quality and durability.

Further use of the results include publication of Environmental Product Declaration (EPD) on hydroelectric power generation. Such third party verified declarations ensure that the LCA fulfils international standards and its eligibility for international databases. That way, the LCA's results can be of direct use for Landsvirkjun's customers when estimating their products' or services' overall environmental impacts. In terms of the environmental impact categories analysed the electricity generation in Blanda Station has good environmental performance when compared with other power generation alternatives, especially non-renewable energy sources.

## EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	1
SUMMARY	3
MYNDASKRÁ	6
TÖFLUSKRÁ	6
ORÐSKÝRINGAR	8
1 INNGANGUR	9
1.1 Bakgrunnur verkefnisins	9
1.2 Blöndustöð	9
2 VISTFERILSGREINING FYRIR BLÖNDUSTÖÐ	11
2.1 Markmið og umfang	11
2.2 Aðgerðareining og líftími	11
2.3 Kerfismörk	11
2.4 Umhverfisáhrif	13
3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA	14
3.1 Framleiðslu- og framkvæmdafasi (A1-A5)	14
3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)	18
3.3 Endurvinnsla úrgangs (D)	21
4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR	22
4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Blöndustöðvar (A-D)	22
4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi	23
4.3 Umhverfisáhrif á mismunandi fösum vistferils	24
4.4 Kolefnisspor	27
4.5 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Blöndustöðvar	29
4.6 Orkubúskapur	31
5 UMRÆÐUR	33
5.1 Gæði gagna	33
5.2 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum á norðurslóðum	33
5.3 Hvar losna gróðurhúsalofttegundirnar?	35
5.4 Kolefnisspor orkugjafa	37
5.5 Tækifæri til úrbóta	38
6 LOKAORÐ	41
7 HEIMILDASKRÁ	43

## MYNDASKRÁ

MYND 1	Blöndustöð stendur á brún norðanverðs hálendisins við enda Kjalvegjar.	10
MYND 2	Yfirlitsmynd af virkjunarsvæðinu og langsnið í vatnsvegi Blöndustöðva	10
MYND 3	Einfölduð mynd af kerfismörkum vistferilsgreiningarinnar.	12
MYND 4	Umhverfisáhrif frá vinnslu 1 kWst raforku í Blöndustöð.	22
MYND 5	Myndin sýnir innbyrðis vægi sjö flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum	23
MYND 6	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti á framleiðslu- og framkvæmdafasa	24
MYND 7	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti í rekstri Blöndustöðvar	25
MYND 8	Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir endurvinnslu úrgangs	26
MYND 9	Kolefnisspor Blöndustöðvar er 20,4 gCO <sub>2</sub> ígildi fyrir hverja unna kWst	27
MYND 10	Gróðurhúsaáhrif einstakra þátta í kolefnisspori Blöndustöðvar.	28
MYND 11	Heildarorkuvinnsla og orkuþörf yfir vistferil Blöndustöðvar	31
MYND 12	Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa [1, 2, 3, 28].	32
MYND 13	Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa [1, 2, 3, 28].	32
MYND 14	Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Blöndustöðvar skiptist	36
MYND 15	Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Blöndustöðvar ( <i>losun frá lónum undanskilin</i> ) skiptist	36
MYND 16	Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum	38
MYND 17	Niðurstöður vistferilsgreininga fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsafli	38

## TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1	Hlutar vistferils raforkuvinnslu í Blöndustöð sem liggja innan kerfismarkna og flokkun samkvæmt EN 15978/EN15804.	12
TAFLA 2	Byggingar, lokumannvirki og yfirföll sem tekið er tillit til í vistferilsgreiningu Blöndustöðvar.	15
TAFLA 3	Lykiltölur vegna bygginga og mannvirkja Blöndustöðvar.	15
TAFLA 4	Mannvirki sem flokkast undir stíflur og göng	15
TAFLA 5	Lykiltölur fyrir framkvæmdir við stíflur og göng.	16
TAFLA 6	Vél- og rafbúnaður í stöðvarhúsi sem tekið er tillit til í vistferilsgreiningunni.	16
TAFLA 7	Lykiltölur fyrir vél- og rafbúnað.	17
TAFLA 8	Áætluð eldsneytisnotkun við framkvæmdir við Blöndustöð.	17
TAFLA 9	Áætluð raforkunotkun við framkvæmdir við Blöndustöð.	18
TAFLA 10	Ferðir starfsmanna verktaka, eftirlits og Landsvirkjunar.	18
TAFLA 11	Lykiltölur fyrir rekstur Blöndustöðvar í 100 ár.	19
TAFLA 12	Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæða Blöndustöðvar (efstu 30 cm)	20
TAFLA 13	Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO <sub>2</sub> og CH <sub>4</sub> ) frá lónum	20
TAFLA 14	Reiknuð súrefnisupptaka vegna losunar CO <sub>2</sub> í andrúmsloft frá lónum	20
TAFLA 15	Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni	21
TAFLA 16	Hlutfallsleg skiptingu áhrifa (%) í metnum flokkum umhverfisáhrifa	30
TAFLA 17	Orkubúskapur Blöndustöðvar á 100 ára líftíma	31
TAFLA 18	Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum	34
TAFLA 19	Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum	35
TAFLA 20	Kolefnisspor vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum [2, 3, 30, 31, 32]	37



## 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 <sub>2</sub> ) og annarra gróðurhúsalofttegunda sem rekja má til athafna mannsins og hefur áhrif á loftslagsbreytingar. Kolefnisspor er gefið upp í CO <sub>2</sub> -ígildum.
LCIA	Niðurstöður vistferilsgreiningar ( <i>e. Life Cycle Impact Assessment</i> ).
Orkuarðsemi	( <i>e. Energy return on investment, EROI, eða Harvest factor</i> ). Hlutfall milli heildarorkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar hennar á líftíma. Stærðin er notuð til að bera saman þá orku sem nýtist samfélaginu með orkuvinnslu við þá orku sem þarf til að geta nýtt hana
Orkuþörf yfir vistferil	( <i>e. Primary energy demand, PED, eða Cumulative energy demand, CED</i> ). Samanlögð orkuþörf aflstöðvar á öllum vistferli hennar. Orkan er gefin upp í samræmi við orkuinnihald orkugjafa, t.d. orkuinnihaldi eldsneytis eða virkjanlegri fallorku vatns.
Stöðlun	( <i>e. Normalization</i> ). Við stöðlun eru niðurstöður settar í samhengi við heildarlosun á ákveðnu svæði eða heildarlosun einstaklings.
Umhverfisáhrifaflokkur	( <i>e. Environmental impact category</i> ). Flokkur sem vísar til tegundar umhverfisáhrifa. Dæmi um umhverfisáhrifaflokk eru gróðurhúsaáhrif, eyðing auðlinda, svifryk, visteiturhrif og næringarefnaauðgun.
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

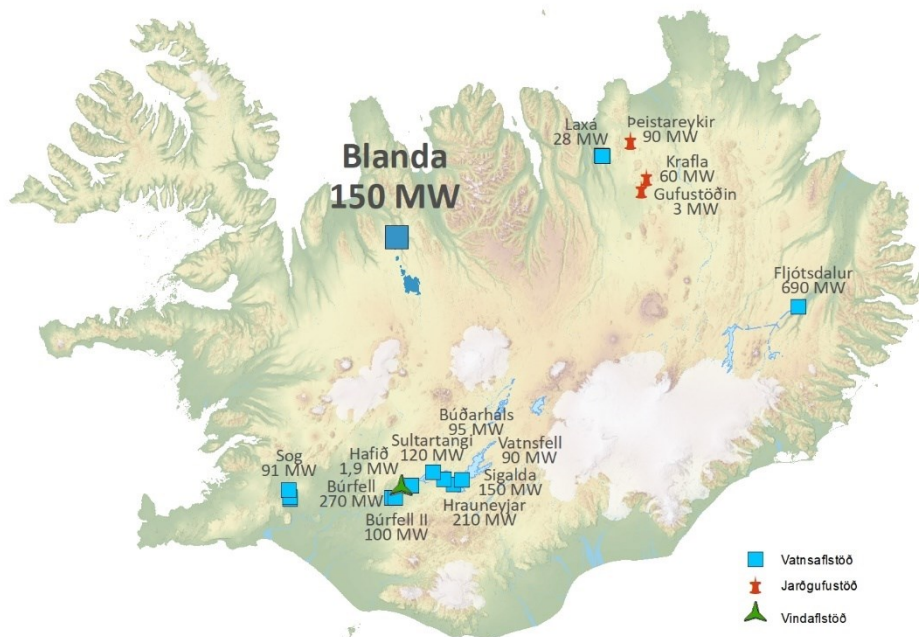
Markmið þessa verkefnis er að greina og meta umhverfisáhrif raforkuvinnslu í vatnsaflsstöð Landsvirkjunar, Blöndustöð. Stöðin var tekin í notkun árið 1991 og stendur á brún norðanverðs hálendisins við enda Kjalveggar (mynd 1). Verkefnið er liður í að meta umhverfisáhrif raforkuvinnslu í aflstöðvum Landsvirkjunar [1, 2, 3]. Matið er framkvæmt með aðferðarfræði vistferilsgreiningar (e. *Life Cycle Assessment, LCA*) í samræmi við alþjóðlegu staðlana ISO 14040 [4], ISO 14044 [5] og ISO 14067 [6].

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 virðisæðju 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. Þannig getur Landsvirkjun veitt raforkunotendum áreiðanlegar upplýsingar um umhverfisáhrif orkuvinnslunnar.

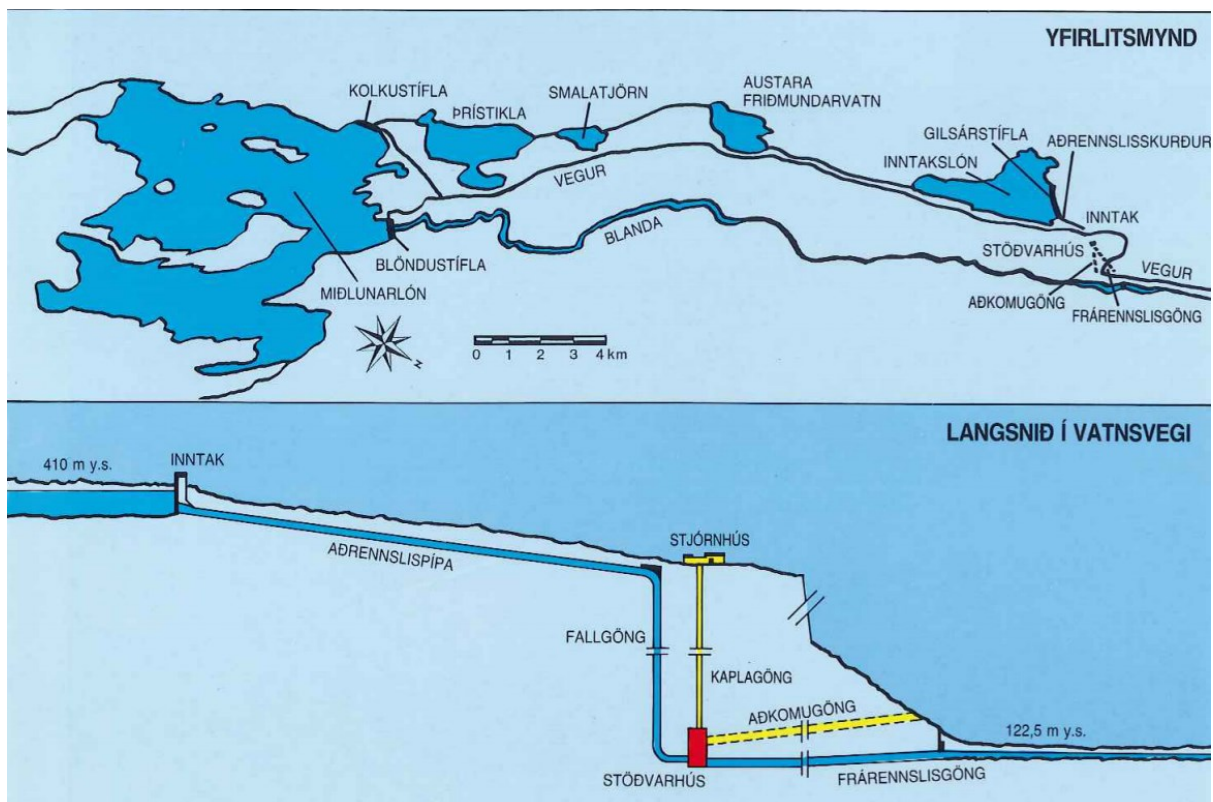
### 1.2 Blöndustöð

Uppsett afl Blöndustöðvar er 150 MW og mynda þrjár jarðvegsstíflur miðlunarlón virkjunarinnar. Þetta eru Blöndustífla, Kolkustífla og Gilsárstífla sem mynda Blöndulón og Gilsárlón. Vatni er veitt frá Blöndulóni um veituskurð að inntakslóni (Gilsárlóni) þaðan sem vatnið rennur frá inntaki í stálpípu að þremur vélum í stöðvarhúsi. Stöðvarhúsið er staðsett rúmlega 200 metra undir yfirborði. Frá vélunum rennur vatnið um frárennslisgöng og skurð sem opnast út í farveg Blöndu (mynd 2). Framkvæmdir

vegna virkjunarinnar hófust árið 1981 með undirbúningsverkum og stóðu þær yfir, með hléum, fram til ársins 1992 [7].



**MYND 1** Blöndustöð stendur á brún norðanverðs hálendisins við enda Kjalvegjar.



**MYND 2** Yfirlitsmynd af virkjunarsvæðinu og langsníð í vatnsvegi Blöndustöðva[8].

## 2 VISTFERILSGREINING FYRIR BLÖNDUSTÖÐ

### 2.1 Markmið og umfang

Markmið vistferilsgreiningarinnar er að meta umhverfisáhrif og notkun auðlinda við vinnslu raforku í Blöndustöð. Árið 2001 var gerð vistferilsgreining fyrir stöðina [9] en vegna mikillar þróunar á aðferðarfræði vistferilgreininga á síðastliðnum árum og aukið umfang bakgrunnsgagna er mikilvægt að uppfæra þá greiningu í samræmi við nýjustu þekkingu og aðferðir. Vistferilsgreiningin nær til vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og vélbúnaðar, flutningsferla, byggingu Blöndustöðvar 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 [4, 5] og ISO 14067 [6] sem byggir á fyrrgreindum stöðlum. Einnig er fylgt leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisfirlýsinga (e. *Environmental Product Declaration*) til að tryggja að niðurstöðurnar séu samanburðarhæfar við sambærilegar greiningar sem m.a. eru gerðar á Norðurlöndunum [10]. Þá er einnig unnið í samræmi við Evrópuþaðlana EN 15978 og EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði [11, 12].

### 2.2 Aðgerðareining og líftími

Aðgerðareining vistferilsgreiningarinnar er skilgreind **1 kWst raforka unnin í Blöndustöð**. Umhverfisáhrif og notkun auðlinda við vinnslu raforkunnar eru reiknuð fyrir hverja unna kWst í stöðinni. Reiknað er með 100 ára líftíma stöðvarinnar [10]. Orkuvinnslugeta stöðvarinnar er 990 GWst á ári. Á 100 ára líftíma er því reiknað með að orkuvinnslan sé 99 TWst.

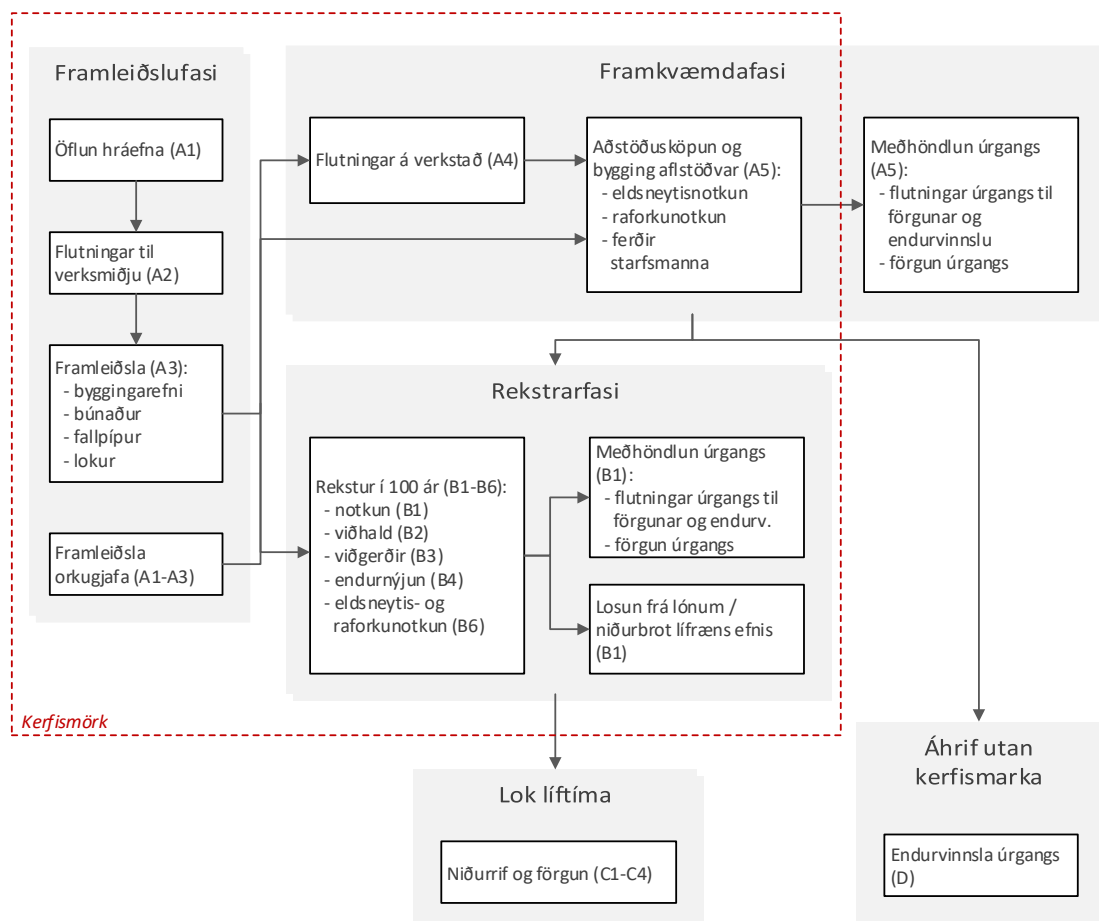
### 2.3 Kerfismörk

Kerfismörk vistferilsgreiningarinnar fela í sér vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og búnaðar, flutninga hráefna, byggingarefna, búnaðar og úrgangs, byggingu Blöndustöðvar 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 [10]. Þessi nálgun er í samræmi við aðrar vistferilsgreiningar sem gerðar hafa verið fyrir vatnsaflsstöðvar. Þá sinnir Landsvirkjun viðamiklu viðhaldsstarfi í vatnsaflsstöðvum sínum og því er það metið að þessi nálgun sé rétt. Í töflu 1 má sjá hvaða hlutar vistferilsins falla innan kerfismarka greiningarinnar og flokkun samkvæmt EN 15978/EN15804. Þá er einfölduð mynd af kerfismörkun vistferilsgreiningarinnar sýnd á mynd 3.

**TAFLA 1** Hlutar vistferils raforkuvinnslu í Blöndustöð sem liggja innan kerfismarka og flokkun samkvæmt EN 15978/EN15804.

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



**MYND 3** Einfölduð mynd af kerfismörkun vistferilsgreiningarinnar. Greiningin felur í sér vinnslu auðlinda, framleiðslu hráefna, byggingarefna og búnaðar, flutninga hráefna, byggingarefna og búnaðar, byggingu Blöndustöðvar sem og rekstur og viðhald stöðvarinnar á 100 ára líftíma ásamt losun frá lónum.

## 2.4 Umhverfisáhrif

Við vistferilsgreininguna er notast við aðferðir CML við mat á umhverfisáhrifum. Þetta er í samræmi við þær kröfur sem gerðar eru fyrir birtingu niðurstaða fyrir orkuvinnslu í umhverfisyfirlýsingum og í samræmi við EN15978/EN 15804 um sjálfbærni í byggingariðnaði. Umhverfisáhrif fyrir eftirfarandi flokka eru metin:

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

Þessum flokkum er nánar lýst í viðauka A. Til viðbótar eru einnig metnir mikilvægir þættir sem varða orkubúskap aflstöðvarinnar; þ.e. orkuþörf á 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*), sjá kafla 4.6.

### 3 ÖFLUN OG MEÐHÖNDLUN GAGNA

Í þessu verkefni voru notaðar upplýsingar sem safnað var fyrir vistferilsgreiningu fyrir Blöndustöð sem unnin var árið 2001 [9], auk þess sem frekari upplýsingar um framkvæmdirnar sem og rekstur og viðhald stöðvarinnar voru fengnar frá Landsvirkjun. Einnig var losun frá uppistöðulónum virkjunarinnar metin. Söfnun upplýsinga er lýst nánar hér að neðan. Notaður var hugbúnaðurinn GaBi (Version 6.0) 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 Framleiðslu- og framkvæmdafasi (A1-A5)

Framleiðslu- og framkvæmdafasi vegna Blöndustöðvar eru skilgreindir sem:

- Framleiðsla og flutningar byggingarefna fyrir byggingu aflstöðvar (A1-A4).
- Framleiðsla og flutningar alls vél- og rafbúnaðar (A1-A4).
- Orkunotkun við framkvæmdir (A5).
- Ferðir starfsmanna verktaka (A5).

##### 3.1.1 Framleiðsla og flutningar byggingarefna (A1-A4)

###### 3.1.1.1 Byggingar

Upplýsingar um byggingarefni fyrir allar byggingar Blöndustöðvar, lokumannvirki, yfirföll og malbikuð plön og vegi voru fengnar úr fyrri vistferilsgreiningu fyrir Blöndustöð [9]. Þær byggingar og mannvirki sem um ræðir má sjá í töflu 2. Lykiltölur fyrir byggingarefni mannvirkja Blöndustöðvar má sjá í töflu 3.

**TAFLA 2** Byggingar, lokumannvirki og yfirföll sem tekið er tillit til í vistferilsgreiningu Blöndustöðvar.

BYGGINGAR OG MANNVIRKI BLÖNDUSTÖÐVAR
Stöðvarhús
Stjórnhús
Starfsmannahús
Verkstæði
Íbúðarhús stöðvarstjóra
Lokuhús við Blöndu, Kolku, Gilsá og inntak
Yfirföll við Fiskilæk og Smalatjörn
Malbikuð plön og vegir

**TAFLA 3** Lykiltölur vegna bygginga og mannvirkja Blöndustöðvar.

BYGGINGAREFNI	HEILDARMAGN	MAGN Á UNNA KWST
Steypa	59.580 m <sup>3</sup>	6,9E-07 m <sup>3</sup> /kWst
Steypustyrktarjárn	2.587 tonn	3,0E-08 tonn/kWst
Malbik	48.300 m <sup>2</sup>	5,6E-07 m <sup>2</sup> /kWst
Ál	14 tonn	1,7E-10 tonn/kWst
Járn og stál	155 tonn	1,8E-09 tonn/kWst
Málning	6.085 L	7,1E-08 L/kWst
Plast (PEX)	469 kg	5,4E-09 kg/kWst

### 3.1.1.2 Stíflur og göng

Upplýsingar um vinnslu jarðefna, magn steinsteypu, steypustyrktarstáls, sementsefju, sprautusteypu, stálnets og stáls fyrir stíflur og jarðgöng voru fengin úr lokaskýrslu framkvæmda [7]. Annars vegar er um að ræða mannvirki sem staðsett eru ofanjarðar og hins vegar mannvirki neðanjarðar. Þau mannvirki sem um ræðir má sjá í töflu 4 og lykiltölur fyrir byggingarefni þeirra má sjá í töflu 5.

**TAFLA 4** Mannvirki sem flokkast undir stíflur og göng, annars vegar ofanjarðar og hins vegar neðanjarðar [7].

MANNVIRKI OFANJARÐAR	MANNVIRKI NEÐANJARÐAR
Blöndustífla	Aðkomugöng
Yfirfall Blöndustíflu	Stöðvarhús
Kolkustífla	Frárennslisgöng
Gilsárstífla	Annað neðanjarðar
Minni stíflur	
Veituskurðir	
Aðrennsliskurður	
Frárennslisskurður	

**TAFLA 5** Lykiltölur fyrir framkvæmdir við stíflur og göng.

BYGGINGAREFNI	HEILDARMAGN	MAGN Á UNNA KWST
Uppgrafið og sprengt efni	2.289.800 m <sup>3</sup>	2,7E-05 m <sup>3</sup> /kWst
Sprengiefni	206.427 kg	2,4E-06 kg/kWst
Fylling	2.536.100 m <sup>3</sup>	2,9E-05 m <sup>3</sup> /kWst
Steypa	27.000 m <sup>3</sup>	3,1E-07 m <sup>3</sup> /kWst
Sprautusteypa	5.096 m <sup>3</sup>	5,9E-08 m <sup>3</sup> /kWst
Sementsefja	691 m <sup>3</sup>	8,0E-09 m <sup>3</sup> /kWst
Steypustyrktarstál	1.320 tonn	1,5E-08 tonn/kWst
Bergboltar	2.156 stk	2,5E-08 stk./kWst
Stál í aðrennslis- og fallpípur	950 tonn	1,1E-08 tonn/kWst

Gert er ráð fyrir að uppgrafið (laust efni) og sprengt efni sé flutt og haugsett í 1 km fjarlægð frá verkstað og að ökutækið aki tómtil aftur til baka. Reiknað er með eðlisþyngd jarðefna 2.000 kg/m<sup>3</sup>. Fyrir sprengt efni er reiknað með hleðslu sprengiefna á bilinu 0,6 -2,0 kg/m<sup>3</sup> í samræmi við framkvæmdaskýrslu fyrir jarðgangagerð [13]. Fyllingar í stíflur og yfirföll eru ýmist sótt í námur eða hauga og er reiknað með 1 km akstri með efnið í stíflustæði og að ökutæki aki tómtil til baka. Reiknað er með eðlisþyngd fyllingarefna 2.300 kg/m<sup>3</sup>.

Fyrir steinsteypu í byggingar og styrkingar er reiknað með meðalstyrk steypu C30 (360 kg sement/m<sup>3</sup> steypu) og íslensku sementi [14]. Reiknað er með 300 kg af sementi per m<sup>3</sup> af sementsefju [15] og magn sements í sprautusteypu er 525 kg/m<sup>3</sup> [13].

Bergboltar til styrkingar voru aðallega innsteyptir boltar og var sverleiki bolta og bergfesta 20-25 mm (K20 eða K25 kambstál) og boltalengd 3-6 metrar [13]. Meðalþyngd bolta var áætluð 17 kg, þar sem miðað var við 25 mm þvermál og 4,5 metra meðallengd [16].

### 3.1.2 Framleiðsla og flutningar vél- og rafbúnaðar (A1-A4)

Notast var við upplýsingar frá vistferilsgreiningunni frá árinu 2001 um framleiðslu vél- og rafbúnaðar [9]. Um er að ræða upplýsingar um alla hráefnanotkun fyrir búnaðinn en ekki orkunotkun við framleiðslu hans. Allir spennar í eigu Landsvirkjunar sem staðsettir eru í Blöndustöð eru með olíu til einangrunar. Spennar sem staðsettir eru í aflstöðinni og eru í eigu Landsnets eru utan kerfismarkagreiningarinnar og tilheyra flutningskerfi raforkunnar. Í töflu 6 má sjá þann vél- og rafbúnað sem tekið er tillit til í vistferilsgreiningunni.

**TAFLA 6** Vél- og rafbúnaður í stöðvarhúsi sem tekið er tillit til í vistferilsgreiningunni.

BÚNAÐUR
Hverflar
Rafalar
Spennar
Lokur og þrýstivatnspípur
Stöðvarhússkrani

Hverflar, rafalar og stjórnþúnaður Blöndustöðvar voru framleiddir í Japan og er gert ráð fyrir að þessi búnaður sé fluttur 22.000 km með sjóflutningum. Lokur og þrýstivatnspípur komu frá Slóveníu og er hér gert ráð fyrir 7.000 km sjóflutningum en gert er ráð fyrir 2.500 km sjóflutningum fyrir annan búnað.

Auk þess er gert ráð fyrir að allur búnaður sé fluttur samtals 500 km á flutningabíl, erlendis og á Íslandi. Lykiltölur fyrir vél- og rafbúnað má sjá í töflu 7.

**TAFLA 7** Lykiltölur fyrir vél- og rafbúnað.

BYGGINGAREFNI	HEILDARMAGN	MAGN Á UNNA KWST
Svart stál	3.600 tonn	4,2E-08 tonn/kWst
Ryðfrítt stál	524 tonn	6,1E-09 tonn/kWst
Galvaniserað járn	48 tonn	5,6E-10 tonn/kWst
Annað járn	129 tonn	1,5E-09 tonn/kWst
Kopar	4.000 kg	4,6E-08 kg/kWst
Ál	31.020 kg	3,6E-07 kg/kWst
Plast (PEX og trefjaplast)	9.400 kg	1,1E-07 kg/kWst
Gúmmí	1.000 kg	1,2E-08 kg/kWst
Vélaolía	127.100 L	1,5E-06 L/kWst

### 3.1.3 Orkunotkun við framkvæmdir (A5)

Upplýsingum um eldsneytis- og raforkunotkun á framkvæmdatíma Blöndustöðvar var ekki haldið til haga og þurfti því að áætla alla orkunotkun við framkvæmdina. Reynslutölur vegna virkjunarframkvæmda við Búðarháls voru notaðar til að áætla dísilolíu- og raforkunotkun við framkvæmdir við Blöndustöð.

#### 3.1.3.1 Eldsneytisnotkun við framkvæmdir

Áætlunin fyrir dísilolíu grundvallast á hlutfallslegri notkun dísilolíu við Búðarháls miðað við magn uppgrftar og fyllinga í þeirri framkvæmd (tafla 8). Að auki var leiðrétt fyrir notkun eldri tækja við byggingu Blöndustöðvar en við Búðarháls. Miðað var við að ökutæki og vélar við Búðarháls uppfylltu Euro 4 mengunarstaðal frá árinu 2005, en að ökutæki og vélar við Blöndu væru framleidd á bilinu frá 1986-1990. Því var eldsneytisnotkun aukin um 15%, skv. heimildum í GaBi hugbúnaðinum [17].

**TAFLA 8** Áætlun eldsneytisnotkun við framkvæmdir við Blöndustöð.

	MAGN	EINING
<b>Búðarháls:</b>		
Eldsneytisnotkun Búðarhálsi 2011 - 2013	4.900.635	lítrar
Magn uppgrftar og fyllingar	2.497.497	m <sup>3</sup>
Hlutfall olíu og jarðefna	1,96	L/m <sup>3</sup>
<b>Blanda:</b>		
Magn uppgrftar og fyllingar	4.774.740	m <sup>3</sup>
Öryggisstuðull vegna eldri ökutækja	15%	
<b>Áætlun eldsneytisnotkun við Blöndustöð</b>	<b>10.774.446</b>	<b>L</b>
	<b>1,3E-04</b>	<b>L/kWst</b>

### 3.1.3.2 Raforkunotkun við framkvæmdir

Áætluð raforkunotkun við framkvæmdir við Blöndustöð grundvallast á raforkunotkun vegna framkvæmda við Búðarháls þar sem í heild voru unnin 900 ársverk. Sú raforkunotkun er sett í samhengi við framkvæmdina á Blöndustöð þar sem unnin voru 820 ársverk (tafla 9). Á framkvæmdarárum Blöndustöðvar, 1988-1991 var raforkuvinnsla á Íslandi mestmegnis með vatnsafli (94%) en einnig jarðvarma (<6%) og jarðefnaeldsneyti (0,12%). Við útreikninga er reiknað með þessari skiptingu á uppruna raforkunnar sem notuð var á framkvæmdastað.

**TAFLA 9** Áætluð raforkunotkun við framkvæmdir við Blöndustöð.

	MAGN	EINING
<b>Búðarháls:</b>		
Fjöldi ársverka	900	ársverk
Raforkunotkun Búðarhálsi	36.064	MWst
<b>Blanda:</b>		
Fjöldi ársverka	820	ársverk
<b>Áætluð raforkunotkun við Blöndustöð</b>	<b>32.858</b>	<b>MWst</b>

### 3.1.4 Ferðir starfsmanna (A5)

Upplýsingum um ferðir starfsmanna á byggingartíma var safnað árið 2001 [9]. Í heildina var um 820 ársverk að ræða og var áætlað að ferðir starfsmanna frá heimili á byggingarstað væri samkvæmt upplýsingum í töflu 10.

**TAFLA 10** Ferðir starfsmanna verktaka, eftirlits og Landsvirkjunar.

FERÐIR STARFSMANNA
30% starfsmanna ferðuðust 400 km 25 sinnum á ári í dísilknúnu ökutæki
55% starfsmanna ferðuðust 100 km 75 sinnum á ári í dísilknúnu ökutæki
10% starfsmanna ferðuðust 60 km 220 sinnum á ári í dísilknúnu ökutæki
5% starfsmanna ferðuðust 600 km 3-4 sinnum á ári í dísilknúnu ökutæki
5% starfsmanna ferðuðust 4000 km 3-4 sinnum á ári með flugi

## 3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)

Rekstrarfasi stöðvarinnar felur í sér almennan rekstur stöðvarinnar og losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum.

### 3.2.1 Rekstur aflstöðvar (B1-B6)

Magn úrgangs og spilliefna á rekstartíma auk upplýsinga um eldsneytisnotkun er fengið úr grænu bókhaldi Landsvirkjunar og var reiknað meðaltal rekstraráranna 2013-2017 í Blöndustöð. Upplýsingar um móttökuaðila og meðhöndlun úrgangs og spilliefna frá stöðinni var fenginn úr úttekt Landvirkjunar á sormálum innan aflstöðva fyrirtækisins [18] auk upplýsinga frá stöðvarstjóra aflstöðvarinnar.

Notkun hráefna fyrir viðhald vél- og rafbúnaðar er það sama og áætlað var í vistferilsgreiningunni frá árinu 2001 [9]. Gert er ráð fyrir að allt efni til viðhalds sé innflutt og að sama magni hráefna og notað er til viðhalds sé einnig fargað eða endurunnið.

Upplýsingar um eigin raforkunotkun Landsvirkjunar til rekstrar Blöndustöðvar voru fengnar frá Landsvirkjun. Lykiltölur fyrir rekstur Blöndustöðvar í 100 ár má sjá í töflu 11.

**TAFLA 11** Lykiltölur fyrir rekstur Blöndustöðvar í 100 ár.

REKSTRARTÖLUR	HEILDARMAGN		MAGN Á UNNA KWST	
Úrgangur á 100 ára rekstrartíma:				
Óflokkaður úrgangur	393.806	kg	4,6E-06	kg/kWst
Flokkaður úrgangur	334.873	kg	3,9E-06	kg/kWst
Spilliefni	61.537	kg	7,1E-07	kg/kWst
Viðhald á 100 ára rekstrartíma:				
Svart stál	100.000*	kg	1,2E-06	kg/kWst
Ryðfrítt stál	20.000*	kg	2,3E-07	kg/kWst
Kopar	40	kg	4,6E-10	kg/kWst
Ál	50*	kg	5,8E-10	kg/kWst
Strengir	150	kg	1,7E-09	kg/kWst
Gúmmí	30.000	kg	3,5E-07	kg/kWst
Vélaolía	50.700*	kg	5,9E-07	kg/kWst
Umbúðir	100.000*	kg	1,2E-06	kg/kWst
Raforkunotkun og töp	13.381.000	kWst	1,6E-05	kWst/kWst
Bensínnotkun	18.660	L	2,2E-07	L/kWst
Dísilólíunotkun	1.792.920	L	2,1E-05	L/kWst

\* Sama magni efna er fargað/endurunnið vegna endurnýjunar.

### 3.2.2 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum (B1)

Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum er metið með sama hætti og í vistferilsgreiningum sem birtar hafa verið fyrir Búðarhálsstöð og Fljótsdalsstöð [2, 3]. Notast er við niðurstöður rannsóknar Háskóla Íslands og Landgræðslu ríkisins sem fram fór að Búðarhálsi í lónstæði Sporðöldulóns í september árið 2013 [19]. Í rannsókninni var jarðvegssýnum safnað á 12 mismunandi stöðum innan lónstæðis áður en land fór undir vatn. Á rannsóknarstofu voru sýni úr jarðvegskjörnum bleytt að „field capacity“ og losun koltvísýrings frá jarðvegi var mæld við staðlaðar aðstæður (25°C) í 365 daga og 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 [19]. Á grundvelli niðurstaða þessarar rannsóknar er í þessari greiningu reiknað með að 10% þess kolefnis sem fyrir finnst í lónstæðum losni úr efstu 30 cm jarðvegslags á 100 ára líftímanum.

Í töflu 12 má sjá magn kolefnis í lónstæðum Blöndulóns og Gilsárlóns samkvæmt mælingum Landbúnaðarháskóla Íslands á magni kolefnis í borkjörnum sem teknir voru í lónstæðunum [20]. Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæðanna var svo metið byggt á vegnu meðaltali fyrir mismunandi gróðurþekju lónstæðanna. Lónstæði Gilsárlóns var að mestu þakið múrlandi og var þar einnig nokkuð mólendi en í Blöndulóni var stærsti hluti lónstæðis þakinn mólendi auk þess sem hluti þess var múrlandi og ógróið land.

Þá er gert ráð fyrir að 10% af kolefninu sem losnar úr jarðveginum losni sem metan (CH<sub>4</sub>) og 90% losni sem koltvísýringur (CO<sub>2</sub>) [21]. Þetta er í samræmi við mat Landbúnaðarháskóla Íslands á árlegri losun frá lónum Landsvirkjunar sem birt er m.a. í grænu bókhaldi Landsvirkjunar. Samkvæmt ofangreindu er árleg losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar metin 18.313 tonn CO<sub>2</sub> ígildi og því er heildarlosun metin um 1.831 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígildi á 100 árum (tafla 13). Þess ber að geta að í fimmtu úttektarskýrslu Milliríkjanefndar um loftslagsbreytingar (IPCC) er eingöngu gefin upp losun metans frá lónum, en ekki koltvísýrings [22]. Talið er að kolefni í jarðvegi sem losnar á formi koltvísýrings í andrúmsloft losni óháð myndun lóna. Þar sem stærðargráða þessarar losunar CO<sub>2</sub> er hins vegar ekki þekkt eru báðar lofttegundir teknar inn í kolefnisspor orkuvinnslunnar í þessari greiningu. Því er hér heldur um varfærið mat að ræða.

**TAFLA 12** Meðaltal kolefnis í jarðvegi lónstæða Blöndustöðvar (efstu 30 cm), stærð lóna þar sem ekki var vatn fyrir og áætlað magn kolefnis sem losnar í andrúmsloft á 100 árum.

	KOLEFNI Í LÓNSTÆÐI (KG C/M <sup>2</sup> ) [20]	STÆRÐ LÓNS (KM <sup>2</sup> )	ÁÆTLAÐ MAGN KOLEFNIS SEM LOSNAR Í ANDRÚMSLOFT Á 100 ÁRUM (KG C)
Blöndulón	38,9	57	221.730.000
Gilsárlón	108,7	5	54.350.000
<b>Samtals:</b>	<b>44,5*</b>	<b>62</b>	<b>276.080.000</b>

\* Vegið meðaltal

**TAFLA 13** Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda (CO<sub>2</sub> og CH<sub>4</sub>) frá lónum Blöndustöðvar á 100 árum.

	LOSUN CO <sub>2</sub> (TONN)	LOSUN CO <sub>2</sub> /KWST (g)	LOSUN CH <sub>4</sub> (TONN)	LOSUN CH <sub>4</sub> /KWST (g)
Lón Blöndustöðvar	911.064	9,2	36.811	0,37*

\* Samsvarar 9,3 gCO<sub>2</sub> ígildum m.v. hnatthýlnunarmátt metans = 25.

### 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 CO<sub>2</sub>. 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 CO<sub>2</sub> á styrk súrefnis í lóninu, í samræmi við leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [10]. Súrefnisupptakan er gefin upp sem 2,67 gCOD fyrir hvert gramm kolefnis sem losnar sem CO<sub>2</sub>. Í töflu 14 má sjá reiknaða súrefnisupptöku. Ekki var tekið tillit til hugsanlegrar losunar fosfórs í lónið sbr. leiðbeiningar um gerð umhverfisyfirlýsinga [10].

**TAFLA 14** Reiknuð súrefnisupptaka vegna losunar CO<sub>2</sub> í andrúmsloft frá lónum[10].

REIKNUÐ SÚREFNISUPPTAKA	MAGN
tonn COD	663.420
g COD/kWst	7,3

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 Endurvinnsla úrgangs (D)

Ávinningur þess að endurvinna úrgang sem myndast í rekstrarfasa er metinn í vistferilsgreiningunni. Um er að ræða úrgang frá almennum rekstri aflstöðvarinnar og úrgang sem myndast við endurnýjun búnaðar. Reiknað er með að stál, ál, kopar, plast og pappír frá rekstrarfasa fari í endurvinnslu. Upplýsingar um magn úrgangs frá framkvæmdum lágu ekki fyrir og er því ekki tekið inn í greininguna.

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 endurrunna 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 lá ekki fyrir var notast við útgefnar upplýsingar um nýtni endurvinnsluferla [23, 24, 25] (tafla 15).

**TAFLA 15** Forsendur útreikninga fyrir endurvinnsluhlutfall í greiningunni.

EFNI TIL ENDURVINNSLU	ENDURVINNSLUHLUTFALL
Stál	37% [26]
Ál	35% [26]
Plast	75% [25]
Pappír	78% [24]

## 4 NIÐURSTÖÐUR VISTFERILSGREININGAR

### 4.1 Umhverfisáhrif á vistferli Blöndustöðvar (A-D)

Í þessum kafla eru birtar niðurstöður vistferilsgreiningar (e. Life Cycle Impact Assessment, LCIA) fyrir vinnslu á 1 kWst af raforku í Blöndustöð. Niðurstöðurnar eru birtar fyrir sjö flokka umhverfisáhrifa. Á mynd 4 má sjá hvernig umhverfisáhrif skiptast á milli mismunandi stiga vistferils aflstöðvarinnar í hverjum flokki á 100 ára líftíma. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum er ráðandi í flokkunum gróðurhúsaáhrif, myndun ósons við yfirborð og næringarefnaauðgun. Framkvæmdafasinn hefur mest áhrif í flokkunum eyðing jarðefnaeldsneytis og súrnun lands og vatns. Öflun hráefna og framleiðsla byggingarefna og búnaðar veldur mestum áhrifum í flokkunum eyðing ólífrænna auðlinda og eyðingu ósonlagsins, en hefur einnig töluverð áhrif í flokkunum eyðing jarðefnaeldsneytis og súrnun lands og vatns. Þá hefur endurvinnsla úrgangs og endurvinnsla vegna endurnýjunar búnaðar á rekstartíma jákvæð áhrif í öllum flokkum. Farið er nánar í hvaða þættir valda mestum áhrifum hér fyrir aftan.

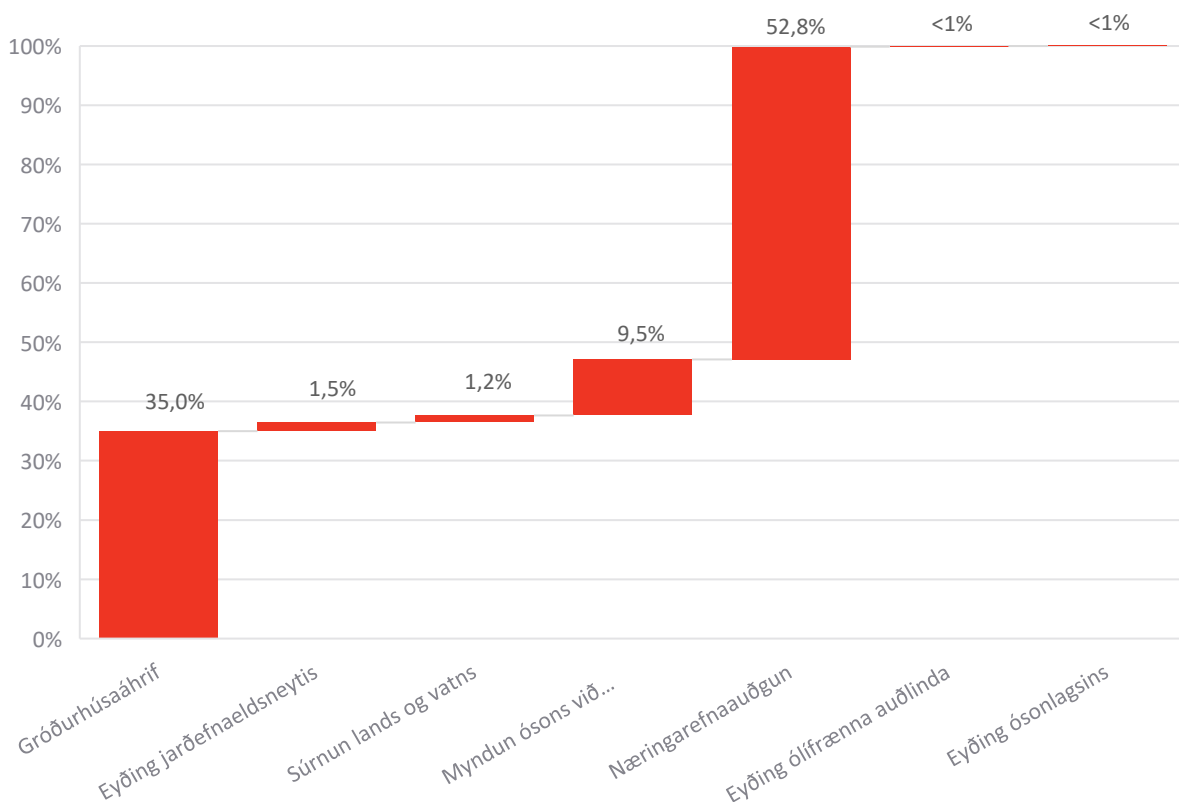


**MYND 4** Umhverfisáhrif frá vinnslu 1 kWst raforku í Blöndustöð. Á myndinni má sjá hlutdeild mismunandi þátta vistferils aflstöðvarinnar á 100 ára líftíma fyrir hvern flokk umhverfisáhrifa.

## 4.2 Vægi umhverfisáhrifaflokka í evrópsku samhengi

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar eru birtar fyrir sjö mismunandi flokka umhverfisáhrifa sem allir hafa mismunandi einingar. Til að greina vægi mismunandi flokka er framkvæmd svokölluð stöðlun og vigtun niðurstaða, en inn í þá aðgerð kemur m.a. inn mannlegt mat á mikilvægi flokka. Við stöðlun eru niðurstöðurnar settar í samhengi við umhverfisáhrif vegna mannglegra athafna sem verða í heiminum eða á ákveðnu svæði, t.d. Evrópu, á einu ári. Vigtun byggir á því að hver flokkur umhverfisáhrifa hefur skilgreint ákveðið vægi sem getur t.d. verið byggt á pólitískum markmiðum um lækun eða á skoðunum sérfræðinga [27].

Hér var notast við viðurkennda aðferðarfræði CML 2001 og við stöðlunina eru niðurstöðurnar settar í samhengi við árlega heildarlosun vegna mannglegra athafna í Evrópu (EU 25+3) árið 2000. Vigtunin byggir á upplýsingum frá árinu 2012 og er mat sérfræðinga alls staðar að úr heiminum þar sem umhverfisáhrifum var gefið vægi á skalanum frá 1-10. Niðurstöður stöðlunar og vigtunar fyrir Blöndustöð, þ.e. innbyrðis vægi þeirra sjö flokka sem hér eru metnir, má sjá á mynd 5. Framlag stöðvarinnar til umhverfisáhrifa í Evrópu er hlutfallslega mest í flokkunum næringarefnaauðgun og gróðurhúsaáhrif samkvæmt þessari aðferðarfræði. Þessar niðurstöður eru ólíkar þeim sem birtar hafa verið fyrir Búðarhálsstöð [2] og Fljótsdalsstöð [3], en í tilfalli Blöndustöðvar er losun frá lónum mun meiri en frá lónum hinna aflstöðvanna og skýrir það muninn. Þegar stöðlun og vigtun var framkvæmd án þess að taka tillit til losunar frá lónum Blöndustöðvar er niðurstaðan samsvarandi þeim sem fengust fyrir Búðarhálsstöð og Fljótsdalsstöð.



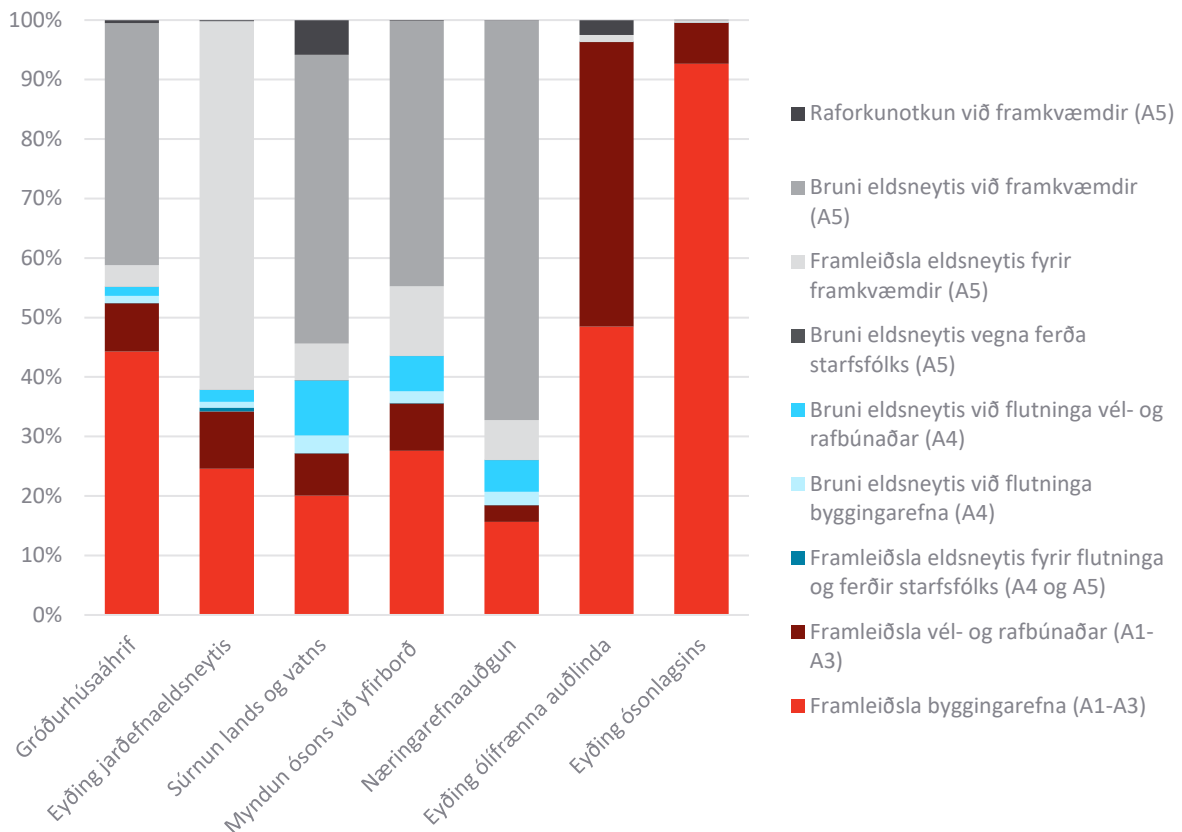
**MYND 5** Myndin sýnir innbyrðis vægi sjö flokka umhverfisáhrifa í heildarumhverfisáhrifum við vinnslu raforku í Blöndustöð yfir 100 ára líftíma. Hér hafa niðurstöður verið staðlaðar og vigtaðar m.v. meðaláhrif vegna mannglegra athafna í Evrópu skv. CML aðferðinni.

### 4.3 Umhverfisáhrif á mismunandi fösum vistferils

#### 4.3.1 Framleiðslu- og framkvæmdafasi (A1-A5)

Á mynd 6 má sjá hvernig umhverfisáhrif mismunandi þátta innan framleiðslu- og framkvæmdafasa Blöndustöðvar skiptast innan hvers flokks áhrifa. Þættir framleiðslu- og framkvæmdafasa eru: framleiðsla byggingarefna, framleiðsla vél- og rafbúnaðar, framleiðsla eldsneytis, bruni eldsneytis vegna aðflutninga og við framkvæmdir sem og raforkunotkun við framkvæmdir. Ekki liggja fyrir upplýsingar um úrgang sem myndaðist á framkvæmdatíma og því er ekki gert grein fyrir flutningum og förgun úrgangs í þessari greiningu. Í vistferilsgreiningum fyrir Búðarhálsstöð og Fljótsdalsstöð var meðhöndlun úrgangs frá framkvæmdum í öllum umhverfisáhrifaflokkum á bilinu 0% - 2% af heildaráhrifum.

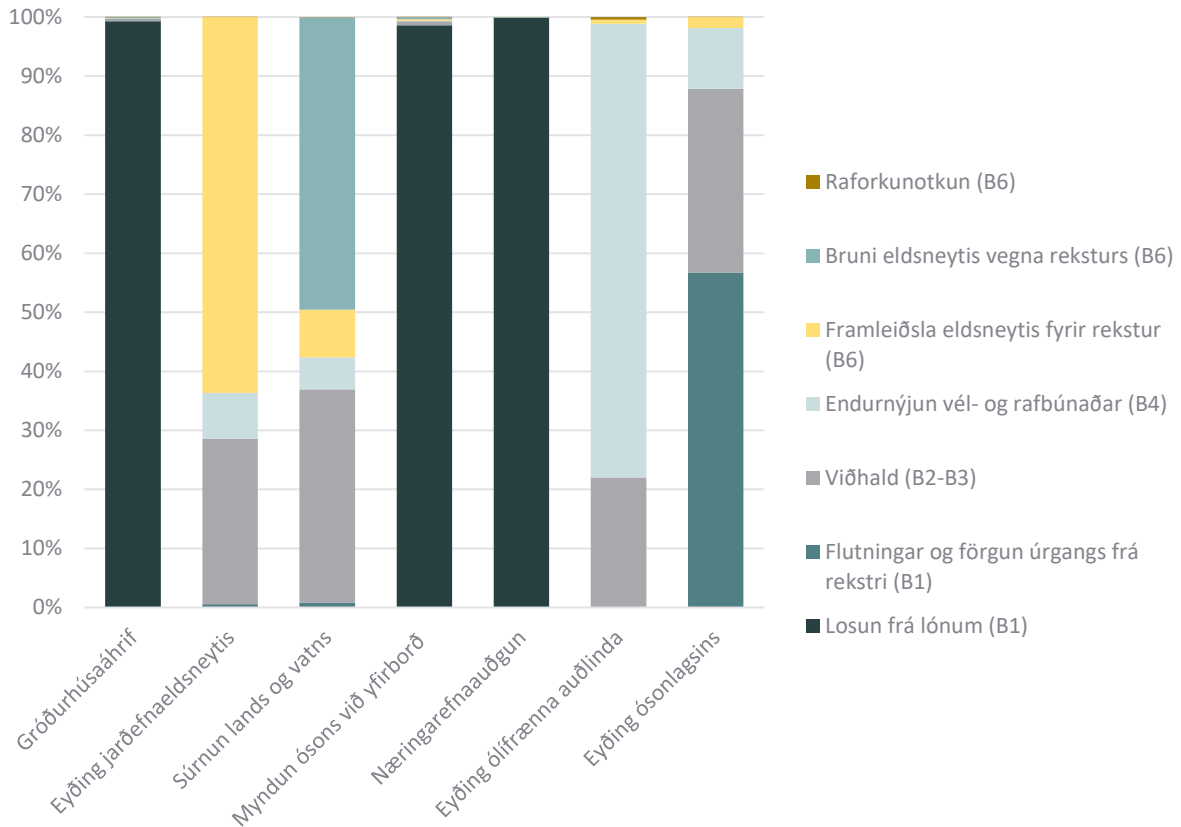
Framleiðsla byggingarefna hefur töluverð áhrif í öllum flokkum umhverfisáhrifa á framleiðslu- og framkvæmdafasa og framleiðsla búnaðar hefur einnig merkjanleg áhrif í öllum flokkum, sérstaklega flokknum eyðing ólífrænna auðlinda vegna vinnslu málma úr jörðu. Þá veldur bruni eldsneytis við framkvæmdir stórum hluta áhrifa í flokkunum gróðurhúsaáhrif, súrnun lands og vatns, myndun ósons við yfirborð og næringarefnaauðgun. Framleiðsla eldsneytis fyrir framkvæmdir veldur einnig þó nokkrum áhrifum og er yfirgnæfandi þáttur í flokknum eyðing jarðefnaeldsneytis, en þar er tekið tillit til vinnslu olíu úr jörðu sem og meðhöndlunar í olíuhreinsistöð.



**MYND 6** Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir mismunandi þætti á framleiðslu- og framkvæmdafasa fyrir Blöndustöð (A1-A5) m.v. vinnslu á 1 kWst raforku. Á myndinni má sjá niðurstöður fyrir þá 7 flokka umhverfisáhrifa sem reiknað er fyrir á 100 ára líftíma.

## 4.3.2 Rekstrarfasi (B1-B6)

Umhverfisáhrif frá mismunandi þáttum rekstrar Blöndustöðvar má sjá á mynd 7. Myndin sýnir hvernig áhrifin skiptast innan hvers flokks umhverfisáhrifa, þ.e. áhrif vegna losunar gróðurhúsalofttegunda frá lónum, flutningum og förgun úrgangs, viðhalds mannvirkja, endurnýjun búnaðar, framleiðsla og bruna eldsneytis og raforkunotkun.



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

Í þremur flokkum áhrifa eru það losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum sem eru ráðandi í flokknum, þ.e. í flokknum gróðurhúsaáhrif, myndun ósons við yfirborð jarðar og næringarefnaauðgun. Gróðurhúsaáhrif vegna losunar gróðurhúsalofttegunda ( $\text{CO}_2$  og  $\text{CH}_4$ ) frá lónum er 19,6 g $\text{CO}_2$  ígildi/kWst. Hér er notast við aðferðarfræði skv. leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir gerð umhverfisýfirlýsingu [10] við mat á næringarefnaauðgun ferskvatns í lóninu, og er reiknað með að kolefni (C) sem binst við súrefni (O) í vatninu og losnar í andrúmsloftið sem  $\text{CO}_2$  valdi því að styrkur súrefnis í vatnsbolnum lækki, sjá nánar í kafla 3.2.2. Reiknuð næringarefnaauðgun ferskvatns er 0,16 g P ígildi/kWst. Að sama skapi er myndun ósons við yfirborð jarðar háð því magni metans sem losnar frá lónum, og eru áhrif vegna myndunar ósons við yfirborð jarðar fundin 0,024 g  $\text{C}_2\text{H}_4$  ígildi/kWst.

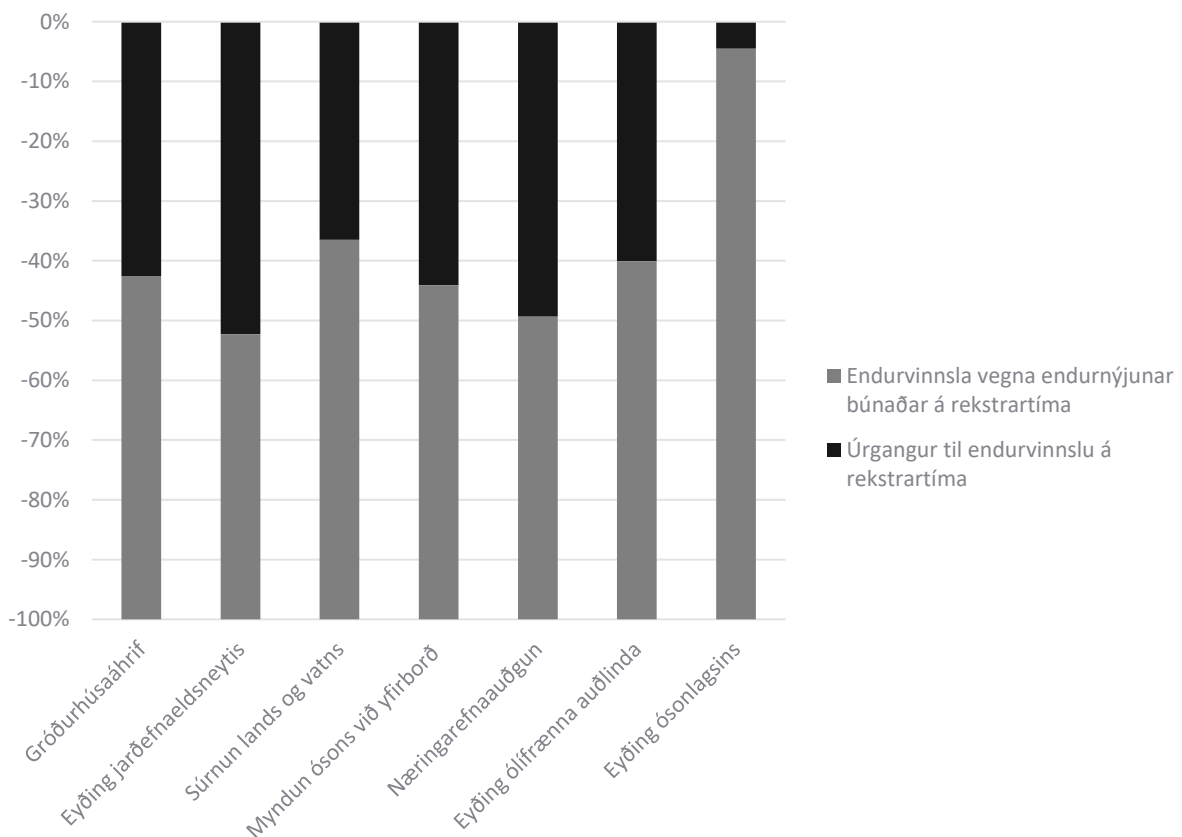
Í flokknum eyðing jarðefnaeldsneytis eru það framleiðsla eldsneytis fyrir rekstur aflstöðvarinnar og viðhald mannvirkja, þ.e. steypuframleiðsla, sem valda stærstum hluta áhrifa. Bruni eldsneytis á rekstartíma og viðhald mannvirkja, þ.e. framleiðsla sements í steypu, veldur stærstum áhrifum í

flokknum súrnun lands og vatns. Þá er endurnýjun búnaðar og viðhald mannvirkja ráðandi í flokknum eyðing ólífrænna auðlinda og valda stórum hluta í flokknum eyðing ósonlagsins, þó förgun spilliefna sé stærsti þátturinn í þeim flokki.

#### 4.3.3 Endurvinnsla (D)

Hér er sýndur ávinningur vegna endurvinnslu fyrir alla 7 flokka umhverfisáhrifa. Um er að ræða endurvinnslu á rekstrartíma frá hefðbundnum rekstri aflstöðvarinnar og endurvinnslu vegna endurnýjunar búnaðar. Upplýsingar um magn og meðhöndlun úrgangs frá framkvæmdatíma liggja ekki fyrir, né upplýsingar um myndun úrgangs við framleiðslu búnaðar.

Með endurvinnslu á rekstrartíma er dregið úr umhverfisáhrifum í öllum flokkum umhverfisáhrifa, um <0,01% - 0,35%, og vegur þyngst endurvinnsla málma. Í flokknum gróðurhúsaáhrif er dregið úr losun sem samsvarar rúmlega 100 tonnum af CO<sub>2</sub> ígildum á líftímanum á rekstrartíma. Það samsvarar losun gróðurhúsalofttegunda frá akstri á meðalfólksbíl<sup>1</sup> um 500 ferðir um hringveginn.

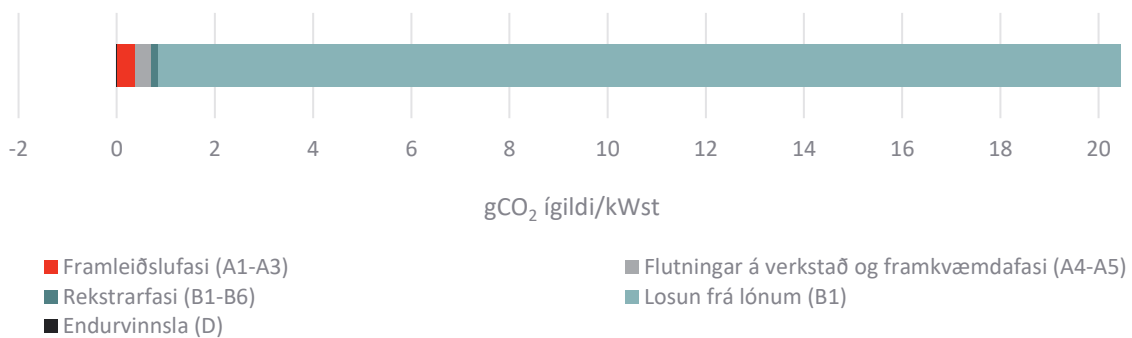


**MYND 8** Hlutfallsleg skipting umhverfisáhrifa fyrir endurvinnslu úrgangs frá rekstri og vegna endurnýjunar búnaðar á 100 ára líftíma Blöndustöðvar.

<sup>1</sup> Miðað er við Toyota Avensis, bensínbíl með losun GHG 0,16 kg CO<sub>2</sub> ígildi/km.

#### 4.4 Kolefnisspor

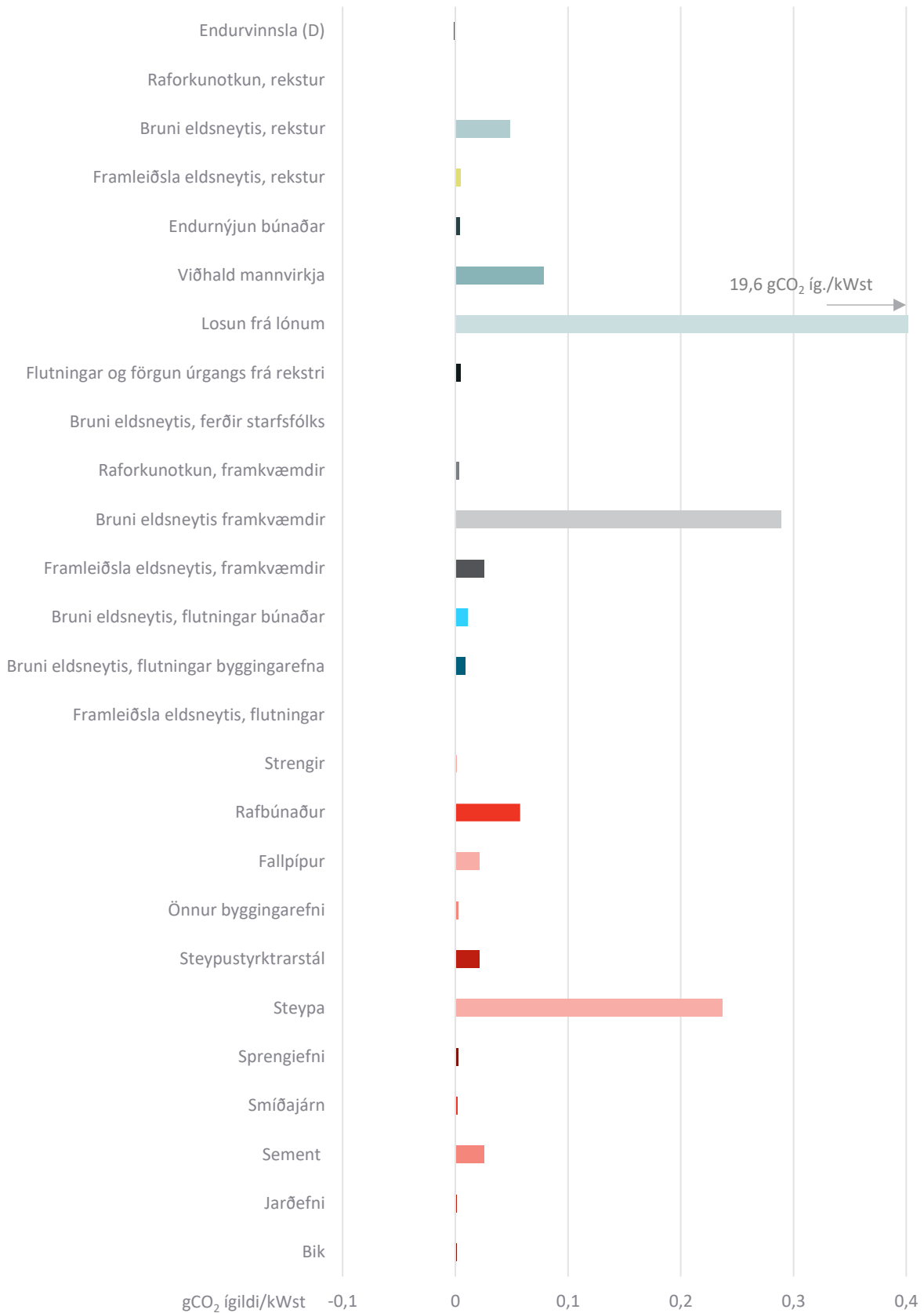
Kolefnisspor Blöndustöðvar á 100 ára líftíma er 1.763 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígildi og því er kolefnisspor raforkuvinnslu í aflstöðinni 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi fyrir hverja unna kWst. Til samanburðar má nefna að losun Íslands árið 2016 (án landnotkunar) var 4.670 þúsund tonn CO<sub>2</sub> ígildi [28] og árleg losun frá Blöndustöð samsvarar þá 0,4% af heildarlosun landsins það ár. Á mynd 9 má sjá hvernig kolefnisspor Blöndustöðvar skiptist á milli mismunandi fasa á vistferli stöðvarinnar, þ.e. framleiðslufasa, flutninga- og framkvæmdafasa sem og rekstrarfasa. Ráðandi þáttur í kolefnissporinu er losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum, 19,6 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst eða tæplega 96% af kolefnissporinu. Kolefnisspor vegna framleiðslu byggingarefna og búnaðar sem og framkvæmda er 0,71 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst og kolefnisspor frá rekstri stöðvarinnar er 0,14 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Þá er dregið úr kolefnissporinu með endurvinnslu á líftímanum.



**MYND 9** Kolefnisspor Blöndustöðvar er 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi fyrir hverja unna kWst í stöðinni. Myndin sýnir hvernig kolefnissporið skiptist á milli mismunandi fasa vistferilsins (A – D).

Kolefnisspor mismunandi þátta í vistferli aflstöðvarinnar má sjá á mynd 10. Þegar litið er til framleiðslufasa (A1-A3) má sjá að það er framleiðsla steypu (1,2%) sem veldur stærstum hluta kolefnissporsins, þar á eftir koma framleiðsla rafbúnaðar (0,3%), sements (0,1%), fallpípa (0,1%) og steypustyrktarstáls (0,1%). Við framkvæmdirnar er það bruni eldsneytis (1,4%) sem og framleiðsla þess (0,1%) sem er ráðandi. Eins og áður er nefnt, þá er það losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum sem er yfirgnæfandi þáttur í kolefnissporinu (96%), en sú losun á sér stað á 100 ára rekstri aflstöðvarinnar. Þá veldur framleiðsla steypu (0,4%) vegna viðhalds mannvirkja stórum hluta kolefnisspors á rekstrarfasa sem og bruni eldsneytis (0,2%) við hefðbundinn rekstur.

Ástæða þess að losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar er svo ráðandi má rekja til þess að magn kolefnis í jarðvegi lónstæðanna er hátt, og mun hærra en í öðrum lónstæðum aflstöðva Landsvirkjunar. Lónstæði Gilsárlóns var algroíð fyrir framkvæmdir, og var um að ræða mýrlendi og mólendi. Við gerð Blöndulóns fóru mjög svipuð gróðurlendi og jarðvegsgerðir undir vatn, en hins vegar var hluti lónstæðisins ógróíð og hlutfall mýrlendis mun minna samanborið við þekju mýrlendis í lónstæði Gilsárlóns [20]. Nánar er fjallað um losun frá lónum í kafla 5.2.



**MYND 10** Gróðurhúsaáhrif einstakra þátta í kolefnisspori Blöndustöðvar. Athugið að x-ás stoppar við 0,4 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst, en losun frá lónum er mun hærri, eða 19,6 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst.

#### 4.5 Yfirlit yfir umhverfisáhrif á vistferli Blöndustöðvar

Í töflu 16 má sjá yfirlit yfir hlutdeild ólíkra þátta í vistferli Blöndustöðvar innan hvers áhrifaflokks. Fjallað hefur verið sérstaklega um gróðurhúsaáhrif raforkuvinnslu í Blöndustöð í kafla 4.4.

Í flokknum **eyðing jarðefnaeldsneytis** er tekin saman öll auðlindanotkun jarðefnaeldsneytis á vistferlinum (vinnsla þess úr jörðu), hvort sem um er að ræða fyrir notkun í ökutækjum á framkvæmdastað eða t.d. fyrir raforku sem unnin er með kolum eða olíu og notuð er við framleiðslu byggingarefna eða búnaðar erlendis. Á vistferli Blöndustöðvar er það framleiðsla dísilolíu fyrir framkvæmdafasa og rekstrarfasa sem vegur þyngst innan flokksins. En framleiðsla sement hefur einnig nokkur áhrif í flokknum vegna notkunar kola í framleiðsluferlinu sem og orkunotkun sem rekja má til framleiðslu vél- og rafbúnaðar.

Bruni eldsneytis vegna flutninga og framkvæmda er sá þáttur sem hefur mest áhrif í flokknum **súrnun lands og vatns**. Steypan er það byggingarefni sem veldur mestum áhrifum í flokknum vegna framleiðslu sements, en losun í andrúmsloftið af lofttegundum sem valda súrnun má rekja til losunar frá hráefnum og kolum sem brennd eru í sementsofni. Þá veldur orkunotkun við framleiðslu vél- og rafbúnaðar þó nokkrum hluta áhrifa innan flokksins sem og raforkunotkun á framkvæmdatíma. Áhrif vegna raforkunotkunar eru til komin vegna íslenska raforkukerfisins og þeim hluta raforkunnar sem unnin er í jarðvarmavirkjunum og orsakast áhrifin af losun brennisteinsvetnis ( $H_2S$ ) í andrúmsloft. Á framkvæmdarárum Blöndustöðvar, 1988-1991 var raforkuvinnsla á Íslandi mestmegnis með vatnsaflí (94%) en einnig jarðvarma (<6%) og jarðefnaeldsneyti (0,12%).

Í flokknum **myndun ósons við yfirborð jarðar og næringarefnaauðgun** er losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum yfirgnæfandi þáttur í vistferlinum. Myndun ósons við yfirborð jarðar er meðal annars knúin áfram af rokgjörnum lífrænum efnum, t.a.m. metani og því hefur losun metans frá uppistöðulónum áhrif í flokknum. Hvað varðar næringarefnaauðgun, er hér reiknað með bindingu kolefnis við súrefni í vatnsbol lónanna sem þannig hefur áhrif á styrk súrefnis og þar með næringarefnaauðgun í lóninu.

Umhverfisáhrif í flokknum **eyðing ólífrænna auðlinda** má að stærstum hluta rekja til framleiðslu vél- og rafbúnaðar og strengja. Vinnsla gífs sem notað er á klinkerstigi framleiðslu sements og gegnir lykilhlutverki við hvörfun sementsins, hefur einnig töluverð áhrif í flokknum. Hér er verið að skoða hráefnanotkun, þ.e. vinnslu hráefna úr jörðu annarra en jarðefnaeldsneytis. Útreikningar á eyðingu auðlinda byggja á hlutfalli milli þess magns auðlindarinnar sem notuð er í framleiðslunni og forða auðlindar á jörðinni. Forði auðlindarinnar er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og er hagkvæmt að nýta. Forði er stærð sem breytist yfir tíma eftir því sem tæknilegar og efnahagslegar forsendur breytast. Niðurstöðurnar vísa því til þeirra auðlinda sem helst er gengið á yfir vistferilinn.

Flokkurinn **eyðing ósonlagsins** hefur lítið vægi í vigtun niðurstaða. Þá hefur notkun á ósoneyðandi efnum verið bönnuð og því hefur dregið mjög úr notkun þeirra og því getur losun fyrir einstaka fasa gefið hlutfallslega hátt útslag. Framleiðsla á teppi í starfsmannahús aflstöðvarinnar er sá þáttur í vistferli stöðvarinnar sem veldur stærstum hluta áhrifa í flokknum eyðing ósonlagsins. Þá skal nefna að innanstokksmunir voru ekki innan kerfismarkna í greiningum fyrir Búðarhálsstöð og Fljótsdalsstöð, en voru teknir inn í greininguna fyrir Blöndustöð þar sem upplýsingum um þessa þætti var safnað í greiningunni sem gerð var árið 2001. Innanstokksmunir sem um er að ræða eru innréttingar úr timbri,

vínýldúkur og ofangreint teppi. Almennt valda þessir þættir innan við 0,01% af áhrifum í þeim flokkum sem hér er verið að skoða, að undanskildu teppinu og vínýldúk í flokknum eyðing ósonlagsins. Aðrir þættir sem valda áhrifum í flokknum, þ.e. framleiðsla vél- og rafbúnaðar er sambærilegt niðurstöðum birtra greininga fyrir vatnsaflsstöðvar Landsvirkjunar. Jákvæð áhrif vegna endurvinnslu koma fram í öllum flokkum. Tölulegar niðurstöður fyrir alla flokka má sjá í viðauka B.

**TAFLA 16** Hlutfallsleg skiptingu áhrifa (%) í metnum flokkum umhverfisáhrifa frá vistferli Blöndustöðvar (A-D). Þættir sem hafa meira en 15% áhrif í einstaka flokki eru skáletraðir *rauðir*. (Prósentur sem birtast sem 0,00 eru < 0,01%).

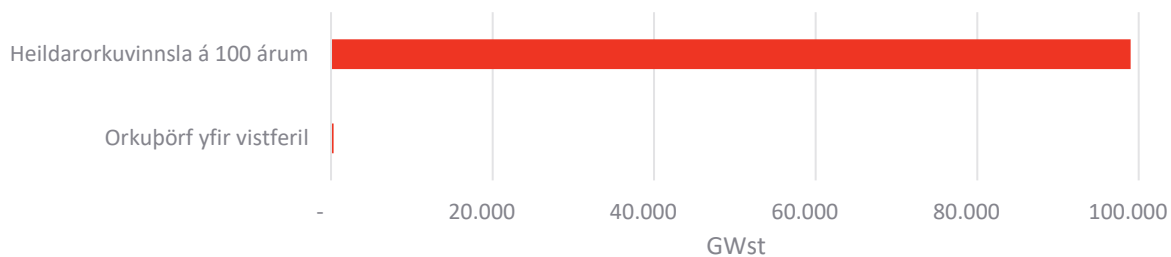
		GRÓÐURHÚSA- ÁHRIF	EYÐING JARÐEFNA- FIDSNEYTIS	SÚRNUN LANDS OG VATNS	MYNDUN ÓSONS VIÐ YFIRBORD	NÆRINGAR- EFNAAUÐGUN	EYÐING ÓLÍFRÆNNA AUÐLINDA	EYÐING ÓSONLAGSINS
		50-100%						
		5-50%						
		0-5%						
	<b>Framleiðsla byggingarefna</b>							
	Ál	0,01	0,17	0,18	0,01	0,00	0,02	0,07
	Bik	0,00	1,23	0,09	0,03	0,00	0,01	0,01
	Jarðefni	0,01	0,16	0,06	0,01	0,00	0,03	0,07
	Olía í kerfi	0,00	0,22	0,03	0,01	0,00	0,00	0,01
A1-A3	Sement	0,12	1,09	1,12	0,18	0,00	1,47	0,36
	Smiðajárn	0,01	0,25	0,13	0,03	0,00	2,90	5,28
	Sprengiefni	0,01	0,48	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00
	Steypa	1,16	12,00	12,30	1,84	0,05	14,00	3,68
	Stepustyrktarstál	0,10	3,02	1,85	0,42	0,00	0,21	2,56
	<i>Teppi</i>	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	75,30
	Vínýldúkur	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,43
	Önnur byggingarefni	0,00	0,11	0,11	0,01	0,00	0,11	0,07
	<b>Framleiðsla búnaðar</b>							
A1-A3	Fallpípur	0,11	2,37	1,44	0,26	0,00	0,02	0,08
	<i>Vél- og rafbúnaður</i>	0,28	8,27	6,29	0,81	0,01	38,10	6,65
	<i>Strengir</i>	0,00	0,16	0,35	0,02	0,00	19,70	0,55
	<b>Flutningar á framkvæmdastað</b>							
A4	Framleiðsla eldsneytis	0,00	0,58	0,06	0,01	0,00	0,01	0,00
	Flutningar búnaðar	0,05	1,69	8,22	0,60	0,02	0,01	0,01
	Flutningar byggingarefna	0,04	0,85	2,63	0,20	0,01	0,01	0,01
	Ferðir starfsfólks	0,00	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
	<b>Framkvæmdir</b>							
A5	<i>Framleiðsla eldsneytis</i>	0,13	53,40	5,42	1,20	0,03	0,93	0,41
	<i>Eldsneytisnotkun</i>	1,41		43,10	4,57	0,25		
	Raforkunotkun	0,02	0,14	5,18	0,01	0,00	1,97	0,01
	<b>Rekstur</b>							
B1	Flutningar og förgun úrgangs	0,02	0,08	0,09	0,04	0,00	0,00	2,18
	<i>Losun frá lónum</i>	95,90			88,50	99,60		
	<b>Viðhald og viðgerðir</b>							
B2-B4	Flutningar búnaðar	0,00	0,04	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00
	Steypa	0,38	3,87	3,99	0,60	0,01	4,53	1,19
	Úrgangur rekstur	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
	<i>Endurnýjun búnaðar</i>	0,02	1,09	0,62	0,07	0,00	15,80	0,40
	<b>Orkunotkun á rekstartíma</b>							
B6	Framleiðsla eldsneytis	0,02	8,90	0,92	0,20	0,00	0,15	0,07
	Eldsneytisnotkun	0,24		5,67	0,36	0,03		
	Raforkunotkun	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
D	<b>Endurvinnsla</b>	-0,01	-0,20	-0,09	-0,02	0,00	-0,03	-0,35

#### 4.6 Orkubúskapur

Orkuþörf yfir vistferil (PED, Primary Energy Demand) er samanlögð orkuþörf Blöndustöðvar yfir vistferil hennar, þ.e. vegna framleiðslu-, framkvæmda- og rekstrarfasa (A-D). Um er að ræða orkuþörf frá endurnýjanlegum og óendurnýjanlegum orkugjöfum, t.d. jarðefnaeldsneyti, vatnsorka, kjarnorku o.s.frv. Orkuþörf Blöndustöðvar á vistferlinum er 300 GWst.

Heildarorkuvinnsla Blöndustöðvar á 100 ára líftímanum er 99.000 GWst. Orkuarðsemi (e. *Harvest factor/EROI*) er hlutfallið milli heildarorkuvinnslu og orkuþarfar yfir vistferilinn og er í tilfalli Blöndustöðvar 330. Blöndustöð vinnur m.ö.o. 330 sinnum meiri orku á líftíma sínum en þarf fyrir framkvæmd hennar og rekstur (mynd 11). Til samanburðar þá liggur orkuarðsemi vatnsaflsstöðva á heimsvísu á bilinu 6 – 280 (mynd 12) [29].

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



**MYND 11** Heildarorkuvinnsla og orkuþörf yfir vistferil Blöndustöðvar.

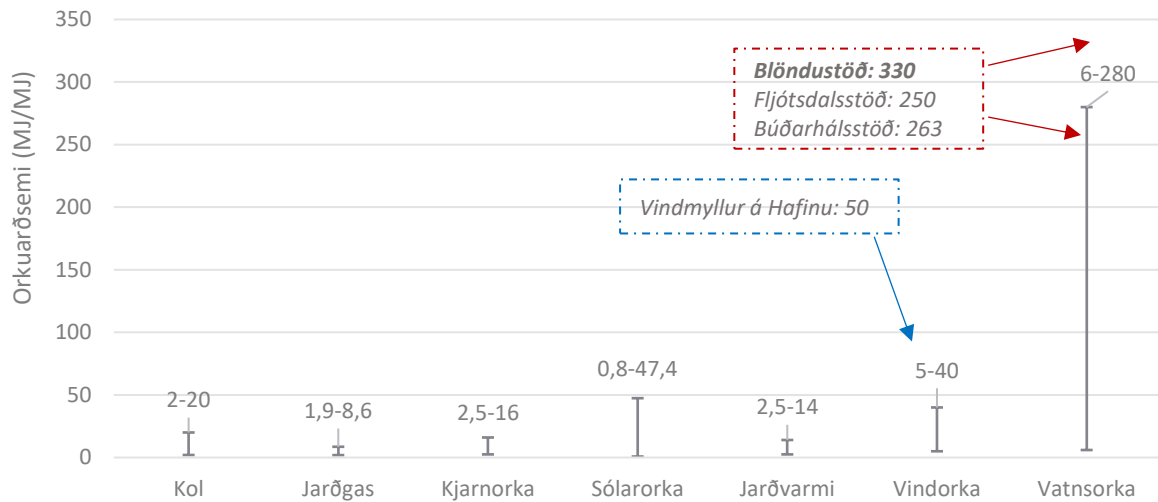
Endurgreiðslutími orku (e. *Energy payback time*) er sá tími sem líður áður en að hlutföllin verða 1:1 milli orkuvinnslu aflstöðvar og orkuþarfar yfir vistferil hennar. Endurgreiðslutími orku er í tilfalli Blöndustöðvar tæplega 4 mánuðir (0,30 ár), þ.e. að þessum tíma loknum í rekstri er aflstöðin búin að vinna jafnmikla orku og hún þarf yfir vistferil sinn (tafla 17). 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 [29].

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

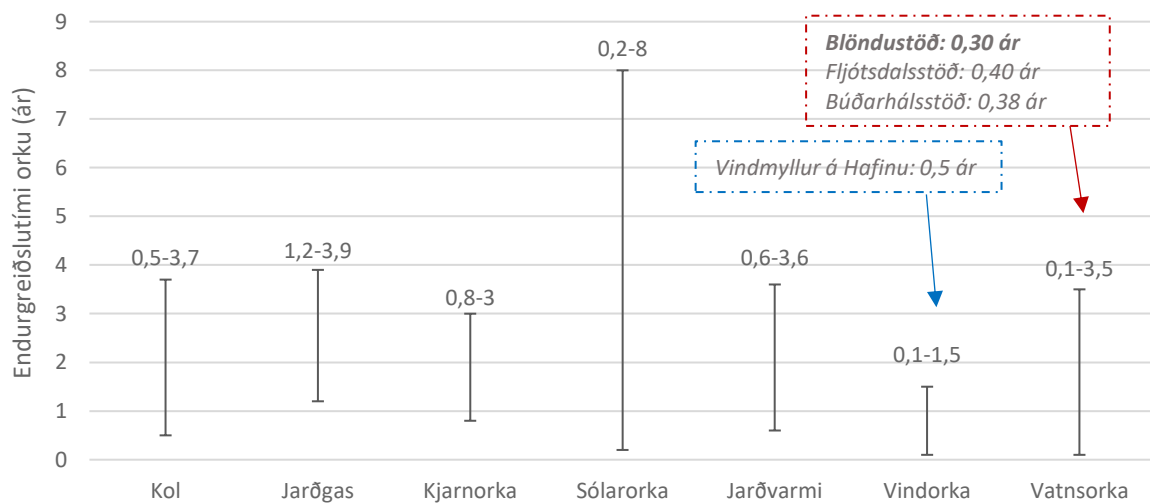
**TAFLA 17** Orkubúskapur Blöndustöðvar á 100 ára líftíma.

Orkuþörf yfir vistferil (PED)	300	Gwst
Heildarorkuvinnsla á 100 árum	99.000	GWst
Orkuarðsemi (EROI)	330	
Endurgreiðslutími orku	4	mánuðir

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



**MYND 12** Birtar niðurstöður fyrir orkuarðsemi mismunandi orkugjafa [1, 2, 3, 29].



**MYND 13** Birtar niðurstöður endurgreiðslutíma orku fyrir mismunandi orkugjafa [1, 2, 3, 29].

## 5 UMRÆÐUR

### 5.1 Gæði gagna

Upplýsingar um byggingaframkvæmd og rekstur Blöndustöðvar sem notaðar eru í vistferilgreiningunni byggja á fyrri vistferlisgreiningu stöðvarinnar frá árinu 2001, sem og upplýsingum úr framkvæmda- og lokaskýrslum, rauntölum frá rekstri stöðvarinnar, og aðlöguðum gögnum um raforku- og eldsneytisnotkun við framkvæmdir frá Búðarhálsi. Mat á losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum byggir á rannsóknum á eiginleikum jarðvegs í lónstæðum Blöndustöðvar og rannsóknum á mögulegri losun frá Sporðöldulóni. Því er um að ræða bestu fáanlegu gögn um mögulega losun úr lónstæðinu á líftímanum. Gögnin sem notast var við eru því í heildina talin góð.

Í útreikningum ríkir ákveðin óvissa varðandi nokkra þætti í vistferli Blöndustöðvar. Má þar nefna áætlaðan líftíma, umfang viðhalds á rekstartíma, þörf fyrir endurnýjun búnaðar sem og endurvinnsluferla. Ekki er notast við reynslu Landsvirkjunar þegar kemur að áætlaðri viðhalds- og endurnýjunarþörf heldur notast við fyrri vistferilsgreiningu frá árinu 2001 og leiðbeiningar um gerð vistferilsgreininga til að áætla þessa þætti [30]. Þar sem þessir þættir hafa marktæk áhrif í niðurstöðum greiningarinnar væri æskilegt að taka saman reynslu Landsvirkjunar á þessum þáttum og skoða næmni niðurstaðanna með tilliti til raun þarfar á viðhaldi og endurnýjun. Í þeim vistferilsgreiningum sem gerðar hafa verið fyrir Fljótsdalsstöð og Búðarhálsstöð var fylgt leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga til að áætla viðhald og endurnýjun. Þá skal nefna að magn og tegundir úrgangs sem myndaðist við framkvæmdir og framleiðslu búnaðar var ekki skráð og því eru þau áhrif ekki innan kerfismarkna greiningarinnar og umhverfisáhrif vegna þessar þáttar ekki metinn. Í vistferilsgreiningum fyrir Búðarhálsstöð [2] og Fljótsdalsstöð [3] hafa umhverfisáhrif vegna förgunar úrgangs frá framkvæmdum verið fundinn liggja á bilinu frá <0,0% – 1,7% allt eftir flokkum áhrifa.

### 5.2 Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum á norðurslóðum

Í þremur flokkum umhverfisáhrifa má sjá áhrif vegna myndunar lóna aflstöðvarinnar: gróðurhúsaáhrif, myndun ósons við yfirborð og næringarefnaauðgun. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum er háð mörgum þáttum, m.a. gróðurþekju lónstæðis, magni kolefnis í jarðvegi, veðurfari og fleiru. Í töflu 18 má sjá reiknaða losun frá lónum Blöndustöðvar, Fljótsdalsstöðvar, lóni Búðarhálsstöðvar [2] og útgefna

Losun frá lónum vatnsaflsvirkjana í Svíþjóð [31] og Noregi [32, 33]. Losun frá lónum Blöndustöðvar á hverja unna kWst er mun hærri en losun frá lónum annarra aflstöðva í töflu 18. Taka skal fram að losun frá lónum Vattenfall [31] er ekki byggð á rannsóknum heldur á reikniaðferð sem gefin er út í leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga [30]. Losun frá norsku lónunum byggir á bráðabirgðaniðurstöðum rannsókna sem gerðar hafa verið í Noregi og eru ekki sértækar upplýsingar fyrir þau lón sem verið er að skoða í greiningunum [32, 33].

Í töflu 19 má sjá áætlaða losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar, Fljótsdalsstöðvar og Búðarhálsstöðvar, og til viðmiðunar mælda losun frá lónum í norðurhluta Svíþjóðar [34, 35], mælda losun frá lónum í svissnesku Ölpunum [36] sem og áætlaða meðallosun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum [37]. Losun koltvísýrings og metans er gefin upp á hvern m<sup>2</sup> lónstæðis á sólarhring. Lónin í Svíþjóð eru öll staðsett á svipaðri breiddargráðu og lón Blöndustöðvar og meðal árshitastig og úrkoma eru sambærileg. Lónin í Sviss eru staðsett í svissnesku Ölpunum. Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar er hærri en áætluð losun frá lónum Búðarhálsstöðvar, Fljótsdalsstöðvar og meðaltali frá Svíþjóð, en er lægri en útgefin losun frá öðrum lónum í töflu 19. Ástæða þess að losun frá lónum Blöndustöðvar er hærri en losun frá lónum Búðarhálsstöðvar og Fljótsdalsstöðvar er mun hærra kolefnisinnihald í jarðvegi lónstæða Blöndu. Vegið meðaltal kolefnisinnihalds í jarðvegi í lónstæðum Blöndulóns og Gilsárlóns er 44,5 kg C/m<sup>2</sup>, en vegið meðaltal fyrir kolefni í jarðvegi lóna Búðarhálsstöðvar er 1,92 kg C/m<sup>2</sup> og Fljótsdalsstöðvar er 3,65 kg C/m<sup>2</sup>. Margir samverkandi þættir hafa áhrif á magn gróðurhúsalofttegunda sem losna frá lónum og eins og sjá má í töflu 19 er ekki hægt að draga ályktun um losun byggða á hnattstöðu, meðalhitastigi eða meðalúrkomu á þeim svæðum sem lón eru mynduð, fleira kemur til, t.d. magn kolefnis í jarðvegi og gróðri í lónstæðum.

**TAFLA 18** Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum á hverja unna kWst [2, 3, 31, 32, 33].

Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum	
	gCO <sub>2</sub> /kWst
Blöndustöð	19,6
Búðarhálsstöð	0,2
Fljótsdalsstöð	0,3
Vattenfall, Svíþjóð*	7,1
Statkraft, Noregi	1,2
Agder Energy AS, Noregi	1,9

\* Meðaltal 14 vatnsaflsvirkjana í eigu Vattenfall

**TAFLA 19** Áætluð losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar, Fljótsdalsstöðvar [3] og Búðarhálsstöðvar [2], mæld losun frá lónum í norður Svíþjóð [34, 35] og svissnesku Ölpunum [36] og áætluð losun frá lónum sem staðsett eru á norðlægum slóðum [37].

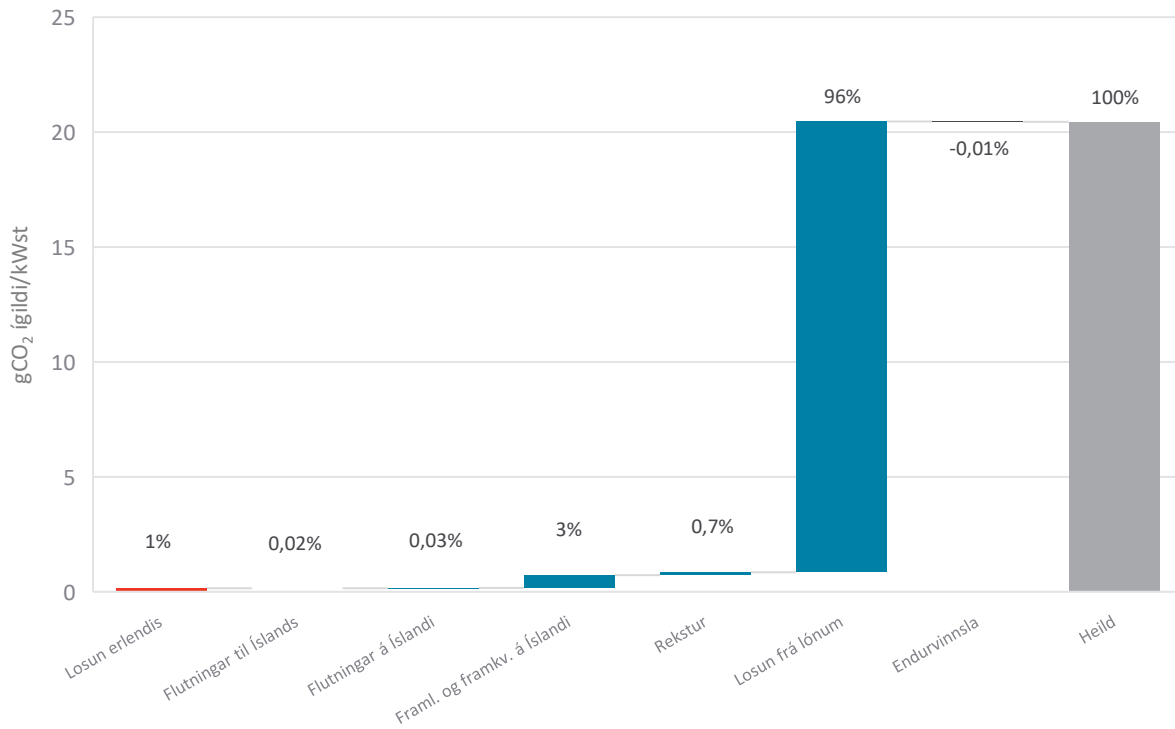
	Losun CO <sub>2</sub>	Losun CH <sub>4</sub>	Breiddargráða	Meðal hitastig	Meðal úrkoma
	mg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> /d	mg CH <sub>4</sub> /m <sup>2</sup> /d	°N	°C	mm
Lón Blöndustöðvar	403	13	65	2	700
Lón Búðarhálsstöðvar	19	1	64	1,5	726
Lón Fljótsdalsstöðvar	33	1,3	64	-1	800
Svíþjóð, meðaltal*	128		62 - 66	1,2 - 3,5	490 - 674
Skinnumduselet (N-Svíþjóð)**	1.095		64	1,2	603
Sviss, meðaltal***	1.030	0,2	46 - 50	-1,3 - 7,9	739 - 1870
Meðallosun, norðlægar slóðir	753	9,1	~ 50 - 70	-	-

\* Meðaltal frá 7 lónum í norður Svíþjóð þar sem losunin liggur á bilinu 45 – 250 mg CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>/d [34], \*\* Liggur ekki inni í meðaltalinu frá Svíþjóð ([35]), \*\*\* Meðaltal frá 11 lónum ([36]).

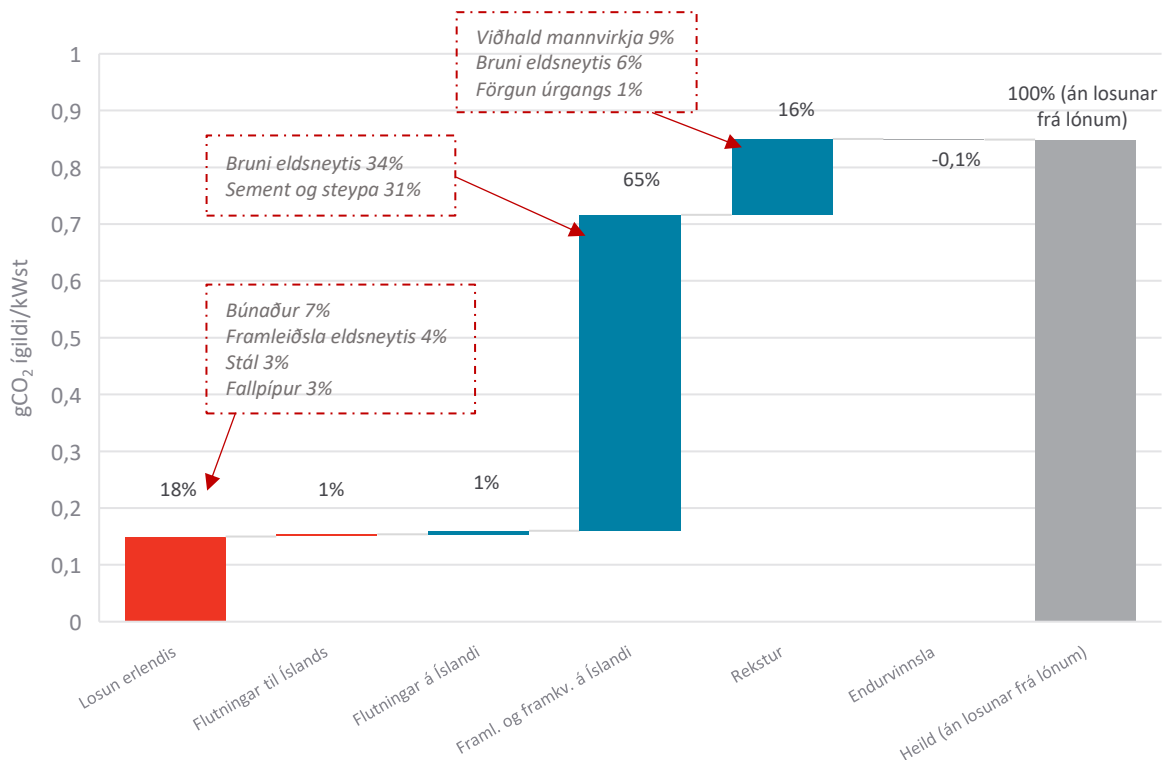
### 5.3 Hvar losna gróðurhúsalofttegundirnar?

Gróðurhúsaáhrif eru hnattræn umhverfisáhrif og því hefur losun gróðurhúsalofttegunda ekki einungis áhrif á þeim stað þar sem losun þeirra á sér stað. Hins vegar er mikilvægt að átta sig á hvar losunin verður til að hægt sé að draga úr henni með markvissum hætti. Á mynd 14 má sjá hvar losun gróðurhúsalofttegunda á sér stað á vistferli Blöndustöðvar. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum er ráðandi þáttur í vistferlinum sem á sér stað á rekstartíma aflstöðvarinnar hérlendis. Á heildarvistferlinum verðum um 1% losunarinnar við framleiðslu byggingarefna og búnaðar erlendis, 0,05% til flutninga til landsins sem og innanlands og 99% losunarinnar verður hérlendis. Þar af eru um 3% losunar vegna framleiðslu sements og framkvæmda, en 96% vegna losunar frá lónum. Þá dregur endurvinnsla úr losun um 0,01% á vistferlinum miðað við þær forsendur sem reiknað er með í greiningunni.

Til glöggvunar, má sjá á mynd 15 hvernig losunin dreifist þegar losun frá lónum er undanskilin heildarlosuninni. Þá má sjá að þegar litið er til framleiðslu- og framkvæmdafasa að þá á meirihluti losunarinnar sér stað hérlendis vegna framleiðslu sements og bruna eldsneytis við framkvæmdir. Sá hluti losunarinnar sem á sér stað utan Íslands er vegna framleiðslu byggingarefna að undanskildri framleiðslu á sementi sem fram fór á Íslandi. Enn fremur eru vél- og rafbúnaðar og eldsneyti sem notað er við framkvæmdir og rekstur hérlendis framleitt erlendis. Sá hluti losunar sem á sér stað á rekstartíma hérlendis, að undanskildri losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum, er frá almennum rekstri sem felur í sér orkunotkun og förgun úrgangs. Dreifing losunar fyrir Blöndustöð, þegar losun frá lónum er skilin frá, svipar til dreifingar losunar fyrir Fljótsdalsstöð [3], en í báðum tilvikum er um að ræða íslenskt sement sem hefur töluverð áhrif ásamt bruna eldsneytis við framkvæmdir.



**MYND 14** Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Blöndustöðvar skiptist á milli losunar erlendis (í rauðum lit), á Íslandi (í bláu) og endurvinnslu (dökkgrátt). Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda á hverja kWst er sýnd með gráum lit.



**MYND 15** Myndin sýnir hvernig losun gróðurhúsalofttegunda á vistferli Blöndustöðvar (losun frá lónum undanskilin) skiptist á milli losunar erlendis (í rauðum lit), á Íslandi (í bláu) og endurvinnslu (dökkgrátt). Heildarlosun gróðurhúsalofttegunda, án losunar frá lónum, á hverja kWst er sýnd með gráum lit. Þeir þættir sem hafa mest áhrif eru dregnir sérstaklega fram.

## 5.4 Kolefnisspor orkugjafa

Kolefnisspor raforkuvinnslu Blöndustöðvar er lágt líkt og kolefnisspor sem reiknuð hafa verið fyrir Búðarhálsstöð [2], Fljótsdalsstöð [3] og fyrir vatnsaflsstöðvar í Svíþjóð [31] og Noregi [32, 33] (tafla 20). Kolefnisspor raforkuvinnslu með óendurnýjanlegum orkugjöfum (kol, gas og lífmassi og kol saman) eru mun hærri en fyrir vinnslu með endurnýjanlegum orkugjöfum. Á mynd 16 má sjá samanburð á kolefnisspori mismunandi orkugjafa [38]. Gögnin sem myndin byggir á eru fyrir a.m.k. fimm mismunandi vistferilsgreiningar raforkuvinnslu fyrir hvern orkugjafa og sýnir miðgildi, há- og lággildi hvers orkugjafa. Miðgildi losunar fyrir vatnsafl er 24 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst<sup>2</sup> sem er sambærilegt við kolefnisspor Blöndustöðvar sem er 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Kolefnisspor fyrir vatnsafl er mjög háð aðstæðum á hverjum stað fyrir sig og hefur losun á vistferli orkuvinnslu í vatnsaflsstöðvum verið fundin liggja á bilinu 1 – 2.200 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Skiptir mestu það magn lífræns kolefnis sem brotnar niður í lónum aflstöðvanna og stærðargráða orkuvinnslunnar. Niðurstöður yfirlitsrannsóknar fyrir 80 uppistöðulón benda til þess að losun metans frá lónum sé í flestum tilvikum undir 20 gCO<sub>2</sub> ígilda/kWst [39]. Rekja má birta losun upp á um 2.200 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst til lóna aflstöðva í hitabeltislöndum með stórt yfirborðsflatarmál og hlutfallslega litla orkuvinnslu [40, 41, 42]. Á mynd 17 má sjá hvernig birtar niðurstöður fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsaflum sem sýnd er á mynd 16 dreifast. Sjá má að 50% birtra niðurstaða eru lægri en 24 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst og 75% eru lægri en um 250 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst.

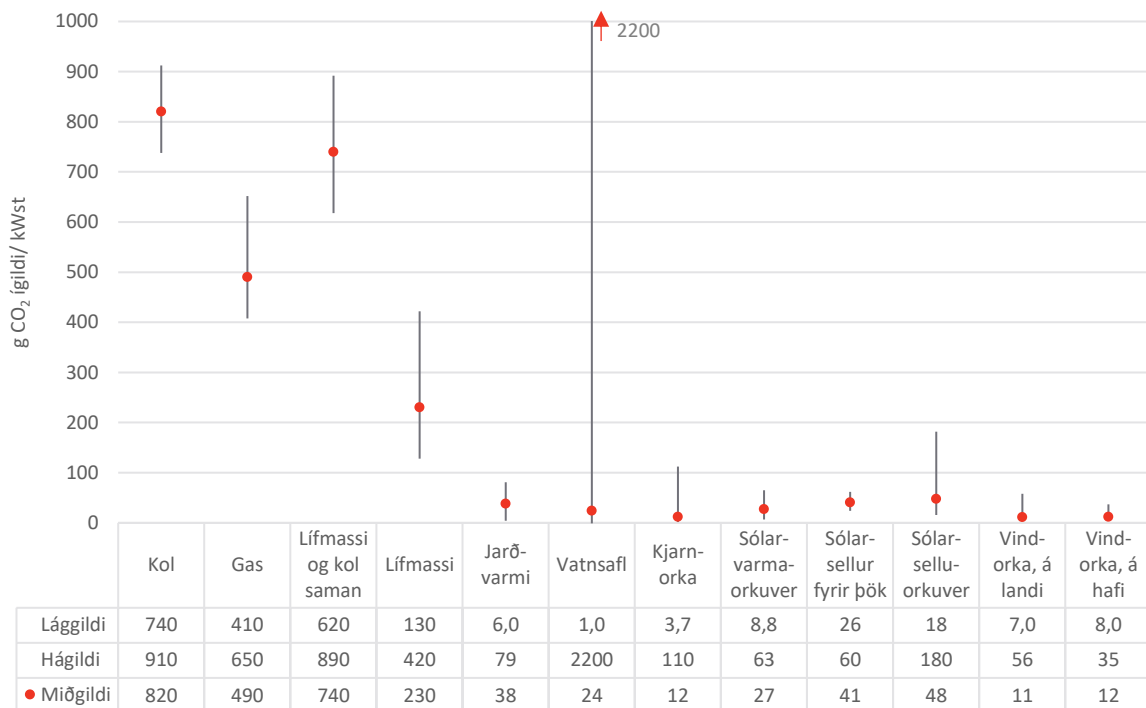
Af þeim orkugjöfum sem hér eru skoðaðir (mynd 16) má sjá að vindorka, sólarorka, kjarnorka og vatnsorka geta unnið raforku með kolefnisspori sem er minna en 5% af kolefnisspori raforkuvinnslu með kolum [38].

**TAFLA 20** Kolefnisspor vatnsaflsvirkjana á Norðurlöndum [2, 3, 31, 32, 33].

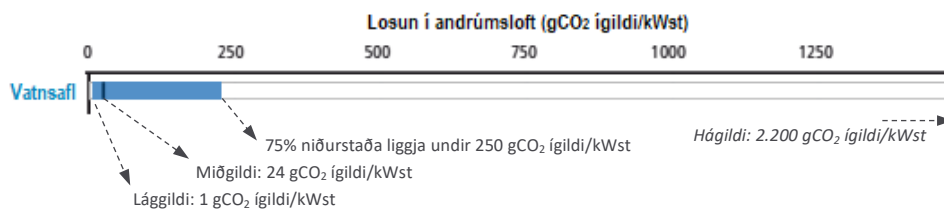
	Kolefnisspor gCO <sub>2</sub> /kWst
Blöndustöð	20,4
Fljótsdalsstöð	1,2
Búðarhálsstöð	1,5
Vattenfall, Svíþjóð*	8,6
Statkraft, Noregi	2,7
Agder Energy AS, Noregi	2,8

\* Meðaltal 14 vatnsaflsvirkjana í eigu Vattenfall

<sup>2</sup> Hér er aðeins reiknað með losun metans (CH<sub>4</sub>) frá lónum, en engri losun koltvísýring (CO<sub>2</sub>).



**MYND 16** Losun gróðurhúsalofttegunda frá vinnslu raforku með mismunandi orkugjöfum í grómmum CO<sub>2</sub> ígilda fyrir unna kWst. Myndin sýnir miðgildi (rauður punktur), há- og lággildi frá niðurstöðum vistferilsgreininga fyrir hvern orkugjafa [38]. Kolefnisspor Blöndustöðvar er 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst.



**MYND 17** Niðurstöður vistferilsgreininga fyrir kolefnisspor raforkuvinnslu með vatnsafla liggja á stóru bili (1 – 2.200 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst). Myndin sýnir að miðgildi niðurstaða er 24 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst og 75% niðurstaða eru lægri en 250 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Kolefnissporið er mjög háð aðstæðum á hverjum stað. Myndin er aðlöguð frá fimmtu úttektarskýrslu IPCC [38].

## 5.5 Tækifæri til úrbóta

Þrátt fyrir að umhverfisáhrif frá vinnslu raforku í Blöndustöð er í þremur af sjö flokkum umhverfisáhrifa töluvert hærra en í öðrum aflstöðvum Landsvirkjunar eru áhrifin minni en gengur og gerist, sérstaklega þegar litið er til orkuvinnslu með jarðefnaeldsneyti, en einnig þegar litið er til endurnýjanlegra orkugjafa, t.d. sólarorku og jarðvarma. Engu að síður eru víða tækifæri til að gera enn betur. Þeir þættir sem valda mestum áhrifum á vistferlinum eru losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum auk framleiðslu sements í steypu, framleiðslu vél- og rafbúnaðar sem og framleiðsla og bruni eldsneytis.

### 5.5.1 Lónstæði fyrirhugaðra virkjunarkosta

Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar er margfalt hærri fyrir hverja unna orkueiningu en losunin er frá lónum Fljótsdalsstöðvar og Búðarhálsstöðvar. Ástæðan fyrir því er að magn kolefnis (vegið meðaltal) í jarðvegi lónstæða Blöndustöðvar er rúmlega 12 sinnum hærra en í lónstæðum Fljótsdalsstöðvar og 23 sinnum hærra en í lónstæði Búðarhálsstöðvar. Fyrir framtíðar virkjunarkosti Landsvirkjunar er tækifæri til að draga úr umhverfisáhrifum með því að huga snemma að vali á lónstæði þar sem jarðvegur sem fer undir vatn er kolefnisrýr og gróðurþekja er í lágmarki. Þannig er mat á kolefnisspori snemma í valkostagreiningu virkjunarkosta mikilvægt og gæti komið inn í formleg matsferli. Þegar staðsetning hefur verið ákveðin mætti einnig skoða hvort umhverfislega hagkvæmt sé að fjarlægja lífrænan hluta jarðvegs í fyrirhuguðum lónstæðum.

Alþjóðabankastofnunin (World Bank Group) hefur gefið út skýrslu þar sem er að finna tillögur varðandi losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum vatnsaflsframkvæmda í undirbúningi [43]. Þar er lagt til að mat sé lagt á losun gróðurhúsalofttegunda frá fyrirhuguðum lónum sem hluti af mati á umhverfisáhrifum framkvæmda. Í skýrslunni er einnig að finna tillögu að því hvernig slíkt mat fer fram, t.a.m. með notkun líkans (G-res Tool) sem gefið hefur verið út af UNESCO og IHA, en Landsvirkjun studdi þróun líkansins [44, 45]. Megintilgangur með slíku mati er að skera úr um hvaða fyrirhuguðu lónstæði eru líkleg til að valda óverulegri losun. Rannsóknir sem Landsvirkjun hefur m.a. unnið að til að meta raunlosun frá lónum aflstöðva sinna eru mikilvægur þáttur í áframhaldandi uppbyggingu á þekkingu í þessum málaflokki.

### 5.5.2 Eldsneyti

Á öllum stigum vistferilsins er mikilvægt að hugað sé að ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis, en framleiðsla og bruni eldsneytis veldur allt að 53% áhrifa innan einstaks áhrifaflokks (tafla 16). Sem dæmi má nefna að losun gróðurhúsalofttegunda vegna bruna eldsneytis á framkvæmdatíma samsvarar 135.000 ferðum um hringveginn á hefðbundnum fólksbíl<sup>3</sup>.

Ábyrg notkun eldsneytis felur m.a. í sér að slökkt sé á tækjum þegar þau eru ekki í notkun og þannig komið í veg fyrir lausagang; að biðtími sé lágmarkaður, t.d. í námum, og að kappkostað sé að tæki sem valin eru séu orkunýtin. Einnig getur skipt máli að viðhald tækja sé gott og vélar séu stilltar þannig að bruni vélarinnar verði sem bestur. Einnig hefur náðst árangur af því að þjálfa ökumenn í vistakstri. Þá er mikilvægt að fylgjast með framþróun í tækjakosti t.d. er varðar notkun véla og tækja sem knúin eru umhverfisvænni orkugjöfum. Í því samhengi er vert að skoða hvort umhverfisleg hagkvæmni fáiast með notkun annarra orkugjafa, t.d. lífdísil og metan, í þeim tækjum og ökutækjum sem nú eru í notkun. Má nefna að í Noregi hafa verið gefnar út leiðbeiningar um aðgerðir fyrir framkvæmdaaðila til að starfrækja byggingarsvæði án notkunar jarðefnaeldsneytis [46].

<sup>3</sup> Miðað er við Toyota Avensis, bensínbíl með losun GH<sub>L</sub> 0,16 kg CO<sub>2</sub> ígildi/km.

### 5.5.3 Innkaup

Framleiðsla byggingarefna sem og vél- og rafbúnaðar hefur töluverð áhrif á vistferlinum og því er mikilvægur þáttur í að draga úr umhverfisáhrifum að haga innkaupum með þeim hætti að umhverfisvænasti kosturinn sé valinn hverju sinni. Niðurstöðurnar sýna að mikilvægt er að huga að því hvernig staðið er að vali á steypu með tilliti til sementsinnihalds. Hvað varðar innkaup, hvort sem er á byggingarefnum eða vél- og rafbúnaði, er mikilvægt að litið sé til þess að framleiðandinn hafi ábyrga umhverfisstjórnun í starfsemi sinni. Dæmi um ábyrga umhverfisstjórnun er t.d. rekstur með vottað umhverfisstjórnunarkerfi (t.d. ISO 14001) og útgáfa framleiðanda á umhverfisyfirlýsingum (EPD) fyrir vörur og búnað sem gefur upplýsingar um umhverfisáhrif vörunnar yfir allan vistferilinn. Með slíkum upplýsingum er hægt að bera saman mismunandi valkosti út frá umhverfisáhrifum. Hægt er að hugsa sér að óskað verði t.d. eftir vottuðum umhverfisyfirlýsingum frá sementsframleiðendum og innkaupum hagað þannig að umhverfisáhrif séu lágmarkuð. Þá skal hafa í huga að velja byggingarefni sem hafa hlotið umhverfsvottun, svo sem Svaninn, Evrópublómið eða sambærileg merki. Þá má einnig setja kröfur á þjónustuaðila, svo sem bílaleigur og leigubíla hvað varðar eldsneyti ökutækja sem notuð eru á vegum Landsvirkjunar. Í stærri verkefnum, sem bjóða þarf út, þarf að vinna að því að skilgreina og setja inn kröfur á verktaka og birgja. Slíkar kröfur snúa t.d. að eldsneytisnotkun verktaka, kröfur um upplýsingagjöf framleiðanda um umhverfisáhrif, auk fleiri þátta. Sérstaklega ætti að huga að því við innkaup að velja kosti sem hafa minni umhverfisáhrif, t.d. lægra kolefnisspor, að því gefnu að aðrar kröfur Landsvirkjunar séu sömuleiðis uppfylltar.

### 5.5.4 Viðhald og endurnýjun á rekstrartíma

Umhverfisvænn rekstur aflstöðvar skiptir máli til að lágmarka umhverfisáhrif á líftíma stöðvarinnar og einnig fyrir kolefnishlutleysi Landsvirkjunar á ársgrundvelli. Viðhald mannvirkja og framleiðsla á nýjum búnaði vegna áætlaðrar endurnýjunar sem og brennsla jarðefnaeldsneytis skiptir mestu máli þegar litið er til rekstrartíma. Gott viðhald búnaðar og þannig lengri endingartími skiptir verulegu máli til að draga úr umhverfisáhrifum. Áætluð viðhalds- og endurnýjunarþörf í vistferilsgreiningunni byggir á leiðbeiningum um gerð vistferilsgreininga fyrir raforkuvinnslu [10] en ekki reynslutölum Landsvirkjunar. Því eru ekki fjallað frekar um viðhald og rekstur hér. Dregið er úr umhverfisáhrifum í öllum flokkum með endurvinnslu vegna endurnýjunar búnaðar og því mikilvægt að huga að því þegar kemur að endurnýjun í aflstöðvum.

### 5.5.5 Vistvæn hönnun með tilliti til byggingarefna

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

## 6 LOKAORÐ

Í vistferilsgreiningunni er fjallað um 7 mismunandi flokka umhverfisáhrifa. Kolefnisspor raforkuvinnslu í stöðinni er 20,4 gCO<sub>2</sub> ígildi á kWst, en niðurstöður mismunandi vistferilsgreininga fyrir vatnsafl víðs vegar um heiminn sína að kolefnisspor vatnsaflsstöðva liggja á bilinu frá 1 og upp í 2.200 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst með miðgildi 24 gCO<sub>2</sub> ígildi/kWst. Losun gróðurhúsalofttegunda frá lónum Blöndustöðvar er margfalt hærra en losun frá uppistöðulónum Fljótsdalsstöðvar og Búðarhálsstöðvar fyrir hverja unna kWst. Skiptir þar mestu magn kolefnis í jarðvegi sem losnar við breytta landnotkun, þ.e. að land fer undir vatn. Þrátt fyrir að kolefnisspor raforkuvinnslu í Blöndustöð er töluvert hærra en kolefnisspor annarra vatnsaflsvirkjana Landsvirkjunar er það lágt samanborið við raforkuvinnslu með öðrum orkugjöfum. Sérstaklega þegar kolefnissporið er borið saman við raforkuvinnslu með jarðefnaeldsneyti.

Orkubúskapur aflstöðvarinnar er hagkvæmur. Á 100 ára líftíma vinnur stöðin 330 sinnum meiri orku en þarf til að byggja og reka stöðina. Þá tók um 4 mánuði í rekstri stöðvarinnar að vinna jafnmikla orku og stöðin þarf á vistferli sínum, þ.e. vegna framleiðslu-, framkvæmda- og rekstrarfasa. Niðurstöður greiningarinnar leiða í ljós að orkuvinnsla í Blöndustöð er umhverfislega hagkvæm í samanburði við aðra orkugjafa og hún gefur einnig upplýsingar um það hvar á vistferlinum umhverfisáhrifin verða.

Í skýrslu vísindanefndar Sameinuðu Þjóðanna um loftslagsmál (IPCC) frá haustinu 2018 [47] kemur fram hversu aðkallandi það er að draga úr losun gróðurhúsalofttegunda með öllum tiltækum ráðum á næstu árum til að sporna við hlýnun jarðar umfram 1,5°C. Þörf er á umfangsmiklum aðgerðum að hálfu stjórnvalda, fyrirtækja og einstaklinga til þess að þetta takmark náist. Niðurstöður þessarar greiningar hafa dregið fram hvaða þættir það eru sem hafa mest áhrif á vistferli aflstöðvarinnar og hvar fyrirtækið getur náð mestum árangri í að draga úr umhverfisáhrifum. Í mörgum tilfellum má ráðast í aðgerðir nú þegar. Mögulegt er að vinna að úrbótum á rekstrartíma stöðvarinnar og þegar nýjar vatnsaflsstöðvar eru hannaðar og byggðar. Tækifæri til úrbóta liggja m.a. í að:

- Huga vel að vali á lónstæðum í framtíðar vatnsaflsvirkjunum fyrirtækisins.
- Ábyrgri notkun jarðefnaeldsneytis og því að taka þátt í orkuskiptum í samgöngum og tækjabúnaði.
- Settar séu kröfur er varða umhverfismál við innkaup.
- Vinna að vistvænni hönnun fyrir ný mannvirki.
- Viðhald aflstöðva Landsvirkjunar taki mið af umhverfislegum áherslum samhliða öðrum áherslum um gæði, kostnað o.fl.

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

Niðurstöður vistferilsgreiningarinnar er liður í því að fá vitneskju um raunáhrif raforkuvinnslu hjá Landsvirkjun. Gerðar hafa verið sambærilegar greiningar fyrir Búðahálsstöð [2], Fljótsdalsstöð [3] og vindmyllur á Hafinu [1] og á næstu misserum munu liggja fyrir niðurstöður fyrir raforkuvinnslu með jarðvarma á Þeistareykjum. Upplýsingar sem notaðar voru við gerð greiningarinnar eru góðar en nokkur óvissa er þó í upplýsingum varðandi endurnýjun og viðhald stöðvarinnar og væri áhugavert að skoða í framhaldinu næmni niðurstaða vistferilsgreininganna fyrir aflstöðvar Landsvirkjunar með tilliti til þessa. Að auki mætti skoða áhrif breytts líftíma á t.d. kolefnissporið og orkuarðsemina.

Niðurstöður greiningarinnar eru gott verkfæri fyrir Landsvirkjun í þeirri virku umhverfisstjórnun sem fyrirtækið vinnur eftir í samræmi við alþjóðlega umhverfisstjórnunarstaðalinn ISO 14001:2015. Þá liggja nú fyrir tölulegar upplýsingar sem hægt er að nota í markaðssetningu á raforkunni sem endurnýjanlegur orkugjafi með lítið kolefnisspor.

## 7 HEIMILDASKRÁ

- [1] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með rannsóknarvindmyllum á Hafinu við Búrfell,“ Landsvirkjun LV-2015-129, 2015.
- [2] EFLA verkfræðistofa, „Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Búðarhásstöð,“ Landsvirkjun LV-2018-048, 2018.
- [3] EFLA verkfræðistofa hf, *Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli. Fljótsdalsstöð,* Landsvirkjun, LV-2018-064, 2018.
- [4] ISO, *ISO 14040: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework,* International Organization for Standardization, Second edition, 2006.
- [5] ISO, *ISO 14044: 2006. Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines,* International Organization for Standardization, First edition, 2006.
- [6] ISO, *ISO 14067:2018. Greenhouse gases - Carbon footprint of products - Requirements and guidelines for quantification,* International Organization for Standardization, First edition, 2018.
- [7] Landsvirkjun, „Blönduskýrsla. Framvinduskýrsla nr. 8. Lokaskýrsla,“ Landsvirkjun LV-1993-035, 1993.
- [8] Landsvirkjun, „Blönduvirkjun, framkvæmdir. Bæklingur,“ Landsvirkjun LV-1989-117, 1989.

- [9] T. Låstbom, „LCA av vattenkraft. Blanda Landsvirkjun, Island,“ VBB VIAK AB (SWECO). Uppdragsnummer 1651021000, Sundsvall, 2001.
- [10] The International EPD System, *Product Group Classification: UN CPC 171 and 173 Electricity, Steam and Hot/Cold Water Generation and Distribution. PCR 2007:08*, The International EPD system, 2015.
- [11] ÍST EN 15978:2011, „Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method,“ 2011.
- [12] ÍST EN 15804:2012, *Sustainability of construction works - Environmental product declarations - Core rules for the product category of construction products*, CEN/TC 350, 2012.
- [13] Landsvirkjun, „Blönduvirkjun - Jarðgangagerð. Framkvæmdaskýrsla. Verksamningur 9510,“ Landsvirkjun LV-1990-106, 1990.
- [14] Þ. Helgason, R. Ingimarsson og H. Ólafsson, „Blöndusement – Raunsteypa. Áfangaskýrsla 3,“ Landsvirkjun LV-1987-042, 1987.
- [15] Landsvirkjun, „Dams foundation work, excavation and grouting,“ Landsvirkjun LV-1989-041, 1989.
- [16] Byko, „Upplýsingar um kambstál,“ 2013. [Á neti]. Available: <https://www.byko.is/timbursala/kambstal/kambstal/vnr/20763>.
- [17] t. AG, *GaBi databases*, 2018.
- [18] S. D. Arnardóttir, *Úrgangur og spilliefni. Úttekt á sorpmálum í aflstöðvum Landsvirkjunar*, Landsvirkjun, 2012.
- [19] 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.
- [20] H. Óskarsson og J. Guðmundsson, *Gróðurhúsaáhrif uppistöðulóna – rannsóknir við Gilsárlón 2003-2006*, Landsvirkjun LV-2008-028, 2008.
- [21] J. Guðmundsson, *Óútgefið efni*, LBHÍ. Tölvupóstsamskipti, 5. febrúar 2018.

- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Confederation of European paper industries, *Resource efficiency in the pulp and paper industry. Making more from our natural resources.*, Brussels: CEPI.
- [25] 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.
- [26] Thinkstep AG, *GaBi databases*, 2017.
- [27] 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.
- [28] Umhverfisstofnun, *National Inventory Report. Emissions of Greenhouse Gases in Iceland from 1990 to 2016. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol*, Reykjavik: Umhverfisstofnun, 2018.
- [29] Sathaye, J; O. Lucon; A. Rahman; J. Christensen; F. Denton; J. Fujino; G. Heath; S. Kadner; M. Mirza; H. Rudnick; A. Schlaepfer; A. Shmakin, „Renewable Energy in the Context of Sustainable Development. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation,“ Cambridge University Press, Cambridge and New York, 2011.
- [30] The International EPD System, *Product Group Classification: UN CPC 171 and 173 Electricity, Steam and Hot/Cold Water Generation and Distribution. PCR 2007:08*, The International EPD system, 2015.
- [31] Vattenfall, *EPD of Electricity from Vattenfall's Nordic Hydropower*, The International EPD System, 2018.

- [32] Agder Energi AS, *Environmental Product Declaration. Hydroelectricity from Skjerka power station*, The Norwegian EPD Foundation, 2016.
- [33] Statkraft, *Hydroelectricity from Trollheim Power Station*, The Norwegian EPD Foundation, 2013.
- [34] Bergström AK, Algesten G, Sobek S, Tranvik L, Jansson M, *Emission of CO<sub>2</sub> from hydroelectric reservoirs in northern Sweden*, Archiv fur hydrobiologie, 2004.
- [35] Åberg J, Bergström AK, Algesten G, Söderback K, Jansson M, *A comparison of the carbon balances of a natural lake(L. Örträsket) and a hydroelectric reservoir (L.Skinmuddselet) in northern Sweden.*, Water Research (38) 531-538, 2003.
- [36] Diem T, Koch S, Schwarzenbach S, Wehrli B, Schubert CJ , *Greenhouse gas emissions (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O) from perialpine and alpine hydropower reservoirs*, Biogeoscience Discuss, 5, 3699-3736, 2008.
- [37] Li S, Zhang Q , *Carbon emission from global hydroelectric reservoirs revisited.*, Environmental Science and Pollution Research 21: 13636-13641, 2014.
- [38] 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.
- [39] H. EG, „Addressing Biogenic Greenhouse Gas Emissions from Hydropower in LCA,“ *Environmental Science & Technology* , b. 47, pp. 9604-9611, 2013.
- [40] 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.
- [41] K. A, B. Forsberg og J. Melack, „Methane release below a tropical hydroelectric dam,“ *Geophysical Research Letters*, b. 34, 2007.
- [42] K. A, B. Forsberg og J. Melack, „CO<sub>2</sub> emissions from a tropical hydroelectric reservoir (Balbina, Brazil),“ *Journal of Geophysical Research*, b. 116, 2011.

- [43] World Bank Group, *Greenhouse Gases from Reservoir Caused by Biogeochemical Processes*, World Bank Group, 2017.
- [44] UNESCO/IHA, „Research Project on the GHG Status of Freshwater Reservoirs, The GHG Reservoir Tool (G-res),“ 2017. [Á neti]. Available: [www.hydropower.org/gres-tool](http://www.hydropower.org/gres-tool).
- [45] P. YT, A. J, H. A, M.-B. S og N. R, *The GHG Reservoir Tool (G-res). Technical documentation. UNESCO/IHA research project on the GHG status of freshwater reservoirs.*, Joint publication of the UNESCO Chair in Global Environmental Change and the International Hydropower Association, 2017.
- [46] Energy Norway, the Norwegian District Heating Organization, ENOVA, Federation of Norwegian Construction Industries (BNL), Norwegian Contractors Association Oslo, Akershus and Ostfold (EBAO), Climate Agency, City of Oslo and Nelfo, „Guide to arranging fossil- and emission- free solutions on building sites,“ DNV GL AS Energy, Oslo, 2018.
- [47] IPCC, WG I, WG II, WG III, *Global Warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways...*, IPCC, 2018.
- [48] 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.
- [49] National Oceanic and Atmospheric Administration , „Earth System Research Laboratory. Global Monitoring Division. Trends in Atmospheric Carbon Dioxide,“ U.S. Department of Commerce, [Á neti]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>. [Skoðað 2 July 2018].
- [50] NASA Ozone Watch, „National Aeronautics and Space Administration. Goddard Space Flight Center,“ 17 October 2016. [Á neti]. Available: [https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history\\_SH.html](https://ozonewatch.gsfc.nasa.gov/facts/history_SH.html). [Skoðað 2 July 2018].
- [51] Umhverfisstofnun, „Óson,“ [Á neti]. Available: <https://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/oson/>. [Skoðað 2 July 2018].
- [52] IEA; WBCSD; CSI, *Technology Roadmap. Low-Carbon Transition in the Cement Industry*, París: International Energy Agency (IEA) and the World Business Council for Sustainable Development's (WBCSD) Cement Sustainability Initiative (CSI) , 2018.

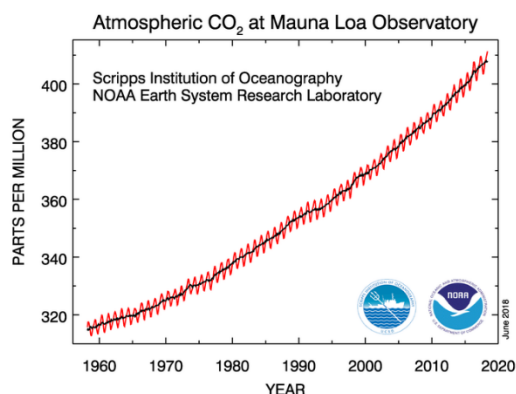


## VIÐAUKI A UMhverfisáhrif

Í eftirfarandi töflu er þeim umhverfisáhrifum sem metin eru í greiningunni lýst í stuttu máli. Upplýsingar eru aðlagðar frá GaBi Database & Modelling Principles [27] og ILCD Handbook. International Reference Life Cycle Data System. Recommendations for Life Cycle Impact Assessment in the European Context [48].

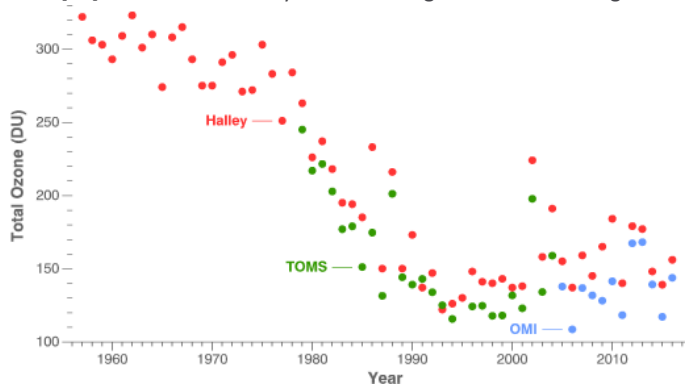
Gróðurhúsaáhrif valda breytingu á meðalhita jarðarinnar sem rekja má til losunar gróðurhúsalofttegunda af manna völdum, t.d. koltvísýrings ( $\text{CO}_2$ ), metans ( $\text{CH}_4$ ) og brennisteinshexaflúoríðs ( $\text{SF}_6$ ). Búist er við að hækkun meðalhita jarðar muni m.a. hafa í för með sér miklar breytingar á loftslagi og veðurfari, valda eyðimerkurmyndun (e. Desertification), hækkun á yfirborði sjávar og aukningu í útbreiðslu sjúkdóma. Styrkur  $\text{CO}_2$  í andrúmslofti hefur verið mældur á Mauna Loa í Hawaii frá árinu 1958 og sýnir greinilega aukinn styrk lofttegundarinnar í lofthjúpnunum [49]. Grafið að neðan sýnir styrk  $\text{CO}_2$  í andrúmslofti sem fall af tíma.

Gróðurhúsaáhrif (e. Global warming, GWP 100 years)



Eyðing ósons í heiðhvolfinu eða eyðing ósonlagsins stafar af völdum klór- og brómsambanda sem berast upp í heiðhvolfið, sem er í um 10 – 50 km hæð yfir yfirborði jarðar. Þau efnasambönd sem helst valda eyðingunni eru klórflúorkolefni (CFCs), halónar og vetnisklórflúorkolefni (HCFCs). Eyðing ósonlagsins dregur úr getu þess til að draga úr útfjólubláum (UV) geislum í gufuhvolfi jarðar sem veldur aukinni geislun krabbameinsvaldandi UVB geisla á yfirborði jarðar. Mælingar á styrk ósons í heiðhvolfinu yfir Suðurskautslandinu hafa verið gerðar frá árinu 1956. Árið 1985 fóru mælingar að sýna töluverða lækkun á styrk ósons, í kjölfarið var undirrituð s.k. Montreal bókun um efni sem valda rýrnun ósonlagsins þar sem kveðið er á um að horfið verði frá notkun ósoneyðandi efna [50]. Grafið að neðan sýnir heildarmagn ósons í DU einingum sem fall af tíma.

Eyðing ósonlagsins (e. ozone depletion)



Myndun ósons við yfirborð jarðar (e. photochemical ozone formation)	Í andrúmslofti sem inniheldur köfnunarefnisoxíð og rokgjörn, lífræn efnasambönd (VOCs) getur óson myndast með aðstoð sólarljóss. Þrátt fyrir að óson sé mjög mikilvægt í efri lofthjúpum er aukinn styrkur ósons í andrúmsloftinu óæskilegur og getur m.a. valdið uppskerubresti sem og aukið tíðni asma og annarra lungnasjúkdóma. Um er að ræða staðbundin umhverfisáhrif þar sem auknum styrk ósons við yfirborð, við ákveðnar verðuraðstæður, getur fylgt mikið hitamystur og kallast fyrirbrigðið photochemical smog á ensku. Þetta er mjög þekkt fyrirbæri í stórborgum heimsins, en hefur minnkað nokkuð á vesturlöndum á allra síðustu áratugum vegna kröftugra mótvægisáðgerða. Talið er að mengun frá umferð og orkuverum hafi hækkað bakgrunnstyrk ósons niður við jörð á stórum svæðum í Evrópu og Norður Ameríku og er t.d. styrkur ósons yfir Atlantshafi helmingi hærri á norðurhveli jarðar en suðurhvelinu [51].
Súrnun lands og vatns (e. acidification)	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 <sub>3</sub> ), köfnunarefnisoxíð (NO <sub>x</sub> ) og brennisteinstvíoxíð (SO <sub>2</sub> ). 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 (e. eutrophication)	Næringarefnaauðgun getur átt sér stað í vatni eða í jarðvegi. Nítröt og fosföt eru nauðsynleg öllu lífi, hins vegar getur háur styrkur næringarefna, t.d. í vatni valdið 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, nitrata, nituroxíða og fosfórs í andrúmsloft og vötn geta valdið næringarefnaauðgun. Næringarefnaauðgun veldur staðbundnum umhverfisáhrifum og dæmi um slík áhrif eru t.d. næringarefnaauðgun í Mývatni sem rekja má til ófullnægjandi hreinsunar á fráveituvatni sem losað er í vatnið.
Eyðing auðlinda (e. resource depletion)	Hér er átt við eyðingu auðlinda, svo sem málmgrýti, hráolíu og önnur hráefni sem unnin eru úr námum og eru óendurnýjanleg. Þessi flokkur umhverfisáhrifa tekur tillit til minnkunar á forða óendurnýjanlegra hráefna sem verður við vinnslu þeirra og notkun. Forði auðlindar er skilgreindur sem það magn auðlindarinnar sem er þekkt og er hagkvæmt að nýta.
Orkuþörf á líftíma (e. primary energy demand)	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.

## VIÐAUKI B TÖLULEGAR NIÐURSTÖÐUR

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

	EINING/KWST	ALLS	ÖFLUN HRÁEFNA OG FRAMLEIÐSLA (A1-A3)		FLUTNINGAR Á FRAMKVÆMDASVÆÐI (A4)		FRAMKVÆMDIR (A5)		REKSTUR AFLSTÖÐVAR (B1-B6)		REKSTUR LOSUN FRÁ LÖNUM (B1)		ENDURVINNSLA (D)	
Gróðurhúsaáhrif	kg CO2 ígildi	<b>2,0E-02</b>	3,7E-04	2%	2,0E-05	0%	3,2E-04	2%	1,4E-04	1%	2,0E-02	96%	-1,1E-06	0,0%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	<b>8,1E-03</b>	2,4E-03	30%	2,5E-04	3%	4,3E-03	54%	1,1E-03	14%	0,0E+00	0%	-1,6E-05	-0,2%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	<b>3,4E-06</b>	8,2E-07	24%	3,7E-07	11%	1,8E-06	54%	3,9E-07	11%	0,0E+00	0%	-3,0E-09	-0,1%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	<b>2,5E-06</b>	9,2E-08	4%	2,1E-08	1%	1,5E-07	6%	3,2E-08	1%	2,2E-06	88%	-3,8E-10	0,0%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	<b>1,5E-04</b>	1,0E-07	0%	4,2E-08	0%	4,1E-07	0%	8,4E-08	0%	1,5E-04	100%	-3,2E-10	0,0%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	<b>2,8E-09</b>	2,2E-09	76%	9,8E-13	0%	8,2E-11	3%	5,8E-10	21%	0,0E+00	0%	-8,0E-13	0,0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	<b>2,1E-15</b>	2,0E-15	96%	4,7E-19	0%	8,9E-18	0%	8,2E-17	4%	0,0E+00	0%	-7,4E-18	-0,3%

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

	EINING/KWST	ALLS	FRAMLEIÐSLA BYGGINGAREFNA (A1-A3)		FRAMLEIÐSLA VÉL- OG RAFBÚNAÐAR (A1-A3)		FRAMLEIÐSLA ELDSNEYTIS - FLUTNINGAR OG FERÐIR STARFSFÓLKS (A4 OG A5)		BRUNI ELDSNEYTIS VIÐ FLUTNINGA BYGGINGAREFNA (A4)		BRUNI ELDSNEYTIS FLUTNINGAR VÉL- OG RAFB. (A4)		FRAMLEIÐSLA ELDSNEYTIS FYRIR FRAMKVÆMDIR (A5)		BRUNI ELDSNEYTIS VIÐ FRAMKVÆMDIR (A5)		RAFORKUNOTKUN FRAMKVÆMDIR (A5)		BRUNI ELDSNEYTIS VEGNA FERÐA STARFSFÓLKS (A5)	
Gróðurhúsaáhrif	kg CO2 ígildi	7,1E-04	3,1E-04	2%	5,8E-05	0%	3,4E-07	0%	8,4E-06	0%	1,1E-05	0%	2,6E-05	0%	2,9E-04	1%	3,4E-06	0%	4,4E-07	0%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	7,0E-03	1,7E-03	21%	6,7E-04	8%	4,6E-05	1%	6,9E-05	1%	1,4E-04	2%	4,3E-03	53%	0,0E+00	0%	1,1E-05	0%	6,0E-06	0%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	3,0E-06	6,0E-07	18%	2,1E-07	6%	1,9E-09	0%	8,9E-08	3%	2,8E-07	8%	1,8E-07	5%	1,5E-06	43%	1,8E-07	5%	1,2E-09	0%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	2,6E-07	7,1E-08	3%	2,1E-08	1%	3,2E-10	0%	5,0E-09	0%	1,5E-08	1%	3,0E-08	1%	1,2E-07	5%	3,3E-10	0%	1,2E-10	0%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	5,6E-07	8,7E-08	0%	1,6E-08	0%	3,2E-10	0%	1,2E-08	0%	3,0E-08	0%	3,7E-08	0%	3,8E-07	0%	4,2E-10	0%	2,7E-10	0%
Eyðing ólífrænna auðlinda	kg Sb ígildi	2,2E-09	1,1E-09	38%	1,1E-09	38%	2,3E-13	0%	3,6E-13	0%	3,9E-13	0%	2,6E-11	1%	0,0E+00	0%	5,6E-11	2%	1,7E-14	0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	2,1E-15	1,9E-15	89%	1,4E-16	7%	9,0E-20	0%	1,3E-19	0%	2,5E-19	0%	8,6E-18	0%	0,0E+00	0%	2,6E-19	0%	8,6E-21	0%

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

	EINING/KWST	ALLS	FLUTNINGAR OG FÖRGUN ÚRGANGS FRÁ REKSTRI (B1)		LOSUN FRÁ LÓNUM (B1)		VIÐHALD (B2-B3)		ENDURNÝJUN VÉL- OG RAFBÚNAÐAR (B4)		FRAMLEIÐSLA ELDSNEYTIS FYRIR REKSTUR (B6)		BRUNI ELDSNEYTIS VEGNA REKSTURS (B6)		RAFORKUNOTKUN (B6)	
Gróðurhúsaáhrif	kg CO2 ígildi	2E-02	4E-06	0%	2,0E-02	96%	7,7E-05	0%	4,5E-06	0%	7,5E-06	0%	4,6E-05	0%	8,2E-08	0%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	1E-03	6E-06	0%	0,0E+00	0%	3,2E-04	4%	8,8E-05	1%	7,2E-04	9%	0,0E+00	0%	3,1E-07	0%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	4E-07	3E-09	0%	0,0E+00	0%	1,4E-07	4%	2,1E-08	1%	3,1E-08	1%	1,9E-07	6%	1,2E-10	0%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	2E-06	1E-09	0%	2,2E-06	88%	1,5E-08	1%	1,7E-09	0%	5,1E-09	0%	9,1E-09	0%	1,2E-11	0%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	1E-04	3E-09	0%	1,5E-04	100%	2,3E-08	0%	1,4E-09	0%	6,3E-09	0%	5,1E-08	0%	1,5E-11	0%
Eyðing ólfrænna auðlinda	kg Sb ígildi	6E-10	9E-14	0%	0,0E+00	0%	1,3E-10	5%	4,5E-10	16%	4,3E-12	0%	0,0E+00	0%	2,4E-12	0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	8E-17	5E-17	2%	0,0E+00	0%	2,5E-17	1%	8,5E-18	0%	1,5E-18	0%	0,0E+00	0%	1,1E-20	0%

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

	EINING/KWST	ALLS	ÚRGANGUR TIL ENDURVINNSLU Á REKSTRARTÍMA		ENDURVINNSLA VEGNA ENDURNÝJUNAR BÚNAÐAR Á REKSTRARTÍMA	
Gróðurhúsaáhrif	kg CO2 ígildi	-1,1E-06	-4,7E-07	0,0%	-6,4E-07	0,0%
Eyðing jarðefnaeldsneytis	MJ	-1,6E-05	-8,3E-06	-0,1%	-7,6E-06	-0,1%
Súrnun lands og vatns	kg SO2 ígildi	-3,0E-09	-1,1E-09	0,0%	-1,9E-09	-0,1%
Myndun ósons við yfirborð	kg ethene ígildi	-3,8E-10	-1,7E-10	0,0%	-2,1E-10	0,0%
Næringarefnaauðgun	kg fosfat ígildi	-3,2E-10	-1,6E-10	0,0%	-1,6E-10	0,0%
Eyðing ólfrænna auðlinda	kg Sb ígildi	-8,0E-13	-3,2E-13	0,0%	-4,8E-13	0,0%
Eyðing ósonlagsins	kg R11 ígildi	-7,4E-18	-3,4E-19	0,0%	-7,1E-18	-0,3%



KPMG ehf.  
Borgartún 27  
105 Reykjavík

Sími 545 6000  
Fax 545 6001  
Veffang [www.kpmg.is](http://www.kpmg.is)

## Independent Practitioners' Limited Assurance Report

### To Landsvirkjun

### Report on “Vistferilsgreining raforkuvinnslu með vatnsafli - Blöndustöð” (e. Life Cycle Assessment of Hydropower Electricity Production at Blöndustöð)

We were engaged by Landsvirkjun to conduct an independent limited assurance on the life cycle GHG emissions of Blöndustöð, reported in the life cycle assessment of Blöndustöð in Chapter 4.4 (here after the '*Report*'), dated 23rd May 2025.

The Life Cycle Assessment (LCA) has been “performed in accordance with international standards ISO 14040, ISO 14044 and ISO 14067” (hereafter the '*Criteria*').

### Conclusion

We have performed a limited assurance engagement on whether the *Report* dated May 2025, has been prepared in accordance with the *Criteria*.

Based on our Procedures performed, and evidence obtained, nothing has come to our attention that causes us to believe that the *Report* has not been prepared, in all material respects, in line with the *Criteria*.

### Basis for conclusion

We conducted our engagement in accordance with the International Standard on Assurance Engagements (ISAE) 3000 (Revised), Assurance Engagements Other Than Audits or Reviews of Historical Financial Information. Our responsibilities under this standard are further described in the 'Our responsibilities' section of our report.

We have complied with the independence and other ethical requirements of the International Code of Ethics for Professional Accountants (including International Independence Standards) issued by the International Ethics Standards Board for Accountants (IESBA).

Our firm applies International Standard on Quality Management (ISQM) 1, Quality Management for Firms that Perform Audits or Reviews of Financial Statements, or Other Assurance or Related Services Engagements, issued by the IAASB. This standard requires the firm to design, implement and operate a system of quality management, including policies or procedures regarding compliance with ethical requirements, professional standards, and applicable legal and regulatory requirements.



We believe that the evidence we have obtained is sufficient and appropriate to provide a basis for our conclusion.

## **Landsvirkjun responsibilities**

The management of Landsvirkjun are responsible for:

- designing, implementing and maintaining internal control relevant to the preparation of the *Report* such that it is free from material misstatement, whether due to fraud or error;
- selecting or developing suitable criteria for preparing the *Report* and appropriately referring to or describing the criteria used; and
- preparing the *Report* in accordance with the Criteria.

Further the management of Landsvirkjun is responsible for that their employees and hired contractors that prepare and set up the *Report* are properly trained and that information systems are up to date.

## **Inherent Limitations in Preparing the Report**

The majority, or 96%, of the greenhouse gas emissions originate from the reservoirs, the data for which is based on measurements of the smaller reservoir from 2003-2006. However, the data used in the Report constitutes the highest data quality available. A comparison has been made by EFLA to compare the emissions from the reservoirs of various hydro power plants, and it is deemed that the differences, although vast, have been explained thoroughly based on a scientific approach.

Another limitation is due to the lack of data regarding maintenance and replacement activities over the lifespan of the power plant. It was deemed that as long as the emissions from the reservoirs dominate the majority of the GHG emissions, emissions regarding maintenance and replacement can be considered within the margin of error.

## **Our Responsibilities**

We are responsible for:

- planning and performing the engagement to obtain limited assurance about whether the Report is free from material misstatement, either due to fraud or error;
- forming an independent conclusion, based on the procedures we have performed and the evidence we have obtained; and
- reporting our conclusion to Landsvirkjun

## **Summary of the work we performed as the basis for our conclusion.**

We exercised professional judgment and maintained professional skepticism throughout the engagement. We designed and performed our procedures to obtain

evidence about the Report that is sufficient and appropriate to provide a basis for our conclusion. Our procedures selected depended on our understanding of the Report and other engagement circumstances, and our consideration of areas where material misstatements are likely to arise. In carrying out our engagement, the procedures we performed primarily consisted of:

- Critical review and inspection of the LCI development and LCA calculations:
  - Primary data sampling from the LCA practitioner (EFLA) to assess the key global warming potential (GWP) contributors by focusing on the hotspots identified in the Report against the Criteria.
  - Due to the secondary data use of the reservoir emissions (96% of the total GWP), it was deemed necessary to broaden the scope of the assurance work to avoid a under- / overestimation of emissions.
  - 99% of the GWP emissions has been checked against material misstatement based on the received primary data, input and output screenshots that connect the primary data to the (Life Cycle Impact Assessment (LCIA) modelling phase and reality checks on the emission factors used in the LCIA.
  
- Critical review of LCA report against ISO 14067, 14040, and 14044 standards
  - The critical review process aim is to review if:
    - the methods used to carry out the LCA are consistent with this International Standard
    - the methods used to carry out the LCA are scientifically and technically valid
    - the data used are appropriate and reasonable in relation to the goal of the study
    - the interpretations reflect the limitations identified and the goal of the study
    - the study report is transparent and consistent.

The procedures performed in a limited assurance engagement vary in nature and timing from, and are less in extent than for, a reasonable assurance engagement. Consequently, the level of assurance obtained in a limited assurance engagement is substantially lower than the assurance that would have been obtained had a reasonable assurance engagement been performed.



Reykjavík, 1. October 2025

**KPMG ehf.**

Margrét Pétursdóttir, certified public accountant